

<b>Zeitschrift:</b>	Jahrbuch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Annuaire de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerische Naturforschende Gesellschaft
<b>Band:</b>	163 (1983)
<b>Artikel:</b>	Effets météorologiques des tours de refroidissement
<b>Autor:</b>	Schneiter, Daniel
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-90909">https://doi.org/10.5169/seals-90909</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:** 02.02.2026

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

# Effets météorologiques des tours de refroidissement

Daniel Schneiter

## Résumé

Les effets météorologiques des tours de refroidissement de grande puissance (2000 MW thermiques) peuvent être évalués à l'aide de modèles numériques, pour autant que les sondages aérologiques choisis comme données d'entrée, soient représentatifs. La comparaison statistique des mesures météorologiques effectuées avant et pendant l'exploitation de la centrale de Gösgen, met en évidence les diminutions de la durée d'insolation et une modification des distributions journalières de température et d'humidité. L'évolution du panache de vapeur et le déplacement de son ombre portée sont observés continuellement par un réseau de six caméras dans le but d'obtenir une distribution fine de la diminution d'insolation. Les prises de vue aéroportées (1000 m/sol) ont décelé des transferts d'humidité jusqu'aux nuages d'altitude. En conditions météorologiques instables, le panache est susceptible de stimuler des formations nuageuses importantes.

## Zusammenfassung

Die meteorologischen Auswirkungen von Kühltürmen grosser Leistung (2000 MW<sub>th</sub>) können mittels numerischen Modellen abgeschätzt werden, sofern die als Eingangsdaten benutzten aerologischen Sondierungen repräsentativ sind. Der statistische Vergleich der vor und während des Betriebs des Kernkraftwerks Gösgen durchgeföhrten meteorologischen Messungen zeigt eine Verminderung der Sonnenscheindauer sowie eine Veränderung der täglichen Temperatur- und Feuchtigkeitsverteilungen.

Das zeitliche Verhalten des Dampfschwadens und die Verschiebung seines Schattenwurfs werden ununterbrochen von einem Netz von 6 Kameras beobachtet, mit dem

Ziel, eine feine Verteilung der Sonnenscheindauerverminderung zu erhalten. Mit Hilfe von Luftaufnahmen (1000 m/Boden) liessen sich Feuchtigkeitsverlagerungen bis auf Wolkenhöhe nachweisen. Bei instabilen meteorologischen Verhältnissen ist der Schwaden in der Lage bedeutende konvektive Wolkenbildungen zu fördern.

## Les différents effets météorologiques

Les principaux effets météorologiques dus à l'exploitation d'une tour de refroidissement de grande puissance (500-2000 MW thermiques) se résument comme suit:

Effets à courte distance:

1. Ombrage propre de la tour
2. Embruns provenant de la base du réfrigérant

Effets dus au panache:

3. Diminution de la durée d'insolation par ombrage
4. Modification du rayonnement par ombrage, par réflexion et par émission infrarouge
5. Modification de la température au sol
6. Modification de l'humidité relative au sol
7. Modification des précipitations par interaction entre le panache et les nuages naturels (stimulation, alimentation)
8. Effets synergétiques entre le panache et la pollution ambiante.

Effets à plus longue distance:

9. Formation de couches d'air humide au niveau de stabilisation du panache
10. Effets instabilisants en altitude.

D'autres effets peuvent agir sur l'environnement, comme le bruit, le problème des bactéries, de la corrosion, des odeurs, de la pollution des eaux ou de l'esthétique.

Les nombreuses études (plus de 800) publiées à ce jour (OMM, bibliographie 1983) ont abordé la plupart de ces questions et proposent des analyses qualitatives et quantitatives plus ou moins concluantes.

Les effets à courte distance se manifestent en premier lieu dans l'enceinte même de la centrale. L'ombre de la tour s'étend vers les habitations proches lorsque l'élévation du soleil est faible. Des écrans protecteurs suppriment efficacement la propagation des embruns sur les routes ou autoroutes voisines.

Pour le voisinage, l'ombre du panache représente une gêne certaine et fait actuellement l'objet d'études détaillées. Les effets sur la distribution des températures et de l'humidité sont assurément faibles et restent difficiles à déterminer d'une manière précise, car ils interagissent avec des fluctuations naturelles. Les changements d'affectation du sol jouent aussi un rôle.

Les effets à longue distance, avec possibilité de cumulation des rejets thermiques de plusieurs centrales, ont fait l'objet d'études régionales, comme celles du projet CLIMOD.

## Les méthodes d'investigation

Trois principales méthodes de prévision et de vérification des effets météorologiques sont couramment utilisées: la simulation numérique, les modèles physiques et les observations sur le terrain.

### Simulation numérique

Elle comporte trois niveaux de complexité.

#### Les modèles simples:

Des formules explicites donnent la longueur du panache en fonction de la température et de l'humidité moyennes de l'air ambiant. Cette méthode ne tient pas compte de la stratification de la basse atmosphère et ne livre de ce fait que des résultats très approximatifs.

#### Les modèles numériques unidimensionnels:

La stratification atmosphérique est prise en compte. Le modèle unidimensionnel suppose que l'état thermodynamique mesuré à une altitude donnée est le même dans tout le plan horizontal passant par le point de mesure et

ne varie pas pendant la durée de dispersion d'une particule du panache. Cette hypothèse d'homogénéité ne permet guère l'étude des interactions avec des nuages naturels convectifs dont la distribution est essentiellement inhomogène. Les méthodes utilisées pour simuler les processus de mélange turbulent du panache avec l'air ambiant font appel à des paramétrisations simples (coefficients d'entraînement) pas toujours compatibles avec les formes de panache observées.

Les résultats (Argonne National Laboratory, 1981) sont jugés acceptables lorsque les dimensions calculées et observées sont dans un rapport inférieur à deux. Les performances de ces modèles sont limitées par la résolution, en temps et en altitude, des données aérologiques d'entrée. Les sondages aérologiques effectués deux fois par jour en des sites souvent éloignés de plusieurs dizaines de km et d'altitudes différentes, ne représentent que grossièrement l'évolution des températures près du sol (fig. 1). L'adjonction des sondages microaérologiques (fig. 2) améliore sensiblement la description de l'évolution journalière, mais ces mesures intensives ne sont disponibles que pendant des périodes limitées.

Les modèles numériques multidimensionnels:

Ces modèles plus sophistiqués proposent une résolution numérique d'un système d'équations hydrodynamiques. Ces méthodes demandent des ordinateurs puissants et sont assujetties aux hypothèses nécessaires à la fermeture des systèmes d'équations. La description mathématique des processus de diffusion turbulente, qui doit être suffisamment simple pour être opérationnelle, ne propose pas toujours des solutions réalistes. Ces modèles restent expérimentaux mais comportent un potentiel de développement très important. Les limitations dues aux manques de résolution spatiale et temporelle des mesures d'entrée sont encore plus critiques que pour les modèles unidimensionnels. En principe les modèles multidimensionnels de panache pourront être couplés à des modèles multidimensionnels de météorologie régionale.

### Les modèles physiques

Certains effets sont simulés en soufflerie ou dans des veines hydrauliques. Des maquettes

MEURES AU SOL  
STATION 3 GOESGEN 2M/SOL  
DU 3 JUIN 1980 A 0000H AU 6 JUIN 1980 1200H

SONDAGES AERROLOGIQUES  
98 KM DE GOESGEN 490 M/MER  
PAYERNE DU 3 JUIN 1980 0000H AU 6 JUIN 1980 1200H

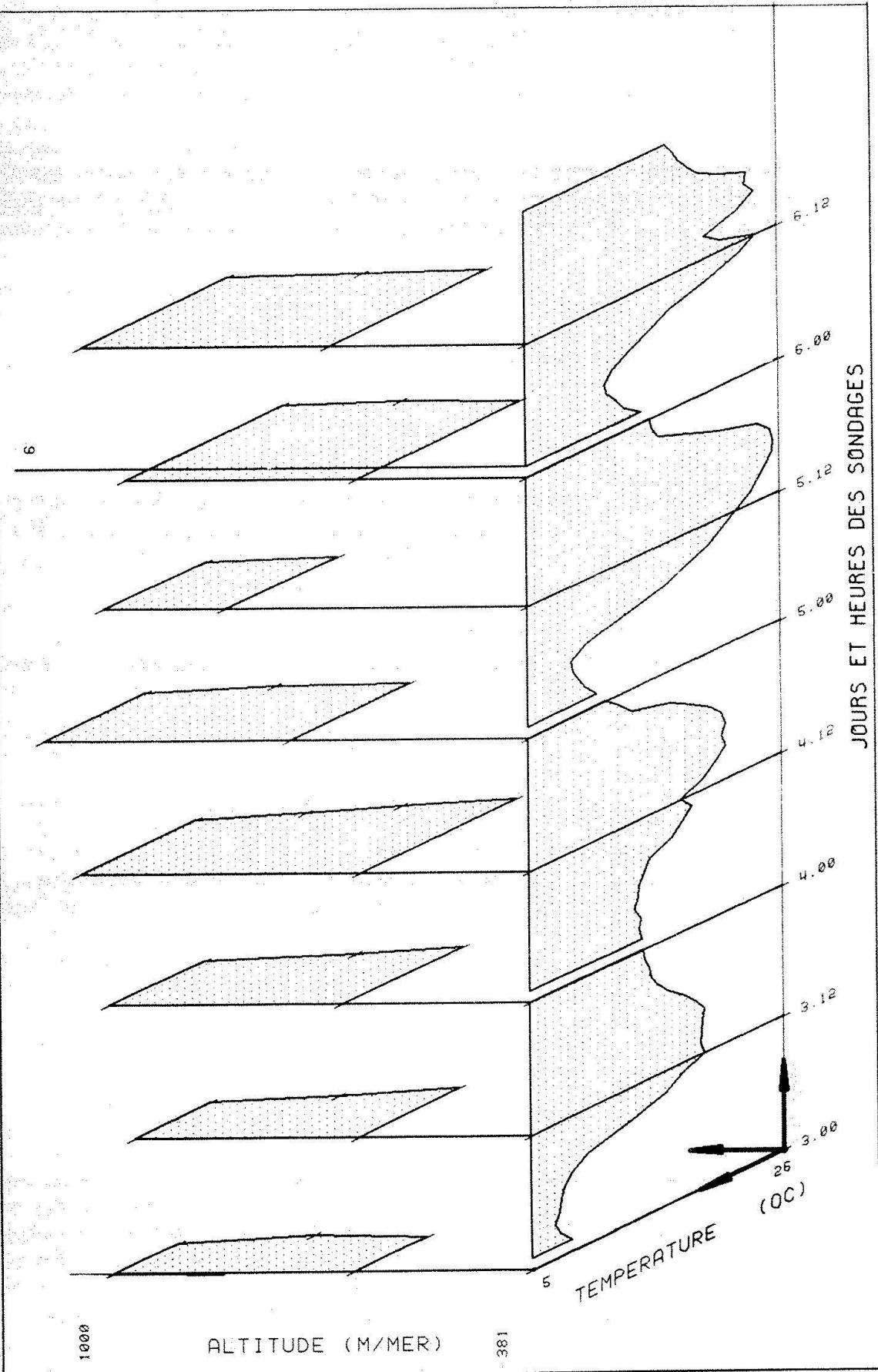


Fig. 1. Températures au sol à Gösgen, complétées en altitude par les sondages aérologiques de Payerne.

MEURES AU SOL STATION 3 GOESGEN 381 M/MER 2H/SOL SONDAGES AÉROLOGIQUES PAYERNE 98 KM DE GOESGEN 490 M/MER DU 3 JUIN 1980 0000H AU 6 JUIN 1980 1200H SONDAGES MOBILAB DULLIKEN 2,5 KM DE GOESGEN 398 M/MER

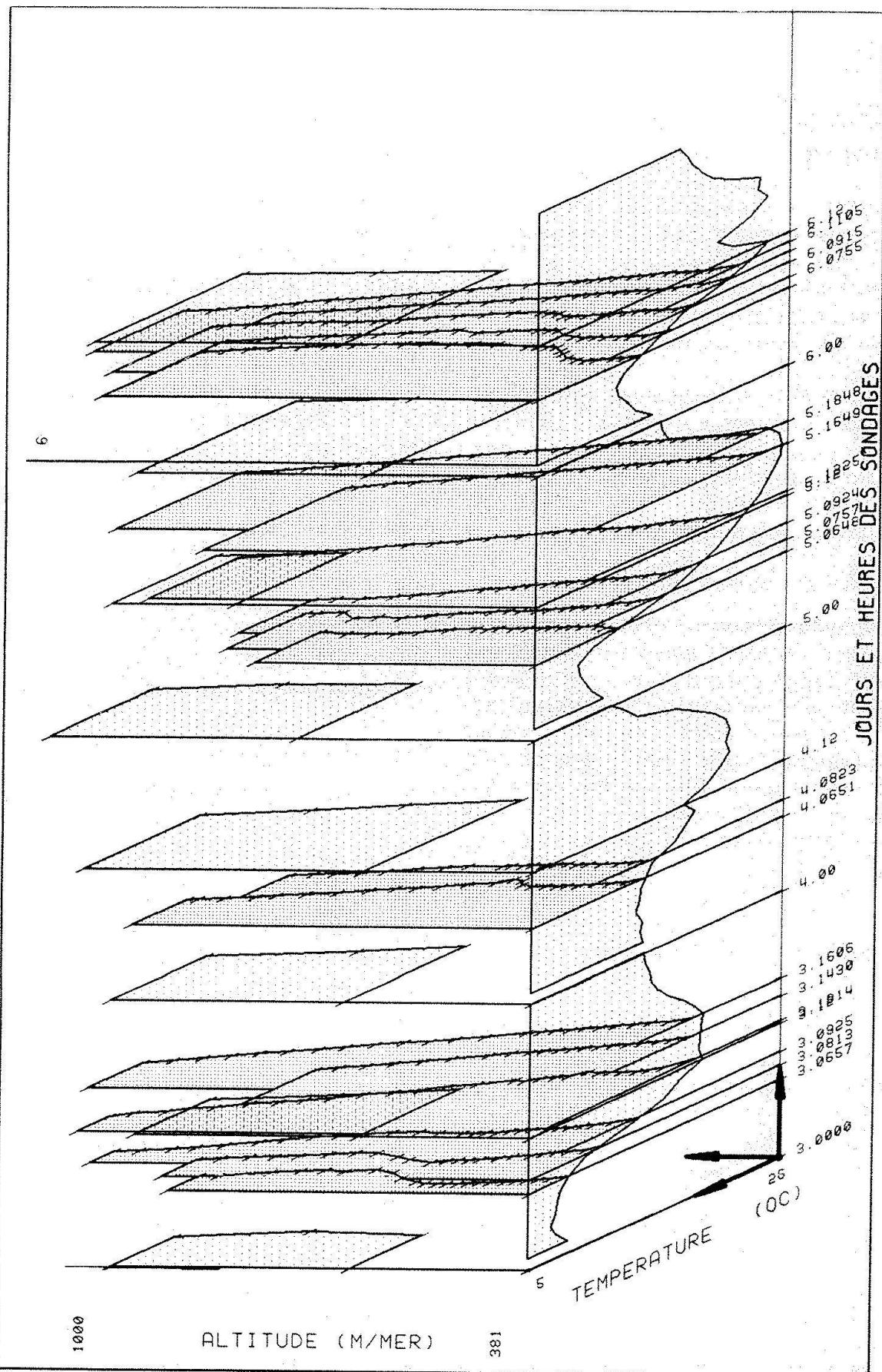


Fig. 2. Mesures de la figure 1, complétées par les sondages microaérologiques MOBILAB.

de tours de refroidissement, placées dans leur contexte industriel et topographique, sont alimentées par de l'air chaud, des gaz de différentes densités, ou, en milieu hydraulique, par des liquides de densités et de couleurs différentes.

Des essais comparatifs sur le comportement dynamique des panaches sont effectués en modifiant la configuration des maquettes. Ces exercices donnent des indications utiles au choix final du type et du nombre de réfrigérants pour un projet donné, compte tenu d'autres impératifs techniques et économiques.

La simulation de la turbulence atmosphérique est partiellement possible. La difficulté de simuler un gradient de pression, et les processus qui lui sont liés, comme la condensation et la libération de chaleur latente, est une limitation importante.

### Les observations météorologiques

Les campagnes de constat cherchent à mettre en évidence les effets météorologiques par des observations conduites avant et pendant l'exploitation d'une centrale. Les réseaux nationaux, conçus pour les relevés synoptiques et climatologiques n'ont pas la densité et la résolution suffisantes pour ces études. Il faut les compléter par des réseaux régionaux spécialement conçus pour détecter les effets recherchés.

### Observation des effets de la centrale de Gösgen

Dans le cas de Gösgen, les mesures de constat font partie intégrante du réseau d'alarme et de surveillance radioactive (Schneiter et al. 1980). Elles ont fait l'objet de plusieurs rapports météorologiques (SPA 1972, 1977, 1983). L'étude préliminaire des effets de la centrale sur la durée d'insolation, la température et l'humidité est basée sur le traitement statistique des variations journalières.

### Méthodologie

Les paramètres météorologiques sont des variables aléatoires, dont les fluctuations par rapport aux moyennes décennales ou séculaires sont relativement importantes. Il n'est donc pas raisonnable de comparer directe-

ment les moyennes mensuelles ou annuelles, établies avant et pendant l'exploitation d'une centrale, car les variations ainsi constatées cumulent indifféremment les modifications naturelles et artificielles.

La méthode retenue admet que les variations naturelles intéressent simultanément toute une région, alors que les variations artificielles, dues au panache, sont essentiellement locales. Ainsi les statistiques mensuelles ou annuelles d'un même paramètre mesuré simultanément en deux stations proches l'une de l'autre, et non soumis à des influences locales, sont pratiquement les mêmes. Dans ce cas la statistique de la différence des deux valeurs du paramètre est en principe stable. Lorsque la perturbation locale due à la centrale n'influence que l'une des deux stations, elle se répercute intégralement sur la différence. Si, de plus, ces effets n'apparaissent qu'à des heures privilégiées, et ce sera le cas pour l'ombrage, la forme de la variation journalière moyenne des différences s'en trouvera modifiée. Cette méthode a été retenue pour les analyses de la durée d'insolation, de la température et de l'humidité.

### Diminution de la durée d'insolation

Les mesures de trois stations héliométriques situées à moins d'un kilomètre de la centrale (fig. 3, stations 2 3 et 4), sont comparées deux à deux, avant et pendant l'exploitation de la tour de refroidissement. Le déplacement des nuages convectifs naturels (fig. 4) provoque certaines disparités dans la variation journalière moyenne établie avant la mise en route de la centrale. La présence du panache (fig. 5) diminue la durée d'insolation à certaines heures de la journée. La comparaison des variations journalières moyennes, établies sur trois ans avant (fig. 6) et pendant (fig. 7) l'exploitation de la centrale, montre que les différences ont systématiquement augmenté aux heures d'ombrage possible (entre 8 h et 11h aux mois d'avril et mai, par exemple). Pour confirmation, il faut remarquer que les courbes des mois de juin et juillet, pendant lesquels la centrale a été arrêtée, sont à nouveau comparables à celles des mois correspondants des années avant l'exploitation de la centrale.

L'estimation quantitative de la diminution d'insolation est en cours. Elle doit tenir

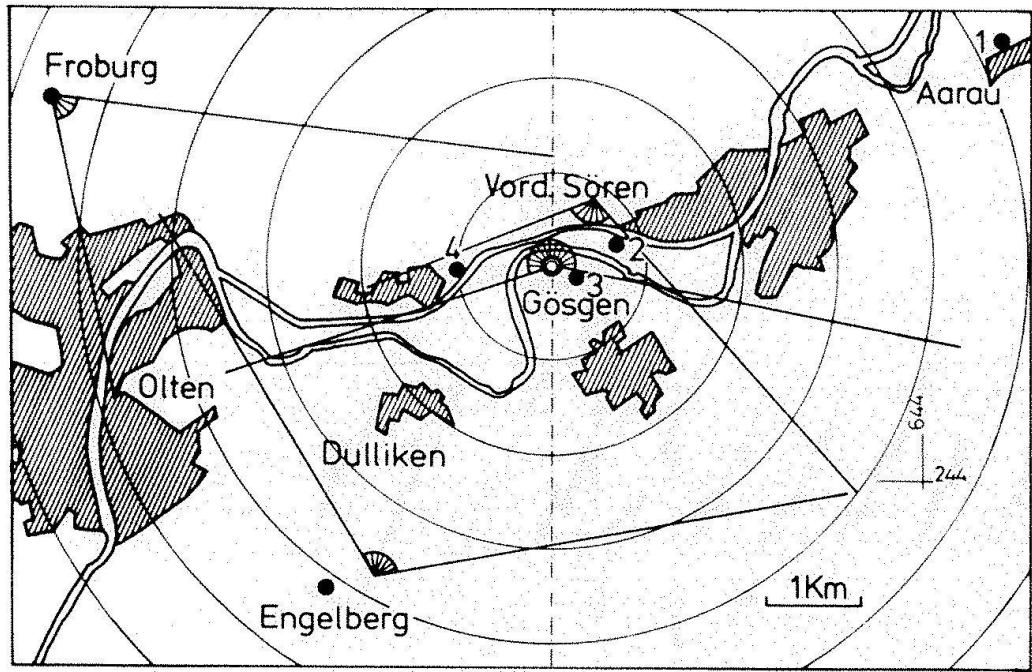


Fig. 3. Emplacement des stations de mesures et des caméras dans la région de Gösgen.

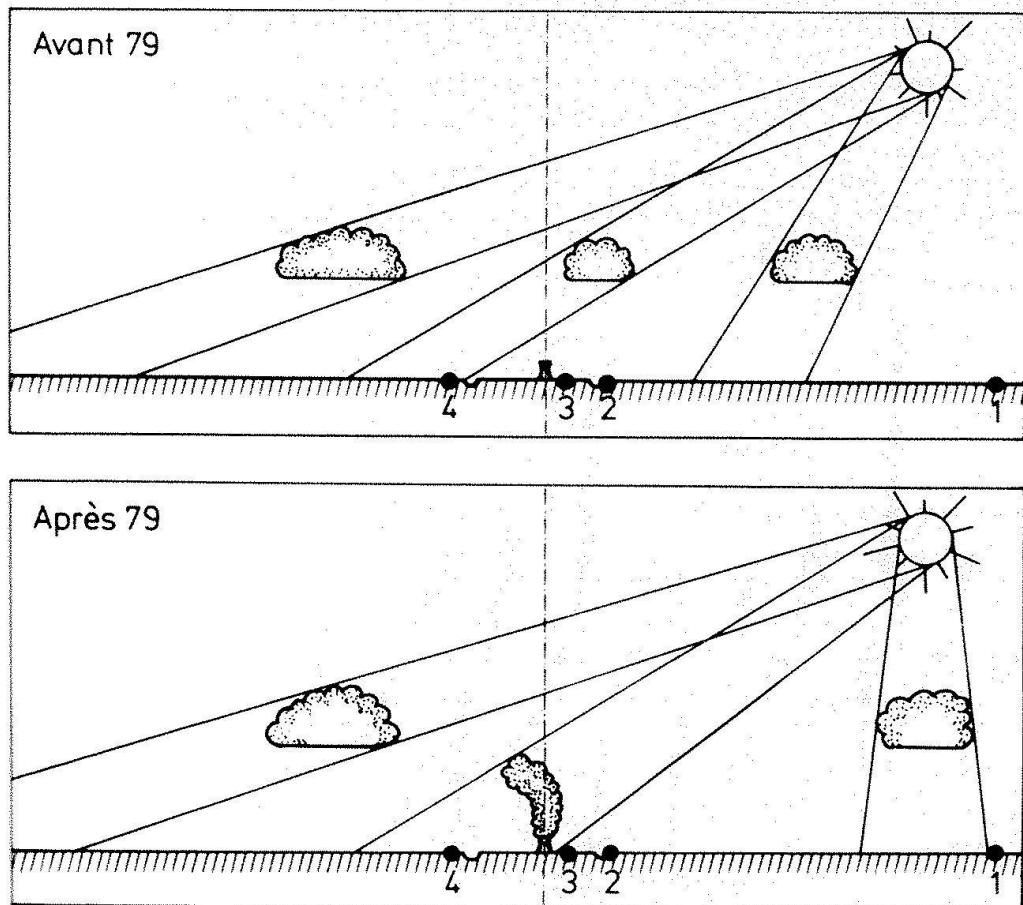


Fig. 4. Ombrage naturel avant l'exploitation de la centrale.

Fig. 5. Ombrage artificiel dû à la centrale.

DIFFÉRENCES JOURNALIÈRES

STATION 3 GOESGEN 381 M/MER 2M/SOL  
 STATION 4 BOLLENFELD 369 M/MER 2M/SOL  
 DU 1 12 1975 AU 31 11 1978, MOYENNES SUR 31 JOURS, ET SUR 3 ANS

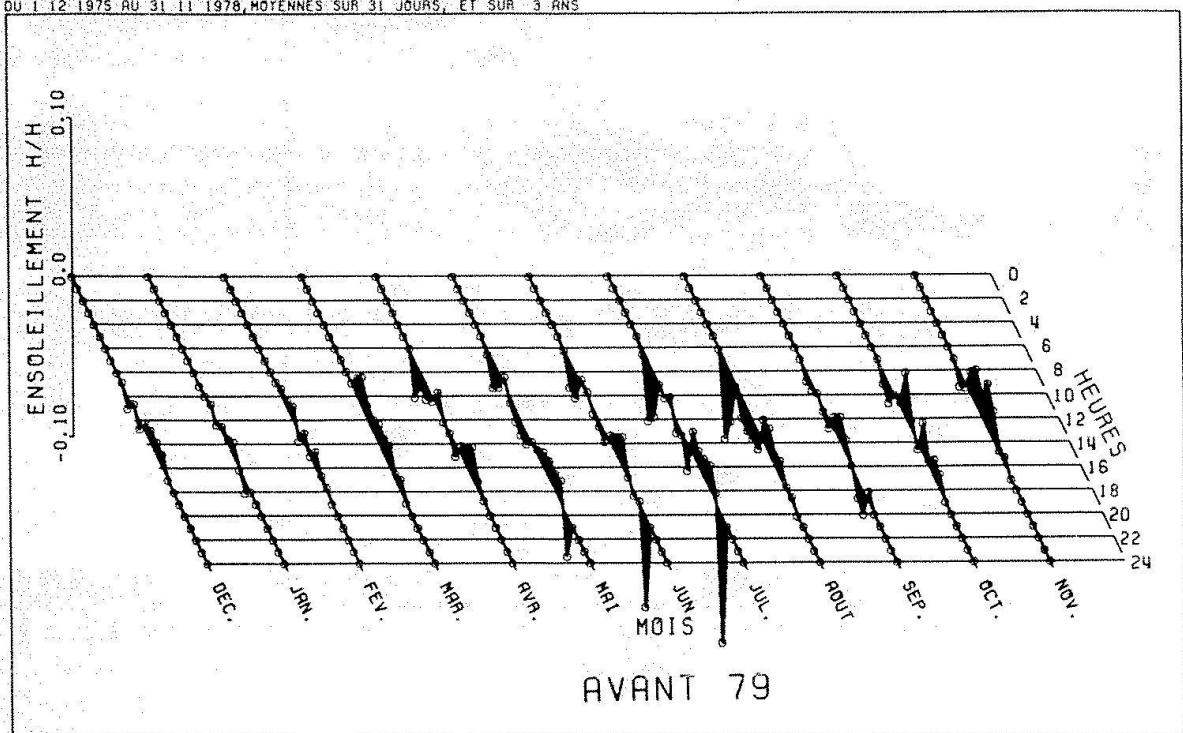


Fig. 6. Variations journalières des différences de durées d'insolation, avant l'exploitation de la centrale.

DIFFÉRENCES JOURNALIÈRES

STATION 3 GOESGEN 381 M/MER 2M/SOL  
 STATION 4 BOLLENFELD 369 M/MER 2M/SOL  
 DU 1 12 1979 AU 31 11 1982, MOYENNES SUR 31 JOURS, ET SUR 3 ANS

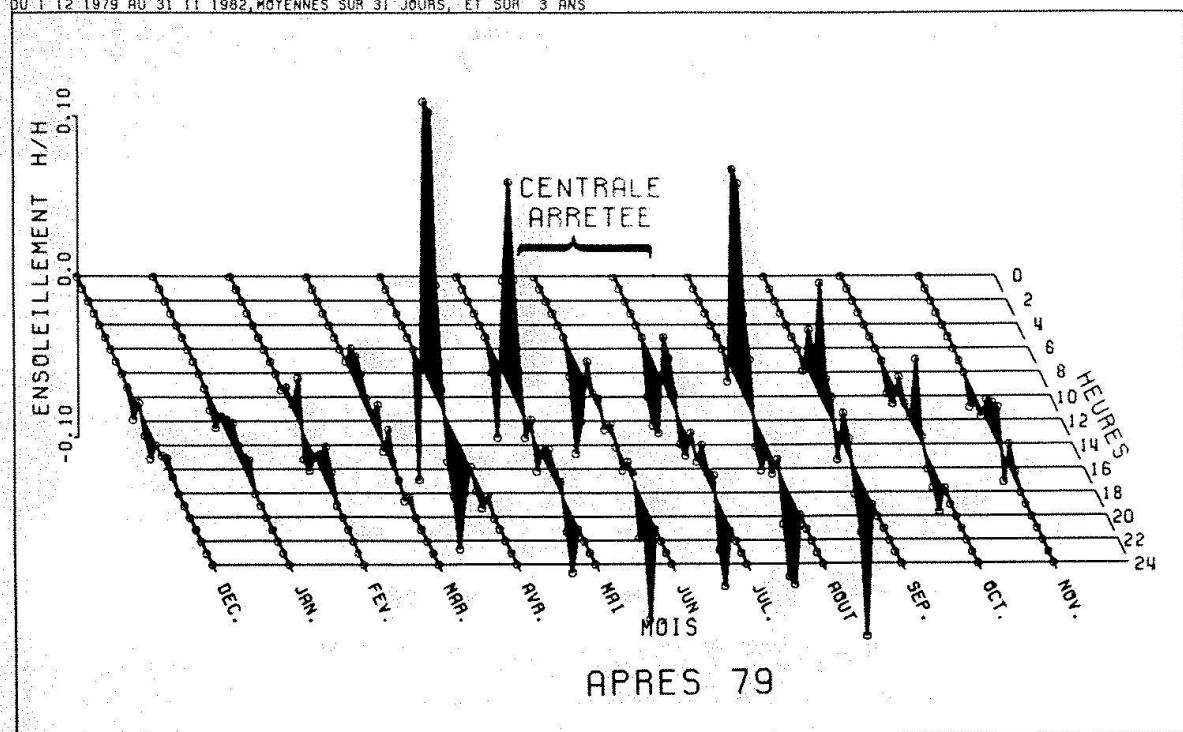


Fig. 7. Variations journalières des différences de durées d'insolation, pendant l'exploitation de la centrale.

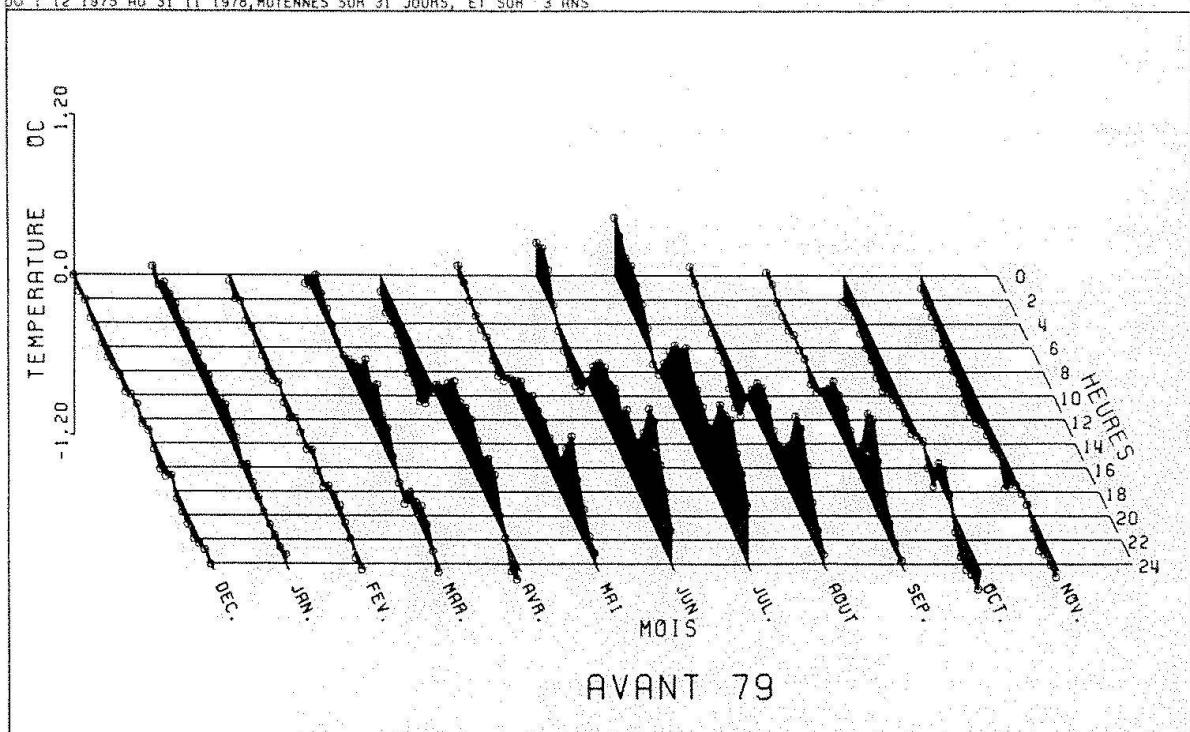
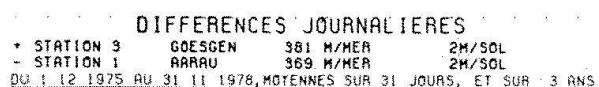


Fig. 8. Variations journalières des différences de température avant l'exploitation de la centrale.

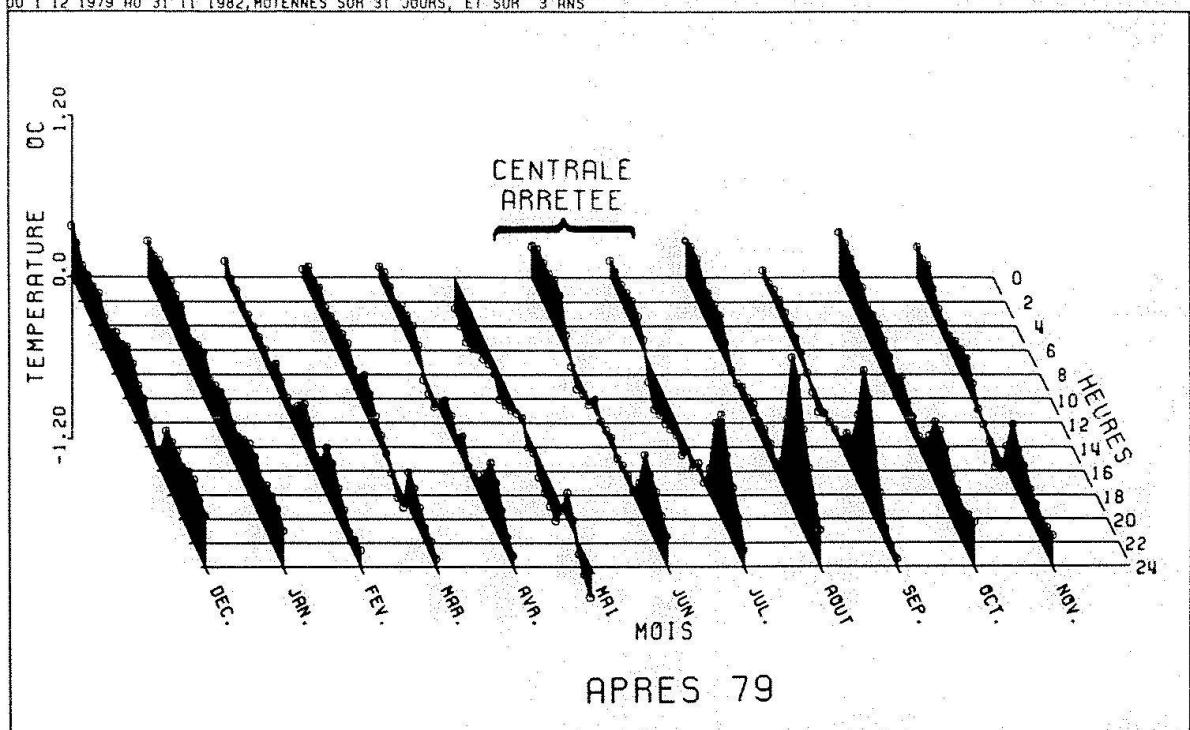
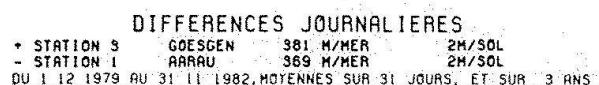


Fig. 9. Variations journalières des différences de température pendant l'exploitation de la centrale.

DIFFERENCES JOURNALIERES  
 + STATION 3 GOESGEN 381 M/MER 2M/SOL  
 - STATION 1 AARAU 369 M/MER 2M/SOL  
 DU 1 12 1975 AU 31 11 1978, MOYENNES SUR 31 JOURS, ET SUR 3 ANS

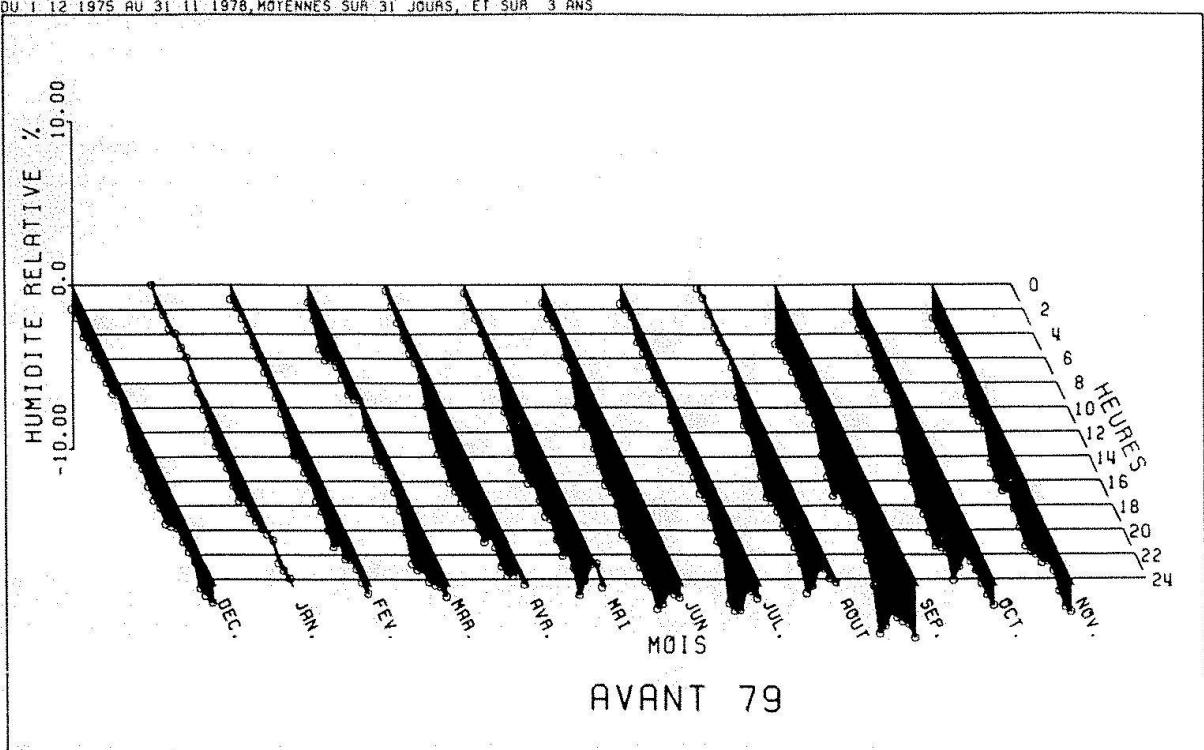


Fig. 10. Variations journalières des différences d'humidité, avant l'exploitation de la centrale.

DIFFERENCES JOURNALIERES  
 + STATION 3 GOESGEN 381 M/MER 2M/SOL  
 - STATION 1 AARAU 369 M/MER 2M/SOL  
 DU 1 12 1979 AU 31 11 1982, MOYENNES SUR 31 JOURS, ET SUR 3 ANS

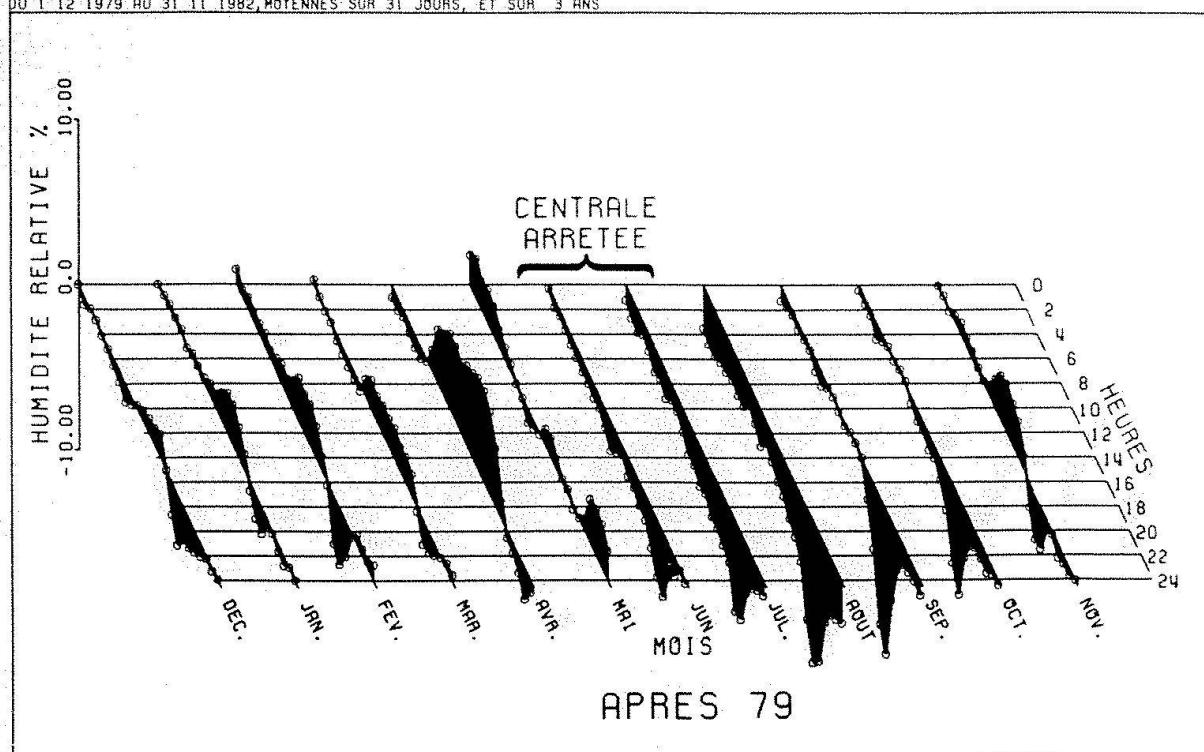


Fig. 11. Variations journalières des différences d'humidité, pendant l'exploitation de la centrale.

### Gösgen Réseau de caméras

Frobburg  
Engelberg PTT  
Tour Est  
Tour Ouest  
Tour Nord  
Engelberg Est  
Engelberg Ouest  
Vord. Sören

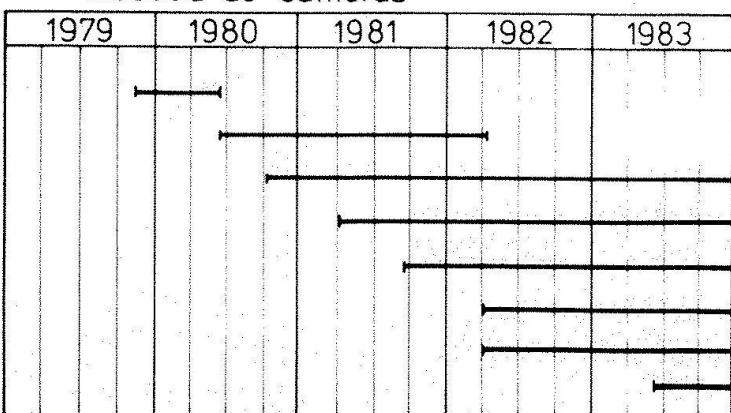


Fig. 12. Engagement des caméras du réseau d'observation.

compte des erreurs de mesures imputables à la dérive et à l'hétérogénéité des seuils de sensibilité des capteurs utilisés.

#### Modification des températures

Analysées par le même procédé statistique, les modifications des températures observées avant (fig. 8) et après 1979 (fig. 9) sont manifestes, mais plus difficiles à interpréter. L'influence directe du panache, qui devrait se faire sentir aux mêmes heures que la diminution d'ensoleillement, n'est pas évidente. Le réchauffement nocturne hivernal (octobre à mars) durant la période 1979-1982 est significatif. Il est toutefois prématuré de l'attribuer sans autre au rayonnement infrarouge du panache. D'autres influences, comme la modification de l'état du sol ou le réchauffement de l'air par les pertes thermiques des bâtiments de la centrale jouent probablement leur rôle. La comparaison systématique des autres stations thermométriques révèle des processus micrométéorologiques importants à l'échelle locale dont il faudra tenir compte dans l'évaluation des causes.

#### Modification de l'humidité

La comparaison des statistiques d'humidité (fig. 10 et fig. 11) révèle également une modification des variations journalières moyennes. Le site de la centrale (Gösgen) qui était systématiquement plus sec que la station d'Aarau pendant la période 1976-1978, présente des épisodes diurnes plus humides (novembre à avril) dans la période 1980-1982. L'interprétation précise de ces résultats demande des investigations plus approfondies

dans les processus micrométéorologiques impliqués. L'émission des embruns au pied du réfrigérant n'est probablement pas étrangère à ces modifications.

#### Les observations par caméras

Un réseau de six caméras a été progressivement installé dans la région de Gösgen (fig. 12). Deux caméras filment l'évolution du panache à partir de l'Engelberg, à 3,8 km au sud-ouest de la centrale (fig. 3), et trois autres, placées sur la tour de refroidissement (niveau 110 m/sol), suivent le déplacement diurne de l'ombre portée au sol. La dernière caméra filme l'occultation du soleil par le panache, vue de Vord. Sören à 800 m au nord de la centrale.

Les caméras sont placées dans des boîtiers climatisés. Les prises de vues effectuées toutes les deux minutes sont arrêtées durant la nuit. Un horodatage complet (jour, heure minute, seconde) apparaît sur chaque image. Les films (un par semaine et par caméra) sont copiés sur cassettes vidéo, pour faciliter l'analyse des quelque 650000 images ainsi recueillies chaque année.

#### Observation du panache

La première analyse des films du panache vu de l'Engelberg suscite les brèves remarques suivantes:

La grandeur du panache est très fluctuante au cours de la journée. En général elle est imposante à l'aube, se réduit progressivement et se rallonge vers le soir.

Les longs panaches sont presque toujours associés à la présence de nuages naturels, avec lesquels ils interfèrent souvent.

La hauteur de stabilisation varie d'un jour à l'autre. Elle se confond avec celle des cumulus humilis naturels.

Les cas de recondensation sont assez fréquents et donnent naissance à des nuages de même structure que les nuages naturels avoisinants.

Les intermittences sont parfois très fortes et donnent des panaches dont la longueur fluctue rapidement.

Lors d'une campagne intensive de sondages microaérologiques, en mai 1980, une caméra aéroportée par ballon captif (1000 m/sol) a observé des transferts entre la centrale et la couche élevée d'altocumulus, dont la densité s'est manifestement accrue. Par situation météorologique instable, le panache peut stimuler la formation d'un cumulus naturel de dimension respectable, tel celui observé le 27 mai 1980 (Schneiter, 1982).

### Observation de l'ombrage

L'ombre portée du panache dépend de la position du soleil, de la grandeur et de la direction du panache. Elle devient intermittente ou disparaît en fonction de la couverture nuageuse et des brouillards. Son observation par caméras montre clairement les zones les plus fréquemment atteintes à certaines heures, dépendantes de la saison. Parfois la variation de la direction du vent, associée au déplacement apparent du soleil, provoque des stagnations d'ombrage qui peuvent durer jusqu'à deux heures consécutives, principalement dans les secteurs au nord de la centrale. Entre les cas d'ombres incontestablement présentes ou absentes, nous trouvons de nombreuses situations transitoires ou intermittentes, qui laissent place à diverses interprétations. Les statistiques sur la distribution des durées d'ombrage sont en cours d'élaboration.

### Références

- Argonne National Laboratory, 1981: Studies on Mathematical Models for characterizing Plume and Drift Behaviour From Cooling Towers. Vol. 1 to 5. Electric Power Research Institute, Palo Alto, California.
- Dienst für Luftreinhaltung, SMA-GTMT, 1972: Meteorologisches Gutachten über den Kühlurm Kernkraftwerk Gösgen, Payerne.
- Organisation Météorologique Mondiale, 1983: Bibliographie sur les rejets de chaleur. Programme mondial des applications climatologiques. OMM-PMC/WCP-33, Genève
- Schneiter, D., 1982: Cooling Tower Plume Behaviour Observed by Fixed and Airborne Cine Cameras, Near Gösgen. IAHR Cooling Tower Workshop, Budapest. Rapport de travail ISM No. 113, Zürich.
- Section de la protection de l'air, 1980: Rapport de reconnaissance des sites pour la nouvelle station météorologique de la centrale nucléaire de Gösgen-Däniken. Expertise ISM-SPA No.266, Payerne.
- Sektion für Luftreinhaltung, 1983: Kernkraftwerk Gösgen-Däniken, Meteorologische Beweissicherung. Zwischenbericht über die Messungen 1976-1982. SMA, Payerne.
- Sektion für Luftreinhaltung, 1983: Kernkraftwerk Gösgen-Däniken, Meteorologische Beweissicherung. Zwischenbericht über die Schwadenbeschattung 1982. SMA, Payerne.
- Sektion für die Luftreinhaltung, 1977: Kernkraftwerk Gösgen-Däniken, Meteorologie, Bericht über die Messungen Mai 1972 bis November 1975. Expertise ISM-SPA No.243, Payerne.

Daniel Schneiter  
Institut suisse de météorologie  
Section de la protection de l'air  
CH-1530 Payerne