

# Aéroréfrigérants de la centrale nucléaire de Golfech

Autor(en): **Bozetto, P. / Demilecamps, L. / Tourtois, J.M.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte**

Band (Jahr): **55 (1987)**

PDF erstellt am: **02.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-42772>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

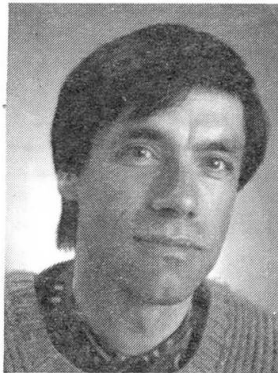
## Aéroréfrigérants de la centrale nucléaire de Golfech

Luftkühltürme des Kernkraftwerkes Golfech

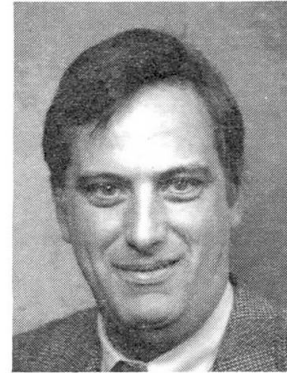
Natural Draught Cooling Towers of Golfech Nuclear Power Plant



**P. BOZETTO**  
EDF – SEPTEN  
Paris, France



**L. DEMILECAMPS**  
GTM - BTP Travaux  
Paris, France



**J.M. TOURTOIS**  
GTM - BTP Études  
Paris, France

### RÉSUMÉ

L'article traite des réfrigérants atmosphériques à tirage naturel équipant la centrale nucléaire de Golfech. Outre leur hauteur qui constitue le record du monde actuel, ces ouvrages présentent la particularité d'être fondés sur des piles situées dans des plans verticaux radiaux. L'article donne un aperçu des problèmes d'études rencontrés ainsi que des innovations de mise en œuvre.

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Luftkühltürme mit Naturzug des Kernkraftwerkes Golfech werden vorgestellt. Neben der Höhe (zur Zeit die höchsten Kühltürme der Welt) haben sie die Besonderheit, auf Stützen zu ruhen, welche in radialen Vertikalebene angeordnet sind. Der Beitrag gibt einen Überblick über die angetroffenen Probleme und Innovationen bei der Bauausführung.

### SUMMARY

Natural draught cooling towers of Golfech power plant. These structures are outstanding because of their height, to date a world record, and also because they are supported by piers located in radial vertical planes. Some problems of the project are described, along with some constructional innovations.



## 1. INTRODUCTION

Les réfrigérants atmosphériques qui équipent les Centrales d'EDF comportent tous, à l'exception de ceux de CHINON qui sont à tirage induit, une coque en béton de grande hauteur dont la fonction est d'assurer le tirage par effet de cheminée. Pour s'adapter à l'accroissement des puissances unitaires des groupes turbo-alternateurs des centrales thermiques classiques puis nucléaires, les surfaces d'échange et le tirage, donc le diamètre et la hauteur des aéroréfrigérants, ont dû fortement augmenter :

Tableau n° 1

Evolution depuis une trentaine d'années :

| SITE               | Puissance Centrale | Diamètre à la base | Hauteur |
|--------------------|--------------------|--------------------|---------|
| Pont/Sambre 1      | 125 MW             | 67 m               | 93 m    |
| Pont/Sambre 2 et 3 | 250 MW             | 82 m               | 110 m   |
| Dampierre          | 900 MW             | 131 m              | 163 m   |
| Golfech            | 130 MW             | 146 m              | 178,5 m |

Un sujet de réflexion qui a récemment passionné les concepteurs d'aéroréfrigérants est le supportage de la coque. Pour l'homme de structure, le réfrigérant idéal est constitué d'une coque continue sans ouverture encastrée dans le sol.

Pour le thermicien, la meilleure coque est, au contraire, suspendue à bonne hauteur, au-dessus du sol. Entre ces exigences antinomiques le supportage par colonnes inclinées dites diagonales (en X ou en W) satisfait au mieux l'ingénieur de génie civil.

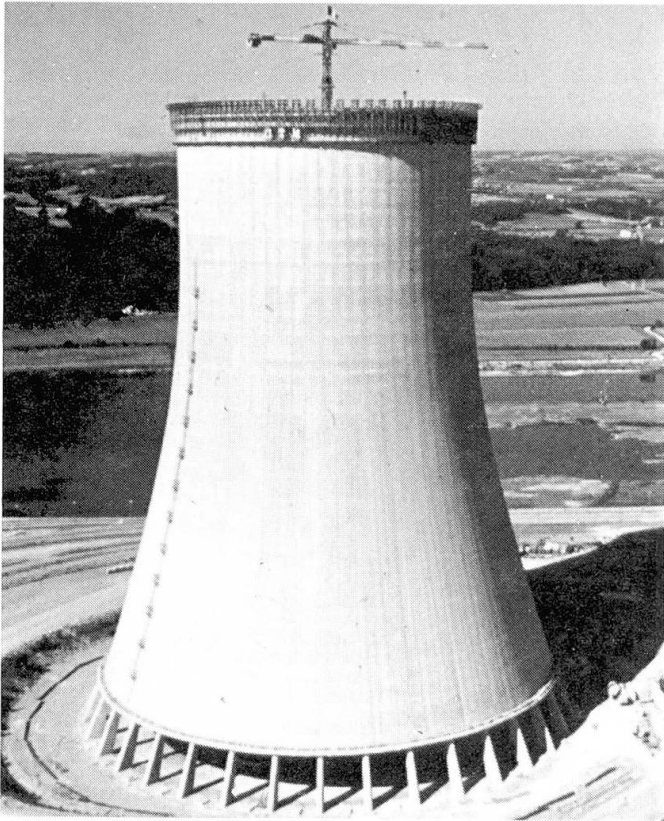
Mais les entrées d'air ne sont pas suffisamment dégagées, au détriment du rendement global de l'appareil.

C'est pourquoi EDF a préconisé un nouveau mode de supportage par piles situées dans des plans verticaux radiaux, procédé par ailleurs satisfaisant du point de vue du coût et de la facilité de réalisation.

Ainsi, on trouvera dans le tableau suivant l'évolution des caractéristiques géométriques des aéroréfrigérants du parc nucléaire EDF.

Tableau n° 2

| CENTRALE     | Tranche | Hauteur Totale (m) | Diamètre |     |                     | Epaisseur du voile (m) |      | Supportage |
|--------------|---------|--------------------|----------|-----|---------------------|------------------------|------|------------|
|              |         |                    | Sol      | Col | Couron <sup>t</sup> | Linéau                 | Col  |            |
| BUGEY        | 4 - 5   | 127                | 102      | 61  | 68                  | 0,76                   | 0,18 | W          |
| DAMPIERRE    | 1 à 4   | 165                | 131      | 77  | 83                  | 1,08                   | 0,21 | W          |
| ST.LAURENT B | 1 - 2   | 125                | 175 (1)  | 84  | 88                  | 0,97                   | 0,20 | X          |
| CRUAS        | 1 à 4   | 155                | 132      | 78  | 81                  | 1,10                   | 0,21 | W          |
| CATTENON     | 1 à 4   | 165                | 205 (1)  | 84  | 88                  | 1,05                   | 0,21 | X          |
| BELLEVILLE   | 1 - 2   | 165                | 147      | 83  | 84                  | 1,16                   | 0,23 | W          |
| NOGENT       | 1 - 2   | 165                | 147      | 83  | 84                  | 1,07                   | 0,25 | W          |
| CHOOZ        | 1       | 172                | 153      | 85  | 88                  | 1,55                   | 0,25 | piles      |
| GOLFECH      | 1       | 178,5              | 146      | 83  | 83                  | 1,20                   | 0,20 | piles      |



Ainsi les réfrigérants de GOLFECH représentent la dernière évolution technique préconisée par EDF :

- Tirage naturel, contre-courant, supportage sur piles ; et de façon anecdotique puisque ne concernant pas les structures, dispositif de recueil de l'eau refroidie. En outre, leur hauteur totale hors sol exceptionnelle de 178,5 m (le record du monde actuel) permet d'augmenter le tirage, donc de diminuer la section à la base et ainsi d'optimiser le coût global de l'ouvrage (coque et équipements).

Fig. 1 : Vue générale

## 2. LES AEROREFRIGERANTS DE GOLFECH

### 2.1. Géométrie de l'ouvrage

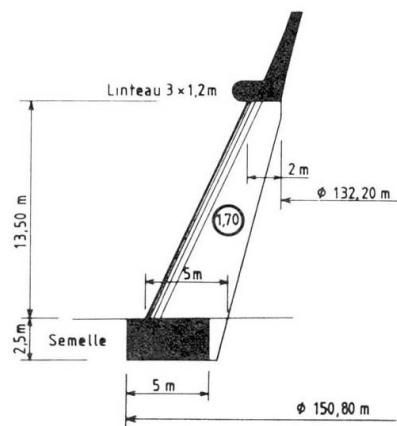
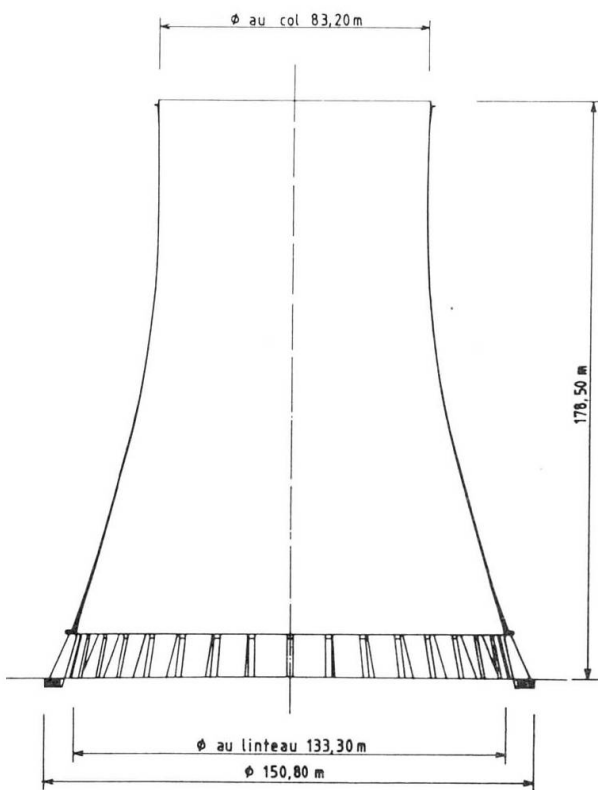


Fig. 2 : Géométrie de l'ouvrage



### 2.1.1. fondations

Semelle polygonale (5,00 m x 2,50 m hauteur) dont la ligne moyenne en plan est inscrite dans un cercle de 145,8 m de diamètre. En phase définitive, cette semelle est précontrainte par 24 câbles SEEE, FUC 12-600.

### 2.1.2. les piles

Sur cette semelle s'appuient les piles situées dans des plans verticaux radiaux. Ces piles ont une hauteur libre de 13,50 m.

Dimensions en plan des piles :

à leur base : 5,00 radial x 1,70

à leur sommet : 2,00 x 1,70

### 2.1.3. linteau

Ces piles sont liées à la coque par l'intermédiaire d'un linteau (section transversale : 3,00 x 1,20 hauteur).

### 2.1.4. la coque

Diamètre au linteau : 133,30 m

Diamètre au col : 83,20 m

Altitude du col : 146 m

Son épaisseur varie de 1,20 m à la base à 0,20 m au col.

La méridienne est constituée de 2 coniques (hyperbole sous le col, ellipse au dessus du col).

## 2.2. conception de la coque

Les calculs ont été effectués en appliquant les spécifications du CST d'EDF édition Mars 83. Les principaux cas de charges élémentaires à prendre en compte sont :

- Le poids propre
- La précontrainte
- Le vent
- Les variations dimensionnelles : température, retrait
- Les gradients thermiques (de fonctionnement, d'ensoleillement)
- Les tassements d'appuis.

*Pour tous ces cas de charges, sauf les tassements d'appuis, le sol est pris en compte comme un matériau élastique; 3 valeurs du module de réaction du sol ont été retenues : modules permanent, semi-rapide, dynamique.*

Outre les vérifications classiques d'intégrité des matériaux, béton en section homogène et fissurée, et aciers pour de nombreuses combinaisons de cas de charges élémentaires, nous devons vérifier :

- La stabilité de forme de la coque par la méthode de Bochum sous le cas de charges : poids propre + tassements + vent.
- La sécurité au flambement Eulérien sous le cas de charges : poids propre + vent
- La période propre fondamentale de la structure inférieure à 1,5 sec.

Les différentes phases de la conception ont été les suivantes :

- 1ère phase :

Prédimensionnement de la coque elle-même, c'est-à-dire de toute la partie de la structure située au-dessus du linteau.

Cette phase a consisté à optimiser la méridienne, dans la fourchette de géométrie autorisée, de façon à mettre en oeuvre un minimum de béton de coque. Cette optimisation a été faite à partir du critère de stabilité de forme de Bochum qui est déterminant dans le choix de

l'épaisseur de la coque à tous les niveaux.

Dans cette phase le calcul des efforts a été fait à l'aide d'un programme SEEE de calcul aux éléments finis d'une coque de révolution.

- 2ème phase

Dimensionnement définitif de la coque et de ses appuis. Dans cette phase le calcul des efforts a été fait avec le programme CASTEM, logiciel de calcul de structures aux éléments finis développée par le CEA et par la Société Informatique Internationale. Les passages du programme ont été faits sur l'ordinateur CRAY de la CISI.

Le modèle comportait 2000 nœuds environ et intégrait le comportement élastique du sol de fondation, sous la forme de ressorts simples verticaux et horizontaux de compression traction en sous-face de la semelle et de ressorts hélicoïdaux de moment d'axe parallèle à la fibre moyenne de la semelle (correspondant à de la torsion dans la semelle).

En outre, nous disposions d'un second modèle permettant de prendre en compte les tassements différentiels prévisibles propres au site, obtenus en faisant varier de façon sinusoïdale les raideurs des ressorts de sol le long de la semelle.

Dans cette phase, le problème déterminant auquel nous nous sommes heurtés fut le soulèvement local de la semelle de fondation sous la combinaison :

$0,9 \times \text{poids propre} + 1,5 + \text{vent} + \text{variations dimensionnelles}$ .

En effet, EDF nous imposait le non-soulèvement en tout point de la semelle sous l'action de cette combinaison sans autoriser la moindre atténuation de la raideur d'encastrement de la semelle de fondation dans le terrain, en particulier sous poids propre.

Les puissants moyens informatiques mis en œuvre nous ont permis de paramétrer les appuis (inclinaison des poteaux, excentrement de la semelle) de façon à limiter au mieux cette décompression.

Dans la structure ainsi obtenue (qui est la structure retenue décrite ci-dessus), le reliquat de soulèvement a été supprimé en créant un état d'autocontrainte du sol de fondation par vérinage d'un effort normal dans chaque étai de poteau avant coulage du linteau de façon telle que :

- D'une part le soulèvement s'annule sous la combinaison :

$0,9 (G) + 1,5 (V) + \text{variations dimensionnelles}$ ,

- d'autre part les contraintes sur le sol dues au poids propre seul, calculées avec encastrement dans le terrain et en tenant compte des phases de mise en œuvre (y compris le vérinage décrit ci-dessus), soient pratiquement constantes dans le plan radial. Nous nous affranchissions ainsi du même coup, théoriquement au moins, du problème du fluage éventuel de l'encastrement de la fondation dans le terrain sous poids propre.

- 3ème phase :

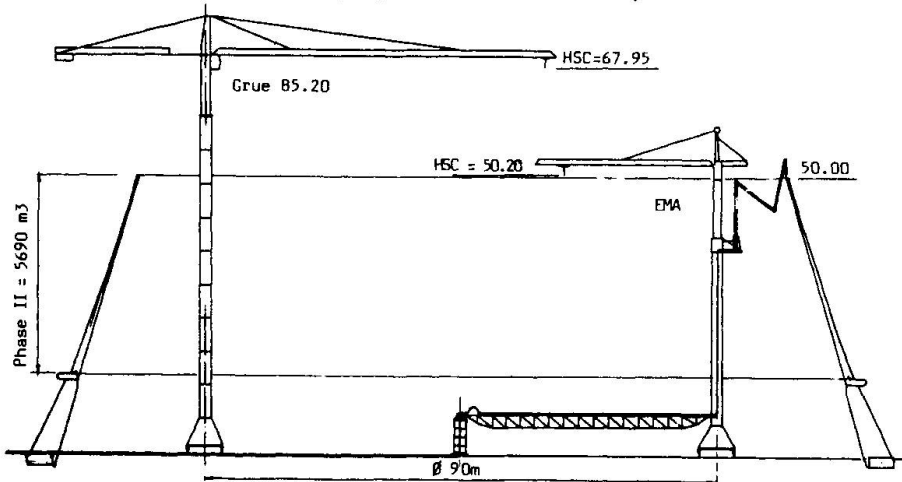
Exploitation de détail des résultats CASTEM; compte tenu du nombre impressionnant de combinaisons d'efforts à envisager, la conception du ferrailage et les vérifications de contraintes furent particulièrement facilitées par des logiciels que nous avons créés, de post-traitement des résultats des cas de charges élémentaires fournis par CASTEM dans les 2 modèles (qualité de fondation homogène et qualité variant de façon sinusoïdale le long de la semelle).

Ces logiciels réalisaient les combinaisons de cas de charges et leurs enveloppes suivant des critères choisis (tels les maxima de contraintes) tant dans les éléments de poutres que dans les éléments de coque.



## 2.3. Mise en œuvre

### 2.3.1. Pompage du béton de la coque



Pour l'ensemble de l'ouvrage la solution du pompage du béton a été retenue dans deux configurations principales suivant l'avancement de la coque. Dans les deux cas, la centrale à béton, installée immédiatement à l'extérieur de l'ouvrage, déverse son béton directement dans une pompe haute pression. Le béton est ensuite refoulé au centre du réfrigérant dans une conduite métallique rigide.

- de - 2,50 à + 60 m, le béton est ensuite distribué directement dans les coffrages par un mât de bétonnage monté sur grue à tour associée à une poutre tournante.

- de 60 à 178,5 m, le béton remonte le long du fût de la grue, traverse le pivot de celle-ci et débouche sous la cabine du grutier. Repris à la benne, il est ensuite distribué dans les coffrages par simple translation radiale de la benne.

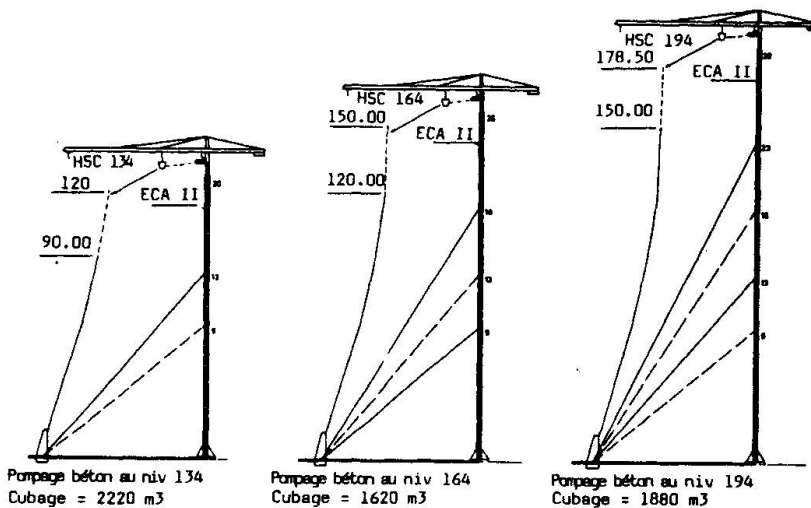


Fig. 3 : Mise en œuvre

Un automatisme (breveté) permet la synchronisation de la pompe et de la grue ainsi que l'optimisation du remplissage de la benne en fonction de la portée à atteindre.

### 2.3.2. Implantation de la coque

Le respect de la géométrie théorique de la coque est essentiel pour son fonctionnement mécanique. Il faut pour cela un coffrage rigide et une technique d'implantation de grande précision. L'équipe de topographes exécute elle-même le réglage du coffrage. Elle doit donner chaque jour 144 points avant bétonnage, puis procéder aux nombreuses vérifications des résultats obtenus sur les levées précédentes. Elle est équipée d'un théodolite électronique et d'un distancemètre couplés à un ordinateur permettant de travailler en temps réel. Alors que la tolérance sur le rayon varie de 5 à 15 cm, 96% des points contrôlés se situent dans la fourchette - 2 cm à 3 cm.

Chantier de haute technologie, la construction d'un réfrigérant atmosphérique est l'occasion de développer et de mettre au point les nouvelles techniques de conception et de réalisation qui tendront à se généraliser dans l'avenir. L'importante instrumentation mise en place sur ces ouvrages permettra d'affiner la connaissance du comportement de ces structures. L'utilisation systématique d'outils performants conjuguée à la mise en place d'un plan d'assurance qualité assure au(x) maître(s) d'ouvrage un haut niveau de qualité, et répond en cela à une attente croissante.