

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: 65 (1974)

Heft: 17

Artikel: Problèmes relatifs aux répercussions sur les phénomènes atmosphériques des rejets de chaleur et d'humidité : problèmes relatifs au bruit

Autor: Rau, G.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915447>

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: 14.02.2026

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

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 implanter 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 Kühlturmsysteme 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.

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

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

pour un tiers par échauffement de l'air. Un bilan thermique et un bilan des masses montrent que l'échauffement de l'air peut atteindre jusqu'à 10 °C.

Pour les centrales avec un système de réfrigération à circuit fermé, cela donne environ 25 à 30 g H₂O/m³ d'air dans le cas des réfrigérants atmosphériques naturels et environ 12 à 18 g H₂O/m³ dans le cas des réfrigérants à ventilation.

Ce qui intéresse surtout c'est la part d'H₂O liquide, son volume, le nombre de gouttes, leur spectre et leur comportement au moment de leur passage à travers la cheminée.

L'invention d'une nouvelle forme de sonde permet de mesurer au moyen d'une diffusion de rayons lumineux, le spectre des gouttes. Une telle sonde a été utilisée pour la première fois en République fédérale d'Allemagne pour un réfrigérant de 300 MW.

La majeure partie des gouttes dans les réfrigérants à tirage naturel, munis de séparateurs, atteint une taille de 5 à 15 µ. La taille des gouttes augmente avec la hauteur de la tour, leur nombre diminue.

La part d'H₂O liquide, mesurée dans un réfrigérant à tirage naturel de 300 MW, est de l'ordre de 2 à 3 g/m³.

1.1.3 Description météorologique du panache

L'expérience montre que la physique des nuages seule ne suffit pas à déterminer les répercussions des panaches. Bien que la teneur en eau des panaches ait une ressemblance très grande avec celle des nuages d'orage, les panaches n'en sont pas moins différents quant à leur teneur en énergie, qui est nettement moins forte que dans les nuages d'orage.

Une autre différence très importante entre les cumulus et les panaches réside dans le fait que les panaches sont si petits de taille (largeur, longueur) que l'air non-saturé entourant le panache est capable de désagréger celui-ci en très peu de temps. Des expériences réalisées au Royaume-Uni, aux États-Unis d'Amérique, en République fédérale d'Allemagne ont permis de déterminer une longueur moyenne du panache visible – dans le cas de réfrigérants à tirage naturel – de «trois fois la hauteur de la tour».

1.1.4 Comportement des panaches au moment de situations atmosphériques stables (inversions)

Les situations atmosphériques stables, souvent désignées tout simplement par «inversions» sont à considérer comme un cas très particulier pour les réfrigérants.

Afin de porter un jugement sur les inversions, conjuguées avec une vitesse du vent au sol très faible, il faut rechercher les paramètres suivants:

- les profils du vent à des niveaux plus élevés,
- les profils de la température à des niveaux plus élevés,
- les profils d'humidité à des niveaux plus élevés (défiance de saturation).

Habituellement les mesures météorologiques ne sont entreprises qu'à une faible hauteur au-dessus du sol, c'est la raison pour laquelle la connaissance des valeurs citées ci-dessus est de la plus haute importance.

1.1.5 Assombrissement de l'environnement

Un panache visible est comme un nuage, il empêche le soleil de pénétrer la couche atmosphérique qui le sépare du sol. Pendant les jours ensoleillés, l'ombre qui peut être pro-

voquée par les panaches est restreint à un rayon de 500 m. Les valeurs moyennes montrent qu'à ces endroits l'assombrissement dure 2 à 5 minutes par journée ensoleillée.

De longs panaches se forment lorsque l'air est très froid (en hiver) ou lorsque l'air est presque saturé en humidité (faible défiance de saturation) au niveau de l'émission. C'est-à-dire que de longs panaches apparaissent surtout quand une importante formation de nuages se produit. Dans un cas pareil le panache peut atteindre plusieurs kilomètres de longueur, mais ne se distingue que très peu des nuages et ne provoque aucun assombrissement.

1.2 Prévisions a priori des effets atmosphériques (avant la construction de la centrale)

Avant de choisir un site pour une nouvelle centrale électrique munie de réfrigérants, il est indispensable d'étudier les répercussions éventuelles sur les phénomènes atmosphériques, par exemple les effets sur le climat: assombrissement, comportement des panaches lorsque les conditions atmosphériques sont stables, et bruits.

Pour pouvoir réaliser ces études prévisionnelles, il faut connaître:

- la quantité de chaleur perdue et le programme d'exploitation du réfrigérant,
- données météorologiques (profils – mesurés discontinuellement, informations obtenues au fur et à mesure des années).

Des informations météorologiques peuvent être obtenues dans les stations de service météorologique les plus proches. Dans les cas des centrales à très grande puissance, qui interviennent inévitablement pour une bonne part dans le programme d'expansion actuel, ces informations sont très souvent insuffisantes. Elles suffisent dans le cas de plaines au climat maritime où les paramètres ne varient que très insensiblement. Lorsqu'il s'agit d'un site à l'intérieur du continent, les informations météorologiques doivent être obtenues sur place. La comparaison avec les stations météorologiques plus éloignées, dont les informations sont connues sur une période de plusieurs années, permet de connaître assez sûrement les répercussions possibles.

Dans les régions de topographie très variable (régions en altitude moyenne), on procède de la manière suivante:

1.2.1 Mesure de paramètres météorologiques – discontinue

a) Détermination des profils en tant que fonction de la hauteur: profil du vent, profil de la température, profil de l'humidité.

Ces valeurs mesurées peuvent être obtenues par sondes radio.

b) Détermination des situations atmosphériques qui du point de vue météorologique peuvent être considérées comme critiques en y adaptant les paramètres correspondants.

1.2.2 Mesure de paramètres météorologiques – permanente

Les tours de mesure contrôlent à plusieurs niveaux: la direction du vent, la vitesse du vent, la température, l'humidité.

On constate souvent des disparités assez importantes entre les conditions météorologiques locales et celles indiquées par les services, surtout les mesures concernant les couches d'air

près du sol. Pour permettre une comparaison des mesures, il est indispensable de construire des tours de mesure. Ces installations de mesure ont, contrairement aux mesures discontinues obtenues par sondes radio, l'avantage de fonctionner de façon permanente et facilitent ainsi le choix d'exemples de situations atmosphériques extraordinaires.

1.2.3 Triage des informations au moyen de modèles de calcul

Afin d'établir des prévisions quant aux répercussions des réfrigérants sur les phénomènes atmosphériques, tels que: augmentation de l'humidité dans les environs du réfrigérant, panache visible, assombrissements, pluies.

Plusieurs calculs concernant la diffusion des panaches ont été réalisés au cours des dernières années.

Un des modèles les plus connus est sans doute le modèle SAUNA, établi par une Commission d'experts suisses des tours de refroidissement.

Etant donné les difficultés de classer les diffusions par ordre de grandeur et étant donné aussi l'impossibilité d'établir les valeurs des turbulences atmosphériques, il est indispensable de vérifier les modèles de calcul sur des installations déjà exploitées, afin de comparer les valeurs des coefficients d'échange, les divergences régulières, etc.

1.2.4 Contrôle de l'environnement

Dans certains cas spéciaux il est conseillé d'installer les équipements de mesure longtemps avant la mise en exploitation de la centrale.

Ces équipements sont capables de mesurer: les températures et l'humidité à proximité du sol, le rayonnement, les rayons du soleil.

Ils permettent ainsi une comparaison avec les paramètres obtenus après la mise en exploitation de la centrale. Ces équipements doivent être installés là où l'on suppose des répercussions éventuelles du réfrigérant sur l'atmosphère.

Au moins une station de mesure devra être installée en dehors de cette zone et servira de référence.

1.3 Contrôle *a posteriori* des effets atmosphériques (dans la phase de l'exploitation des centrales)

1.3.1 Vérification des modèles de calcul

Il faut comparer les influences établies par le calcul dans le cadre des mesures discontinues et la représentativité de ces valeurs. Cette comparaison exige des émissions de sondes, qui doivent être complétées par des observations de panaches à l'aide de procédés photographiques ou par des comparaisons avec des modèles de calcul. Il est d'autre part très utile de laisser subsister quelques équipements de mesure pour plusieurs années après la mise en service de la centrale. Des mesures de ce genre, c'est-à-dire des mesures permanentes, ne se font pas encore ou à de rares exceptions près.

1.3.2 Les contrôles de l'environnement

Les contrôles de l'environnement n'ont de signification qu'après la mise en service de la centrale, car ils servent à comparer les paramètres météorologiques mesurés avant et après la mise en service de la centrale. Pour être très précis ces appareils doivent travailler de façon permanente. Il faut comparer surtout les valeurs de:

- l'humidité dans l'air à proximité du sol,
- le rayonnement du soleil,
- les rayons en général.

Pour certaines centrales on fait des tests physiologiques sur des végétaux. Certains de ces tests sont en cours depuis plusieurs années. Ils doivent montrer les influences sur le microclimat et par conséquent les influences sur le monde végétal, et également lorsqu'il s'agit de cultures spéciales.

1.3.3 Mesures pour élargir les connaissances scientifiques

Les mesures les plus connues (mesures des panaches, observations des panaches, mesures des paramètres météorologiques ensemble avec les observations des panaches) ont été réalisées aux Etats-Unis d'Amérique (Keystone P.St.), au Royaume-Uni (Ratcliffe P.St.), en République fédérale d'Allemagne (Gemeinschaftskraftwerk Ost, Neurath). Ces mesures ont servi à contrôler l'état des panaches, des spectres de gouttes, des paramètres thermodynamiques et aussi aux observations météorologiques concernant directement le réfrigérant. L'établissement des modèles d'ordinateur n'a été rendu possible que grâce à la comparaison des mesures avec les modèles de calcul.

1.4 Solutions technologiques et économiques visant à limiter ou à prévenir les nuisances atmosphériques

C'est par des expertises et dans le cadre de la demande d'autorisation de construire que sont évaluées les valeurs que peuvent atteindre les répercussions des réfrigérants atmosphériques humides à un site bien précis, c'est-à-dire on statue si les influences sur le microclimat dans les environs du réfrigérant sont supportables ou non.

Si la construction de la centrale est réalisée sur le site, malgré le constat d'influences nuisibles, l'application de nouvelles solutions s'impose.

Possibilité n° 1

Dans les régions au climat relativement stable, les répercussions négatives des réfrigérants sont assez exceptionnelles. La solution qui s'offre est de diriger les panaches en hauteur de façon à ce qu'ils transpercent les inversions. Pour réaliser un tel mécanisme on peut provoquer un échauffement de l'air dans la cheminée, ce qui entraîne par ailleurs une diminution d'efficacité.

L'augmentation de la température permet dans certains cas de transpercer l'inversion gênante. Ainsi la formation ou l'intensification du brouillard n'est plus possible. Cette méthode est la plus simple et la plus économique; elle exige toutefois une très bonne connaissance des profils météorologiques, dépendant de la hauteur.

On peut influencer le panache par un échauffement au moyen de brûleurs à gaz ou à l'huile, ce qui revient à sécher le panache au moyen de vapeur. Ces solutions présentent l'inconvénient d'être très difficiles à réaliser et ne peuvent bien entendu pas être utilisées dans les réfrigérants en bois. Le fait de sécher le panache au moyen de vapeur dans les conduits de tuyaux entraîne une corrosion de ces derniers.

Possibilité n° 2

Si pour des raisons d'optique, on veut éviter la création d'un panache, on peut utiliser une combinaison entre un

réfrigérant atmosphérique humide et un aéroréfrigérant. Théoriquement cette combinaison permet d'obtenir un réfrigérant qui n'émet pas de panache. Ce réfrigérant mixte présente en outre l'avantage d'être plus économique qu'un aéro-réfrigérant. Une telle combinaison n'a pas encore été réalisée dans la pratique.

Suivant la conception des parties humides et des parties sèches du réfrigérant, on peut éviter que le panache soit visible.

Possibilité n° 3

Lorsque le site se trouve à proximité d'un cours d'eau, on peut utiliser le système de la réfrigération par mélange. Ce système toutefois ne présente de l'intérêt que si les contraintes des autorités gouvernementales ou un débit insuffisant du cours d'eau rendent l'emploi d'un réfrigérant obligatoire. Dans un tel cas il est même probable que le réfrigérant ait – sous certaines conditions météorologiques – des influences négatives sur l'environnement.

Dans ce cas, il s'agit d'évaluer la portée de ces influences et de prendre des mesures de protection de l'environnement sans tenir compte des contraintes.

2. Problèmes relatifs au bruit

2.1 Sources du bruit

Dans le cas des réfrigérants atmosphériques humides dont le fonctionnement est basé sur le principe de ruissellement de l'eau, le bruit provient essentiellement des gouttes qui tombent dans le bassin. Dans le cas des réfrigérants à tirage forcé (par ventilation, par cellules) le bruit des gouttes qui tombent est renforcé par celui du ventilateur, du rouage et du moteur. Ce dernier peut provoquer une augmentation du niveau de bruit total. En général on considère deux sources de bruit:

a) les bruits provenant de l'ouverture d'entrée de l'air; dans ce cas, la source de bruit se trouve à 10 à 15 m (maximum) au-dessus du sol;

b) les bruits en hauteur qui sortent de la cheminée.

Les bruits provenant de l'ouverture d'entrée de l'air ne sont entendus qu'à proximité de la tour, les bruits sortant de la cheminée par contre se répercutent à des distances plus grandes.

2.2 Spectres de bruit et puissances phoniques

Lorsqu'on compare le bruit provoqué par un réfrigérant à tirage naturel avec celui d'un réfrigérant à tirage forcé, on constate une différence maximale de 5 dB (A). On peut généralement dire que les réfrigérants à tirage naturel sont plus silencieux que les réfrigérants à tirage forcé.

Les réfrigérants à ventilation ont des spectres de bruit très variables. Ces variations existent du fait que les ventilateurs

fonctionnant à basse fréquence ont un rayonnement de son plus fort et provoquent ainsi une propagation plus forte d'ondes.

2.3 Etudes prévisionnelles lors d'un projet de construction d'un nouveau réfrigérant

Il faut vérifier l'existence de contraintes imposées pour le site choisi pour la construction et les régions environnantes. Il faut par exemple considérer la distance du site à l'agglomération la plus proche. Certains pays imposent des valeurs limites à ne pas dépasser. Pour respecter ces contraintes il faut prendre des mesures de réduction du bruit.

2.4 Procédés employés pour réduire le bruit

Différentes possibilités:

a) Source de bruit au niveau de l'entrée de l'air.

Dans ce cas, on peut obtenir une diminution du niveau du son en construisant un mur ou une digue qui soient de hauteur au moins égale à la hauteur de l'entrée de l'air. Le niveau de bruit peut être diminué ainsi environ de 12 dB (A).

b) Source de bruit au niveau de la sortie de l'air.

Les bruits enregistrés à de plus grandes distances de la tour proviennent en général de la sortie de l'air au sommet du réfrigérant. Il est très difficile de prendre des mesures pour baisser le niveau du bruit à cette hauteur.

c) Méthodes particulières de réduction du niveau de bruit.

Au cas où il faut prendre des mesures particulières pour réduire le niveau de bruit, comme cela était le cas pour la centrale Lichterfelde à Berlin, on peut installer un système d'insonorisation par aspiration ou par émission. Ce système permet de baisser le niveau de bruit suivant les besoins.

La condition essentielle pour permettre le fonctionnement de ce système est une différence de pression à l'intérieur de la tour. Il est donc indispensable d'utiliser dans ce cas des réfrigérants à ventilation. La centrale Lichterfelde (150 MW) par exemple a été munie d'une tour de réfrigération, dont l'architecture extérieure ressemble de très près à celle d'un réfrigérant à tirage naturel (élancé, très haut), mais qui fonctionne au moyen de vingt ventilateurs de pression. Les dépenses pour une telle installation peuvent, lorsque celle-ci est très perfectionnée, dépasser le coût du réfrigérant lui-même. Des essais sur les amortisseurs de bruit par insonorisation de l'éclatement successif des gouttes dans le bassin, au moyen de matelas, qui surnagent à la surface de l'eau, n'ont pas encore montré de résultats très encourageants. Ce système ne peut être efficace que dans le domaine des hautes fréquences phoniques.

Adresse de l'auteur:

G. Rau, ingénieur diplômé, Badenwerk AG, Postfach 1680, D-75 Karlsruhe.