

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: 70 (1979)

Heft: 10

Artikel: Essais d'utilisation des rejets thermiques des centrales électriques en France

Autor: Aussourd, P. / Aureille, R. / Muller, Feuga, A.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-905380>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.03.2025

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

7. Conclusions

Le chauffage géothermique s'applique aux logements existants ou aux logements neufs à construire. L'emploi des pompes à chaleur permet à l'électricité de mieux rentabiliser le lourd investissement des forages et de prélever davantage de chaleur à la géothermie. Toutefois ce système de chauffage n'est envisageable que lorsqu'il s'applique à un nombre de logements suffisant, regroupés autour d'une chaufferie centrale et immédiatement disponibles.

Essais d'utilisation des rejets thermiques des centrales électriques en France

Par P. Aussourd, R. Aureille et A. Muller-Feuga

Die Electricité de France unternimmt Anstrengungen, die Abwärme in Form von warmem Wasser aus ihren Wärmekraftwerken auszuwerten. Damit soll einerseits hochwertige Energie bei der Heizung eingespart, andererseits das warme Wasser für neue Anwendungen in der Landwirtschaft und für die Fischzucht zur Steigerung der Produktivität eingesetzt werden.

1. Conceptions étudiées

1.1 Agriculture

Trois procédés de chauffage des cultures sont évalués des points de vue thermique, agronomique et économique sur le site expérimental associé à la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux:

- le chauffage des serres par convecteurs,
- le chauffage des serres par ruissellement d'eau tiède sur la toiture,
- le chauffage des sols par circulation d'eau tiède dans des tuyaux enterrés.

En 1977, les convecteurs expérimentés ont permis de fournir 90 % de l'énergie de chauffage considérée comme normalement nécessaire pour une culture de tomates sous serre. De nouveaux convecteurs, moins onéreux et plus compatibles avec les contraintes d'exploitation, sont testés en 1978. Ils utilisent une eau de réfrigération en circuit fermé.

Le chauffage des serres par ruissellement s'est révélé une excellente formule même avec de l'eau de réfrigération en circuit ouvert.

Le chauffage du sol encore en cours d'évaluation paraît intéressant pour induire une précocité des cultures maraîchères de plein champ.

1.2 Aquaculture

Les essais d'élevage des animaux aquatiques d'intérêt commercial dans les eaux réchauffées par les centrales ont porté depuis 1975 sur deux activités bien distinctes:

- l'alevinage,
- le grossissement jusqu'à la taille commerciale.

Bien que les essais réalisés à Saint-Laurent-des-Eaux (Fig. 1) aient permis de produire 200 000 alevins de brochet en 1976 et 1977, cette activité s'est révélée peu adaptée à une utilisation des rejets thermiques en raison des faibles débits consommés

Bibliographie

- [1] Publication E.d.F.: Le chauffage géothermique avec pompe à chaleur.
- [2] Résultats préliminaires concernant le fonctionnement de l'installation de chauffage géothermique de Creil.

Adresse de l'auteur

R. Aureille, Chef de la Division «Techniques des énergies nouvelles» à la Direction des Etudes et Recherches, Electricité de France, 6, quai Watier, B.P. 24, F-78400 Chatou.

Electricité de France tente de promouvoir l'utilisation de l'eau tiède produite par ses centrales. Cette utilisation est conçue comme un moyen de diminuer le recours aux énergies nobles dans les installations qui en font usage pour le chauffage, ainsi que d'améliorer la rentabilité économique de certaines opérations agricoles ou piscicoles jusqu'à ce jour non consommatrices d'énergie thermique.

et de la grande stabilité des caractéristiques de l'eau qu'elle requiert. Il est apparu plus opportun de faire porter l'effort vers l'élevage intensif des espèces les plus chères jusqu'à la taille commerciale.

Des essais en ce sens ont déjà été réalisés à la centrale de Martigues-Ponteau pour le bar, la daurade et la crevette, à la centrale de Bordeaux-Ambes pour l'esturgeon et les carpes.

Une pisciculture industrielle d'anguille est en cours d'installation à Saint-Laurent-des-Eaux. Confiée à un professionnel, elle devrait permettre de définir les conditions de rentabilité économique de ce mode d'utilisation.

1.3 Chauffage des logements

Une étude a été effectuée dans le domaine du chauffage des logements en vue d'examiner la possibilité d'utiliser les eaux de rejet de la centrale nucléaire du Bugey pour chauffer des logements situés à l'Est de la ville de Lyon. Une partie de l'eau de refroidissement du condenseur était transportée à basse température et des pompes à chaleur placées près des



Fig. 1 Vue d'ensemble du site expérimental de Saint-Laurent-des-Eaux

utilisateurs prélevaient la chaleur et relevaient le niveau thermique jusqu'à 45 °C avant la distribution finale dans les immeubles.

Cette opération ne s'est pas avérée rentable du fait du coût élevé des investissements nécessaires (canalisations et pompes à chaleur), et aussi à cause de l'importance des consommations d'électricité qui intervenaient principalement en hiver, pendant la période tarifaire la moins favorable.

2. Techniques utilisées

La difficulté de chauffer des milieux ambiants avec des eaux de rejet des centrales tient à la faible différence entre la température de ces eaux et celle que l'on souhaite obtenir.

Les techniques conventionnelles en usage à ce jour utilisent de la vapeur ou des eaux dont la température est souvent supérieure à 60 °C. Les températures ambiantes à induire étant nettement inférieures (entre 10 et 30 °C), il en résulte que les surfaces d'échange restent faibles et les équipements correspondants parfaitement abordables au plan des coûts.

Pour l'utilisation des eaux de refroidissement des centrales, le problème consiste essentiellement à réaliser et mettre au point des dispositifs de chauffage présentant de grandes surfaces d'échange au moindre coût, sans altération des autres facteurs de production ni des conditions d'exploitation lorsqu'il s'agit d'élevage ou de culture. L'utilisation des eaux de refroidissement pour le chauffage des cultures, des élevages aquatiques et des logements fait l'objet d'expérimentation en liaison avec les utilisateurs professionnels. Les résultats obtenus dans les différents domaines sont présentés succinctement.

Il convient de distinguer les techniques permettant d'utiliser les eaux de réfrigération en circuit ouvert de celles en circuit fermé.

2.1 Utilisation des eaux de réfrigération d'un circuit ouvert

La température de l'eau dont on dispose est celle du cours d'eau ou de la mer augmentée de l'échauffement au condenseur. Elle oscille entre 12 °C en hiver et 30 °C en été sur le site de Saint-Laurent-des-Eaux où des expériences sont réalisées dans le domaine du chauffage des cultures et de l'élevage aquatique.

2.1.1 Serre à ruissellement

La technique dite de la «serre à ruissellement» développée par le C.T.G.R.E.F. (Centre Technique du Génie Rural et des Eaux et Forêts) d'Antony a donné des résultats satisfaisants au cours de la campagne 1977. L'eau ruisselle sur la toiture et les pieds-droits à raison de 3 m³/h par mètre linéaire pour une «chapelle»¹⁾ de 7 m de large. La température de l'air dans la serre est de 1 °C inférieure à celle de l'eau de ruissellement en hiver. Ceci est dû à la grande surface d'échange et à la limitation des pertes radiatives la nuit par le film d'eau.

Un dispositif de chauffage de sol a pour but d'éviter que l'humidité ne se condense au niveau de la végétation par effet de paroi froide.

Un ventilateur extracteur purge l'air lorsque l'humidité relative dépasse 85 %.

¹⁾ Travée modulaire d'une serre, délimitée par les montants supportant la toiture.

Au cours de la période de mars à août 1977, une culture de tomate a donné des rendements de 8,2 kg/m² alors que ceux obtenus par des moyens classiques, toutes choses étant égales par ailleurs, étaient de 7,9 kg/m². Les rendements précoces entre le 11 mai et le 13 juin étaient de 4,4 kg/m², contre 3,3 kg/m² dans les conditions classiques (Fig. 2 et 3).

La puissance dissipée par le ruissellement a été en moyenne de 30 W/m² avec des pointes de 65 W/m² en mars.

Au cours des campagnes d'essai à venir, une meilleure gestion des calories sera recherchée en jouant notamment sur le débit de l'eau de ruissellement et sur la ventilation pour prévenir les températures excessives en été.

Ce mode de chauffage présente des avantages dûs notamment au faible investissement que nécessite le dispositif de ruissellement qui peut équiper des serres de modèles courants. En outre, il importe de souligner à nouveau, qu'il permet d'utiliser une eau de réfrigération en circuit ouvert.

2.1.2. Sol chauffé

Le forçage des cultures de plein champ par chauffage au moyen de tuyaux enterrés est en cours d'expérimentation. On escompte un gain au niveau de la précocité des cultures mais aucune conclusion n'a pu encore être tirée des essais réalisés à cette date.

L'investissement étant de l'ordre du franc/m² et par an, on s'attache à obtenir un gain financier du même ordre



Fig. 2 Cultures de salades dans une serre-témoin chauffée classiquement



Fig. 3 Jeune culture de tomates chauffée à l'eau tiède au moyen de tubes métalliques aériens

de grandeur. Cette contrainte économique guide le choix des cultures vers celle de haut rapport telles que les cultures maraîchères, les cultures florales ou pépinières, ou encore des cultures spéciales comme les lignées pures de Maïs de reproduction.

2.1.3. Pisciculture

Une pisciculture d'alevinage a été exploitée à Saint-Laurent-des-Eaux depuis 1975. Elle avait pour objectif de produire de jeunes brochets destinés au repeuplement de la Loire et de ses affluents. La production de brochets a atteint 200 000 individus en 1976 et 1977.

Malgré des résultats positifs, il s'est avéré que les potentialités offertes par les eaux chaudes sont mal exploitées dans une activité d'alevinage. En effet, les débits nécessaires sont très réduits comparés aux disponibilités et la qualité physico-chimique (matières en suspension, pH, O_2 dissous, température) requises exclut pratiquement un usage des eaux échauffées sans traitement préalable. A tel point qu'il est parfois apparu opportun d'utiliser les eaux de l'alevinage en circuit fermé, ce qui est évidemment peu démonstratif au plan de l'objectif imparti.

Il a donc été convenu de construire courant 1978 une pisciculture d'élevage intensif d'anguilles. Outre que ces animaux profitent bien de l'échauffement des eaux, leur optimum de température étant de l'ordre de 20 °C, la demande du marché européen est importante pour un poids unitaire de 200 g. La capacité de reproduction de l'installation projetée est de 30 tonnes par an, le débit d'eau échauffée qui l'alimentera étant cette fois de 1000 m³/h.

La gestion de cette installation sera confiée à un pisciculteur professionnel.

A la centrale de Bordeaux-Ambres, sur la Garonne, des essais sont en cours depuis 1975. Conduites par le C.T.G.R.E.F. de Bordeaux, ils portent sur des espèces dont l'élevage ne présente pas encore un grand développement en France et se heurtent donc à une mise au point préalable des techniques d'élevage proprement dit.

Ainsi, des esturgeons *Acipenser baeri* sont nourris artificiellement depuis mai 1976. Malgré les difficultés rencontrées au niveau de la prise de nourriture, ces animaux semblent atteindre actuellement leur taille adulte, soit de l'ordre de 1,5 kg.

Des carpes chinoises *Ctenopharyngodon idella* adultes sont en stabulation depuis 1976. L'entrée en maturation des mâles a été obtenue. Les carpes communes et miroir ont présenté une bonne croissance, même pendant la saison froide. L'élevage porte également sur les silures, les tanches, les truites, les anguilles et les tilapias.

La croissance satisfaisante de la plupart de ces animaux permet d'envisager l'étude technico-économique de leur élevage en vue d'un développement industriel éventuel.

La centrale de Martigues-Ponteau, située en bord de mer, l'élevage du loup (*Dicentrarchus labrax*), de la daurade (*Chrysophrys aurata*) et de la crevette (*Penaeus japonicus*) a fait l'objet d'étude par le C.T.G.R.E.F. de Bordeaux depuis 1975. Les activités ont été orientées depuis début 1978 vers le pré-élevage de loups issus de la reproduction artificielle. Cette production devrait trouver un débouché commercial auprès des éleveurs ainsi que pour le repeuplement des étangs côtiers.

2.2. Utilisation des eaux de réfrigération d'un circuit fermé

La température de ces eaux est comprise entre 25 et 40 °C, à Saint-Laurent-des-Eaux (Fig. 4). L'eau est prélevée entre le condenseur et la tour de réfrigération. Le débit mis à disposition des utilisateurs pourra être de 1 m³/s pour deux Tranches de 900 MW.

Le chauffage des serres par convecteurs

Des gaines en film plastique disposées au pied des cultures et dans lesquelles circule cette eau de refroidissement ont d'abord été expérimentées à Saint-Laurent-des-Eaux.

Lors d'une culture de tomates effectuée entre mars et août 1977, elles ont permis d'assurer 90 % de l'apport thermique réalisé dans les serres conventionnelles. Les rendements obtenus étaient de 7,8 contre 7,9 kg/m² dans les conditions classiques.

Quant au rendement précoce entre le 11 mai et le 13 juin, il était de 3,8 kg/m² dans la serre expérimentale et de 3,3 kg/m² dans les conditions classiques.

Ces gaines présentant certaines incompatibilités avec les méthodes culturales en usage dans le Val de Loire, ainsi qu'un coût relativement élevé, un autre système est actuellement à l'étude. Il consiste dans des tuyaux de chauffage aériens associés à des tuyaux de chauffage de sol et à un paillage. On recherche ainsi le mode de dissipation thermique présentant le moindre coût en même temps que la meilleure comptabilité avec les contraintes d'exploitation agricole, tout en sachant que les surfaces d'échange, et donc les investissements doivent être de l'ordre de trois fois supérieures à ce qu'ils sont dans une serre conventionnelle.

Chauffage du sol

Une expérience de chauffage de sol à l'aide d'eau de réfrigération en circuit fermé aura lieu en 1978 sous couverture de tunnel en plastique ainsi qu'en plein champ.

Résultats

Ainsi, on a pu constater que le chauffage avec l'eau de refroidissement en circuit fermé permet d'assurer 100 % des besoins d'une serre classique pour la salade en hiver et 90 % pour la tomate au printemps et en été.

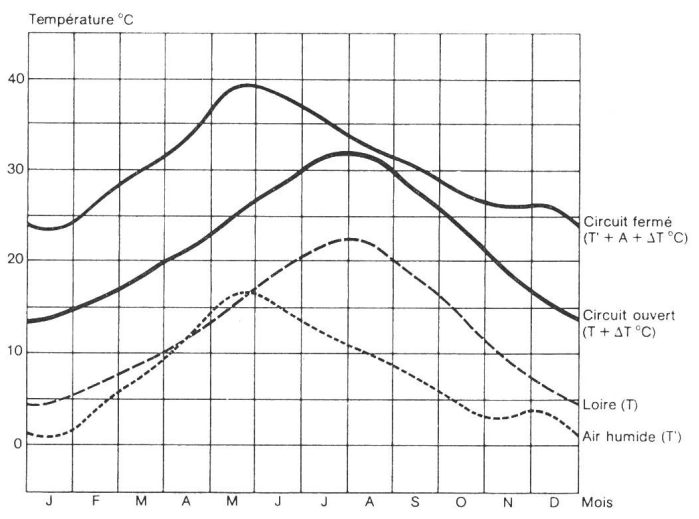


Fig. 4 Températures des eaux de refroidissement à Saint-Laurent-des-Eaux

Un autre parti cultural peut consister à ne chauffer qu'avec l'eau de rejet, sans autre appoint thermique. L'expérience a montré qu'en choisissant judicieusement la date de plantation des tomates et la variété, on perd quelques semaines en précocité mais les rendements restent comparables à ceux d'une serre conventionnelle. Le point de vue économique doit, en toute circonstance, guider le choix de l'exploitant.

La serre à ruissellement se révèle une technique très adaptée à l'utilisation des eaux de circuit ouvert. Elle pourra être chauffée dans des conditions encore meilleures avec l'eau de réfrigération d'un circuit fermé.

Dans tous les cas, les dates de plantation et les espèces choisies doivent être compatibles avec les niveaux thermiques atteints, dont l'on commence à avoir une bonne connaissance pour la région du Val de Loire.

Enfin, une utilisation industrielle de ces procédés paraît devoir mal se passer d'un chauffage de secours destiné à couvrir d'éventuelles défaillances de courte durée dues soit à l'arrêt du fonctionnement de la centrale, soit à un gel très sévère.

Chauffage des locaux

Une étude avait pour objet d'examiner les possibilités techniques et économiques d'utilisation, pour le chauffage de locaux résidentiels et commerciaux situés dans la zone Est de Lyon, d'une partie des rejets thermiques de la centrale de Bugey (tranches 4 et 5).

L'eau prélevée, maintenue à une température minimale de 30 °C grâce à la possibilité d'une augmentation de la température, était transportée en eau perdue jusqu'aux zones

d'utilisation. Des pompes à chaleur situées dans les sous-stations locales en puisaient la chaleur en remontant son niveau thermique d'une vingtaine de degrés celsius.

Cette solution exigeait de n'alimenter que des immeubles neufs équipés d'émetteurs spéciaux à basse température dont le supplément de prix d'installation venait grever le coût de l'opération. Les besoins thermiques recensés étaient de l'ordre de 380 Gcal/h.

3. Conclusion

Il est acquis que des techniques permettant l'utilisation des eaux de rejet des centrales pourront d'ici peu être mises à la disposition des professionnels.

Toutefois, leur mise en œuvre pose certains problèmes de planification auxquels il importe de prévoir des solutions. Ces problèmes sont notamment la concentration des cultures intensives dans un espace restreint au voisinage des centrales, la concurrence avec les exploitations qui, ne disposant pas d'eau tiède, subiront l'augmentation du prix de l'énergie, l'entrée possible des pays du Sud dans le marché commun et les modifications du marché des produits de serre qu'elle risque d'entraîner, etc.

Il est clair que de telles questions ne sont pas abordées lors des expériences réalisées par Electricité de France et qu'il appartiendra aux utilisateurs des rejets thermiques de leur apporter des réponses en temps opportun.

Adresses des auteurs

Ph. Aussourd, Chef du Département «Sites, Environnement, Information»,
R. Aureille, Chef de la Division «Techniques des énergies nouvelles»,
A. Muller-Feuga, Département «Sites, Environnement, Information»,
Electricité de France, 3, rue de Messine, 75007 Paris.