

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	65 (1974)
<b>Heft:</b>	17
<b>Artikel:</b>	Les systèmes de refroidissement atmosphériques : données techniques et économiques
<b>Autor:</b>	Capronnier, L.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-915446">https://doi.org/10.5169/seals-915446</a>

### 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:** 21.02.2026

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

# **Les systèmes de refroidissement atmosphériques. Données techniques et économiques**

Rapport préparé par L. Capronnier

*Die verschiedenen Methoden zur Kühlung von thermischen Kraftwerken haben verschiedene Entwicklungsstufen durchlaufen. Der nachfolgende Bericht erläutert, auf die heutigen Einheitsleistungen bezogen, die verschiedenen Systeme der «künstlichen» Kühlung (Nass- und Trocken-Kühlsysteme, Kühlwasser-Sprühmethode), welche heute Verwendung finden.*

## **1. Données techniques**

### *1.1 Réfrigération atmosphérique humide*

#### **1.1.1 Réfrigérants à tirage naturel**

Electricité de France n'a actuellement que l'expérience d'exploitation de tours de réfrigération associées à des puissances au plus égales à 250 MW classiques, néanmoins, de l'application de réalisations étrangères il semble que pour des puissances de l'ordre de 1000 MWe nucléaires type LWR une seule tour puisse être envisagée. En effet on peut citer à titre d'exemples aux Etats-Unis d'Amérique des réalisations récentes de la société Hamon:

- Gavin Plant pour 1200 MW classiques une tour de:
  - diamètre à la base: 120 m
  - hauteur: 150 m
- Watts Bar pour 1270 MWe nucléaires une tour de:
  - diamètre à la base: 108 m
  - hauteur: 146 m
- Alvin W. Vogtle pour 1160 MWe nucléaires une tour de:
  - diamètre à la base: 113 m
  - hauteur: 168 m

Outre les problèmes techniques de réalisation de tours de ces dimensions les constructeurs portent leur attention sur la mise en œuvre de surfaces de ruissellement en matières plastiques.

#### **1.1.2 Réfrigérants à tirage forcé**

##### **a) Solution classique**

Le système classique consiste à juxtaposer des cellules identiques en ligne. Ce système est, en France, sur le plan économique comparable au système de réfrigération à tirage naturel, toutefois son coût est très dépendant du diamètre des pales du ventilateur – diamètre pouvant varier de 8 à 30 m, l'optimum français se situant entre 9 et 12 m.

##### **b) Solutions en anneaux**

Plusieurs procédés de ce type sont actuellement à l'étude:

- chez Geco avec des ventilateurs aspirant sur les parois intérieures des cellules,
- chez Marley avec des ventilateurs aspirant en toiture, l'ensemble des cellules étant recouvert par une tour de quelques dizaines de mètres évacuant à l'atmosphère la vapeur d'eau à une vitesse telle qu'il se crée une surélévation fictive due à l'effet de cheminée (étude en cours pour 1100 MWe chez Marley).

##### **1.1.3 Réfrigérants à tirage assisté**

Ce type de réfrigérant connaît déjà un certain nombre de réalisations:

*Les différentes formes de réfrigération des centrales thermiques ont fait l'objet de nombreux développements. Ce rapport précise, en regard des puissances unitaires actuelles, les moyens d'en réfrigération «artificiels» – réfrigérants atmosphériques humides ou secs, aspersion – auxquels il est possible de faire appel.*

- 3 tranches de 150 MW à Berlin,
- 2 tranches de 1100 MWe nucléaire à Biblis,
- 1000 MW au Royaume-Uni.

Suivant que le système de dispersion est à courant croisé (type Hamon) ou à contre-courant (type SCAM) la disposition des ventilateurs est extérieure ou intérieure.

Dans le cas de ventilateurs extérieurs, la mise en place de dispositifs pour réduire le niveau sonore des ventilateurs accroît notablement les investissements.

### *1.2 Réfrigération atmosphérique sèche*

#### **1.2.1 Aérocondenseurs**

La limite technologique reste toujours située aux environs de 200 MW (à Utrillas en Espagne 160 MW).

#### **1.2.2 Aéroréfrigérants**

Dans le domaine de la production d'électricité la France ne dispose d'aucun réfrigérant de ce type, par contre actuellement des installations de 600 MW sont en cours de réalisation en Afrique du Sud. Ce système peut être:

- soit du type direct, l'eau de condensation de la vapeur transitant dans des tubes ailetés,
- soit du type indirect, l'eau de condensation transitant dans des échangeurs de température.

Malgré le surinvestissement entraîné par le second système, il semble mieux adapté pour deux raisons essentielles:

- on utilise pour la condensation de la vapeur un condenseur par surface que généralement les constructeurs savent mieux réaliser;

– la protection contre le gel peut plus facilement être effectuée sur le circuit secondaire car la qualité des eaux n'étant plus celle du circuit principal eau-vapeur, on peut y injecter des produits antigel (Glycol).

Les réfrigérants de ce type peuvent être à tirage naturel ou forcé.

Ils ne sont pas limités en puissance calorifique à échanger avec l'atmosphère, seul leur coût élevé en limite d'emploi, aussi des recherches sont en cours pour l'utilisation de surfaces d'échange en matière plastique.

De publications hongroises, il ressort qu'un certain nombre d'études de tours associées à des puissances de l'ordre de 1000 MWe nucléaires LWR seraient susceptibles d'être opérationnelles. Les dimensions des réfrigérants de ce type seraient:

- en tirage naturel, tour hyperbolique:
  - diamètre à la base: 238 m
  - diamètre au sommet: 167 m
  - hauteur: 217 m

– en tirage forcé: diamètre des pales de ventilateur 18,3 m, 48 cellules de 35 m de hauteur représentant un encombrement au sol de 380 m sur 108 m.

### 1.3 Réfrigérants secs/humides

Outre une installation de 150 MW en République fédérale d'Allemagne, une réalisation de ce type a été effectuée en Union des républiques socialistes soviétiques. Compte tenu de la nature du climat français ce système ne semble pas être appelé à être développé par Electricité de France.

### 1.4 Aspersion

L'apparition de difficultés nouvelles dans le domaine de la réfrigération des centrales thermiques donne un regain d'intérêt à des procédés qui furent considérés comme dépassés ou inadaptés à la taille des unités aujourd'hui en service; c'est le cas en particulier du bassin d'aspersion dont les applications demeurèrent longtemps fort modestes. Ce procédé bien ancien n'était guère utilisé que pour de petites installations industrielles. Bergman cite quelques exemples de réalisations en URSS, il peut être cité par ailleurs:

- la centrale d'Arsenal Hill près de Shreveport, Louisiana, Etats-Unis d'Amérique (114 MW);
- la centrale de Wölfersheim près de Francfort, République fédérale d'Allemagne (64 MW).

Récemment encore la seule technique employée consistait en une installation fixe de tuyauterie et buses permettant de pulvériser l'eau de circulation des condenseurs pour la recueillir dans un bassin après refroidissement. Des variantes intéressantes sont en cours de mise au point aux Etats-Unis. Il en sera donné plus bas quelques indications.

Il est à noter que le dimensionnement des bassins d'aspersion est resté jusqu'à maintenant des plus empiriques qu'il soit, aucune théorie sérieuse ne permettait d'estimer le comportement d'un bassin dans des conditions variées. Quelques modèles de calcul sont maintenant disponibles aux Etats-Unis; que valent-ils? Electricité de France a lancé à ce propos quelques études théoriques et expérimentales; en particulier une petite maquette à échelle 1 a été implantée sur le site de la centrale de Porcheville.

#### 1.4.1 Système à modules flottants

Dans sa forme actuelle, ce procédé se différencie du bassin d'aspersion classique par le système de pulvérisation qui consiste en modules flottants autonomes comprenant une pompe immergée alimentant quatre pulvérisateurs.

Ce système a été testé à grande échelle à la centrale de Dresden en particulier en ce qui concerne la question de l'effet de taille (interaction entre modules, calcul d'une densité optimale, impact sur l'environnement). Cette installation comporte une centaine de modules répartis sur un canal de 120 m de large par 800 m de long.

Il est prévu d'utiliser ce procédé:

- pour écrêter la température de rejet à la centrale de Chesterfield;
- pour équiper en circuit fermé la centrale de Surry (Virginie) tranches III et IV.

Enfin un système analogue est en cours d'essai à la centrale de Sundance (600 MW), Alberta (Canada). L'installation d'essai (*Montreal Engineering*) y comporte six pompes de 56 kW alimentant 24 pulvérisateurs (hauteur des jets au-

dessus du plan d'eau: 5,2 m). Coût prévu de l'installation pour la centrale: 32 millions de dollars canadiens comprenant le bassin de refroidissement de 265 hectares, les systèmes d'aspersions.

Aux Etats-Unis, le fabricant du système d'aspersion par modules flottants est la Ceramic Cooling Tower Company.

L'ordre de grandeur du coût est le suivant:

- prix du module 18 000 dollars des Etats-Unis (pose 15 %);
- alimentation électrique 10 000 dollars par module.

A titre indicatif pour une centrale nucléaire de 5000 MWe, il faudrait 700 modules implantés sur un canal de 300 pieds sur 20 000 pieds. Coût environ 27 millions de dollars des Etats-Unis (devis effectué pour la TVA), soit 2,5 % du montant total des investissements.

Il peut paraître illogique de rejeter l'eau après refroidissement dans le bassin où on la puise; en effet le refroidissement étant directement lié à l'écart entre la température de l'eau et la température humide de l'air, cette façon de procéder tend à réduire cet écart donc à avoir un mauvais rendement, d'ailleurs l'eau est en moyenne pulvérisée 2,7 fois. Le constructeur prétend que pour réduire les embruns il est obligé de régler la pulvérisation de façon à obtenir des gouttes relativement grosses qui ne pourraient être refroidies en une seule pulvérisation (le système se prête difficilement à une alimentation des modules à partir d'un autre bassin).

#### 1.4.2 Système Cherne à disques rotatifs

Ce système fait actuellement l'objet de modifications (disques tournant avec système d'alimentation en eau remplacés par un arbre aileté éjectant l'eau d'une gouttière d'alimentation).

Dans l'état actuel des choses, ce système présente un intérêt majeur par sa conception, ayant la souplesse du système flottant, il est plus logique car il se rapproche des conditions de rendement favorables (transfert de l'eau d'un bassin dans un autre). Sa conception permet un entretien plus facile, les modules étant accessibles à sec. Enfin le plus gros avantage réside dans le vent induit par le système (10 m/s), augmentant son efficacité et diminuant sérieusement les possibilités de formation de brouillard. Une étude des embruns montre que le problème n'a pas une grande importance.

Toutefois, bien que la Cherne Industrial Inc. pense que les résultats des mesures effectuées sur le site de la centrale de Dresden puissent être appliqués à leur système, aucun essai à grande échelle n'a été effectué à ce jour. Il est à craindre que la taille de l'installation augmentant l'effet d'induction de vents s'amenuise.

A titre d'exemples il faudrait:

- pour refroidir de 9 °C, 750 cfs: 75 modules répartis sur un bassin de 15 000 m<sup>2</sup>;
- pour refroidir le même débit de 5 °C seulement: 42 modules répartis sur 8500 m<sup>2</sup>.

L'emploi d'un arbre aileté au lieu de disques entraînerait une réduction de 40 % de la puissance utile.

## 2. Données économiques

Une simple comparaison économique des différents systèmes n'est sans doute pas significative car les contraintes d'environnement prennent de plus en plus un impact financier

non négligeable (limitation de la température du rejet, considération esthétique, limitation du niveau sonore, etc.).

Néanmoins, d'études faites par Electricité de France il ressortait que l'incidence des différents modes de réfrigération sur le coût du kilowatt-heure sortie d'usine s'établissait comme suit:

	Centrale thermique classique	Centrale nucléaire (LWR)
Réfrigération en circuit ouvert	3 %	4,5 %
Réfrigération en circuit fermé:		
Réfrigérants humides		
tirage naturel ou tirage forcé	7 %	9,5 %
Aéroréfrigérants		
tirage naturel	10 %	16 %

Une étude récente placée dans le cadre de l'interconnexion montre que le surcoût du passage en circuit fermé sur réfrigérant atmosphérique humide se justifie au-delà de 150 km de ligne et sur aéroréfrigérant au-delà de 300 km de ligne.

### 3. Conclusions

L'augmentation des puissances unitaires et des puissances installées sur un même site, les contraintes accrues d'environnement conduisent, soit à planter les centrales en bord de mer, soit à recourir de plus en plus à une réfrigération artificielle en circuit fermé.

Dans ce domaine, la réfrigération mixte – circuit ouvert et circuit fermé utilisés suivant les périodes de l'année – ne semble pas économiquement valable du fait de la nécessité de procéder aux investissements propres aux deux circuits.

En l'absence d'un débit suffisant de la rivière, le circuit fermé devra être choisi et de nombreux développements sont actuellement prévus.

En ce qui concerne les réfrigérants secs, seules des contraintes d'environnement très dures en favoriseraient le développement, leur surprix actuel (investissement et frais de fonctionnement) ne les rendent pas compétitifs.

#### Adresse de l'auteur:

L. Capronnier, ingénieur, direction de l'équipement EDF, 3, rue de Messine, F-75008 Paris.

## Problèmes relatifs aux répercussions sur les phénomènes atmosphériques des rejets de chaleur et d'humidité. Problèmes relatifs au bruit

Extrait du rapport préparé par G. Rau

*Obwohl das Prinzip des Nasskühlturmes bereits seit über sechzig Jahren verwendet wird und die Methode der Verdampfungskühlung bereits seit rund hundert Jahren bekannt ist (z. B. für die Salzgewinnung), stammen die Untersuchungen über die Auswirkungen der Nass-Kühlsysteme auf die Umwelt erst aus neuerer Zeit.*

*Diese Kühlsysteme emittieren feuchte Luft. Im Falle einer Zusammenballung von Leistungen über 3000 MW, wobei eine Einheit bis zu 1300 MW erreichen kann, kann der Ausstoss von feuchter Luft an die Atmosphäre gewisse technische und Umweltprobleme mit sich bringen.*

– *Technische Probleme: Konstruktion (statisch), Betrieb und Wasserverlust*

– *Umweltprobleme: Lärm, ästhetische Fragen, meteorologische und klimatologische Probleme, Wasserentzug*

*Der Bericht fasst die heutige Kenntnis über diese Probleme und die erarbeiteten Lösungsmöglichkeiten zusammen.*

*Bien que le principe des réfrigérants atmosphériques humides soit appliqué depuis plus de soixante-dix ans et que le principe de la réfrigération par évaporation existe depuis une centaine d'années (extraction du sel par exemple), l'étude des conséquences pour l'environnement de l'utilisation des réfrigérants atmosphériques humides n'a été commencée que très récemment.*

*Les réfrigérants émettent de l'air humide. Dans le cas d'une agglomération d'unités d'une puissance totale supérieure à 3000 MW – une unité allant jusqu'à 1300 MW – l'évacuation de l'air humide dans l'atmosphère peut entraîner certains problèmes techniques et d'environnement:*

– *problèmes techniques: construction (statique), fonctionnement et perte d'eau,*

– *problèmes d'environnement: bruit, esthétique, problèmes météorologiques et climatologiques et évacuation d'eau.*

*Ce rapport fait une mise au point de l'état des connaissances d'aujourd'hui.*

problème d'approvisionnement de l'eau réfrigérante ni celui de sa composition chimique.

#### 1.1.1 Formation de brouillard

Tous les réfrigérants atmosphériques par évaporation permettent d'observer l'évacuation de panaches. Leur aspect varie fortement selon les conditions météorologiques. L'expérience montre que, immédiatement après le passage des séparateurs, des panaches très denses se forment déjà à l'intérieur de la tour.

#### 1.1.2 Description thermodynamique du panache

Au moyen d'un calcul on peut démontrer que l'évacuation de la chaleur dans les réfrigérants atmosphériques par évaporation se fait pour les deux tiers par évaporation et

### 1. Problèmes relatifs aux répercussions sur les phénomènes atmosphériques des rejets de chaleur et d'humidité

#### 1.1 Etat de connaissance des effets sur les phénomènes météorologiques

Les réfrigérants sont des installations techniques qui absorbent d'une part les calories provenant de la condensation de la vapeur d'échappement des turbines, qu'il s'agit de refroidir et d'autre part l'élément de refroidissement (de l'air sous des conditions atmosphériques bien définies: température, humidité, pression, vitesse du vent et direction du vent). L'élément de refroidissement s'échauffe et s'enrichit par de l'eau. Une partie de l'eau qui se trouve dans le circuit s'évapore et doit être remplacée. Cet exposé n'analysera pas le