

EDF-CONF--804403092

LECTRICITE DE FRANCE

DIRECTION DES ETUDES ET RECHERCHES

Service Applications de l'Electricité
à l'Environnement

DEPARTEMENT
CALCULATIF NATIONAL D'HYDRAULIQUE

à l'inst. Walter
1100 CHATOU
T. 877-02-44

FR 81 00 821

804403092

L. PERNECKER - J.P. BENQUE

UNE TENTATIVE DE CALCULS TRIDIMENSIONNELS
DE L'ECOULEMENT AUTOUR D'UNE TOUR DE REFRIGERATION (communication présentée aux XVIèmes
Journées de l'Hydraulique du 16 au 18/9/1980)
Paris.

HE041/80.02

Résumé

Cette communication présente une comparaison entre des résultats de calculs tridimensionnels et des mesures en laboratoire dans le champ proche d'un réfrigérant. Ces confrontations montrent des champs de vitesse et de température comparables à ceux de l'expérience.

L'approximation schématique de la géométrie complexe du réfrigérant fournit un champ de pression différent dans l'intensité.

Résumé :

Cette communication présente une comparaison entre des résultats de calculs tridimensionnels et des mesures en laboratoire dans le champ proche d'un réfrigérant. Ces confrontations montrent des champs de vitesse et de température comparables à ceux de l'expérience.

L'approximation schématique de la géométrie complexe du réfrigérant fournit un champ de pression différent dans l'intensité.

Abstract :

This paper shows a comparison between 3D computation and some results of scale models experiments in the near field of a cooling tower. We compare the velocity and temperature fields and we found a rather good agreement with the measurements.

The rough description of the shell in the computation gives rise to a pressure field which has not the same intensity as the measured field.

1 - INTRODUCTION

L'étude de la conception d'un réfrigérant conduit à examiner trois types de problèmes distincts.

- L'impact sur l'environnement, c'est-à-dire le comportement du panache soumis au vent.
- Le fonctionnement du réfrigérant placé dans différentes conditions de vent, largement influencé par l'écoulement extérieur et intérieur.
- La tenue de la structure qui nécessite au préalable la détermination du champ de pression (intérieur et extérieur).

Tous ces problèmes ont déjà fait l'objet de nombreuses études, soit expérimentales quand il s'agissait de déterminer l'écoulement dans le voisinage immédiat de l'obstacle, soit à l'aide de calculs numériques pour le champ plus lointain (panaches).

Afin de poursuivre l'étude de ces problèmes, on se propose d'appliquer le code de résolution des équations tridimensionnelles de Navier-Stokes pour déterminer l'écoulement au voisinage immédiat du réfrigérant.

Le code résout les équations complètes (sans approximations particulières) couplées à une équation portant sur le champ thermique.

La connaissance de l'écoulement autour de l'obstacle et de la pression sur la coque

apporte une information très importante pour la conception du réfrigérant, tant sur le plan de la forme que sur celui du fonctionnement ou de l'impact sur l'environnement.

II - LA CONFRONTATION DES RESULTATS DES CALCULS AVEC DES MESURES

Le but des calculs est la comparaison des résultats numériques avec des mesures en laboratoire sur des modèles hydrauliques aérodynamiques. Différentes étapes caractérisent cette étude. Le premier objectif est la comparaison du champ des vitesses mesurées avec celui obtenu par un calcul isotherme. La détermination du champ thermique constitue l'étape suivante qui conduit à la comparaison des panaches mesurées et calculées. Le troisième objectif est le calcul du champ de pression sur la coque du réfrigérant.

Les cas étudiés

Cas 1

La géométrie de la tour est "représentée" par un cube rectangulaire. Les données du calcul sont les suivantes :

$H_0 = 0,09$ m	$R_0 = 4,10^4$
$D_0 = 0,055$ m	$P_0 = 70$
$W_0 = 0,72$ m/s	$\rho_0 = 1,7$
$U_0 = 0,43$ m/s	$H_0/D_0 = 1,65$

On a utilisé un maillage à pas variable afin de placer plus de points au voisinage immédiat de l'obstacle. Ceci permet d'obtenir une résolution plus précise du champ de vitesse près de la tour. Sur la figure 1, on trouve quelques plans de vitesse. On constate une recirculation dans le sillage de la tour. Sur la coupe verticale DD apparaît une circulation dite "en fer à cheval". La comparaison avec des mesures en laboratoire [1] se trouve sur la figure 2 : les profils mesurés et calculés sont en assez bon accord dans le jet du réfrigérant. Dans le sillage près du sol, les mesures diffèrent sensiblement des résultats du calcul ; cela résulte sans doute de l'absence de simulation des échanges turbulents.

Cas 2

On introduit maintenant les effets thermiques. Un calcul à partir des données suivantes a été effectué :

$H_0 = 0,13$ m	$R_0 = 2,10^4$
$D_0 = 0,07$ m	$F_0 = 0,8$
$W_0 = 0,285$ m/s	$K_0 = 1$
$U_0 = 0,285$ m/s	$H_0/D_0 = 1,85$

La comparaison des valeurs calculées et mesurées se trouve sur la figure 3. On remarque que sans simulation du transport turbulent dans l'équation de la chaleur, le panache se disperse peu. L'introduction d'un coefficient de diffusivité thermique turbulent K_T fournit des iso-

thermes calculés, qui sont en assez bon accord avec les mesures [1]. Ce coefficient de diffusivité thermique est de la forme : $K_T = a \cdot W_0 W_0$. Le coefficient a correspond à l'expression proposée par Violler dans une étude précédente [1] et qui est présentée sur la figure ci-après.

La différence essentielle entre mesures et résultats de calcul, que l'on peut remarquer figure 3 provient vraisemblablement du fait que le domaine de calcul n'a pas été choisi assez grand, ce qui semble affecter le jet dans son extension.

Cas 3

Pour comparer le champ de pression calculé avec les mesures, nous n'avons plus schématisé la tour par un cube rectangulaire. La section circulaire est approximée par une ligne "en escalier". Ainsi la géométrie du réfrigérant est mieux définie. Le maillage à pas variable est composé de 27 216 ($36 \times 36 \times 21$) points.

Les caractéristiques du calcul isotherme et sans rejet sont les suivantes :

$H_0 = 0,45$ m	$R_0 = 4,5 \cdot 10^5$
$D_0 = 0,22$ m	$H_0/D_0 = 2$
$U_0 = 30$ m/s	

La figure 4 présente quelques plans de vitesses. Le plan vertical I (a-a) passe par l'axe de la tour. Les plans verticaux et horizontaux font apparaître une recirculation derrière la tour et la formation des tourbillons qui se situent aux quatre extrémités de l'obstacle. On n'a pas ici représenté le jet issu du réfrigérant, ce qui explique les différences sensibles avec le champ précédemment obtenu. La figure 5 présente les courbes de pression dans des plans horizontaux. Le point d'arrêt apparaît nettement. Derrière le réfrigérant, la pression croît de nouveau. On définit la répartition de la pression par le paramètre adimensionnel C_p , rapport entre la pression $p - p_0$ et la pression

$$d'arrêt \frac{1}{2} \rho U_0^2.$$

La répartition circumférentielle du coefficient C_p déterminé à la hauteur $h/H = 0,8$ est présentée sur la figure 6(a) ainsi que le résultat de mesures en soufflerie [2].

Il apparaît une divergence. Celle-ci peut s'expliquer par les raisons suivantes :

- l'ignorance du profil des vitesses amont in situ,
- la schématisation de la géométrie de la tour. La représentation par une ligne brisée de la section correspond à une rugosité élevée de la surface et peut provoquer un lissage de la courbe de pression.
- le fait que nous ne tenons pas compte des échanges turbulents.

Le code de calcul est transitoire et en conséquence, nous connaissons la variation de pression en fonction du temps. On n'obtient pas en effet de solution indépendante du temps même avec des conditions de vitesse d'entrée parfaitement stationnaires. La figure 6(b) présente l'évolution en temps du coefficient C_p en différents points de la circonférence étudiée. On constate une demi-période d'une durée de 0,05 s ce qui correspond à un nombre de Strouhal de 0,07.

Pour une valeur du nombre de Reynolds de $\sim 5.10^7$, les mesures in situ, effectuées par Kuschevych [3], montrent un nombre de Strouhal de 0,08. Par contre, Sageau [4] met en évidence un pic assez large, centré sur une fréquence dimensionnelle de l'ordre de 0,18.

Les calculs doivent être poursuivis pour améliorer les résultats, spécialement en ce qui concerne le champ de pression. C'est en effet dans ce cas qu'il semble y avoir les divergences les plus importantes. Celles-ci peuvent s'expliquer par l'absence de la simulation de la turbulence et par un nombre de points sur l'obstacle trop faible.

III - CONCLUSION

Le code tridimensionnel fournit les champs de vitesse, de pression et de température autour d'une tour de réfrigération. La comparaison des résultats mesurés et calculés montre des profils de vitesse et des panaches semblables. Il semble nécessaire d'améliorer la représentation de la géométrie de la tour ainsi que d'introduire une simulation adéquate des échanges turbulents. La répartition du coefficient de pression C_p a une allure semblable à celle des mesures mais une différence apparaît pour les C_{pmin} . Une oscillation dans leillage est mise en évidence autour d'un nombre de Strouhal de l'ordre de 0,07, ce qui est faible par rapport aux mesures effectuées par Sageau [4].

La détermination des vitesses et des pressions en couplant l'intérieur du réfrigérant est une étape intéressante qui fournira des informations précieuses pour le fonctionnement. Ce calcul est en cours de mise en oeuvre.

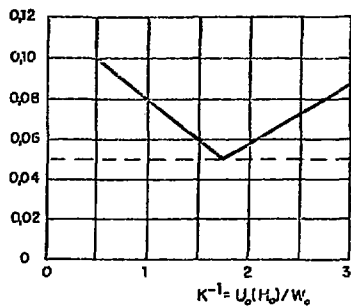
NOTATIONS

- Do - diamètre de la tour
- Wo - Vitesse verticale du rejet
- Uo - Vitesse du courant traversier
- $R_o = WoDo/\nu$ - Nombre de Reynolds
- g - accélération de la pesanteur
- ρ - Masse volumique
- $C_p = (p - p_0)/0.5 \rho U_0^2$ rapport entre la pression $p - p_0$ et la pression $\rho U_0^2/2$
- Ho - Hauteur de la tour
- To - température du rejet
- Ko - Wo/U_0 (H)
- Fr = $Wo/\beta DoTo$ $^{1/2}$ - Nombre de Froude
- β - Coefficient d'expansion thermique
- ν - viscosité cinématique

BIBLIOGRAPHIE

- [1] VIOLLET Pierre Louis
Etude de jets dans des courants traversiers et dans des milieux stratifiés - Thèse de docteur-ingénieur, Université Paris 6ème.
- [2] FARELL César, GUIEM Oktay, MARSON Federico
Mean wind loading on rough-walled cooling towers (P. 1068).
Journal of the engineering mechanics Division. Dec. 1976.
- [3] RUSCHEWEYH H.
Wind loadings on hyperbolic natural draught cooling towers.
Journal of Industrial Aerodynamics 1 (1975/76), pages 335-340.
- [4] SAGEAU J.F.
Etude expérimentale du champ de pression à la surface des aérofrigorifères.
Symposium International sur les réfrigérants de grande hauteur en béton armé (Nov. 1978).

$$\alpha = K_1 / W_0 \Omega$$



Diffusivité turbulente pour $0,4 \leq F_0 \leq 0,8$

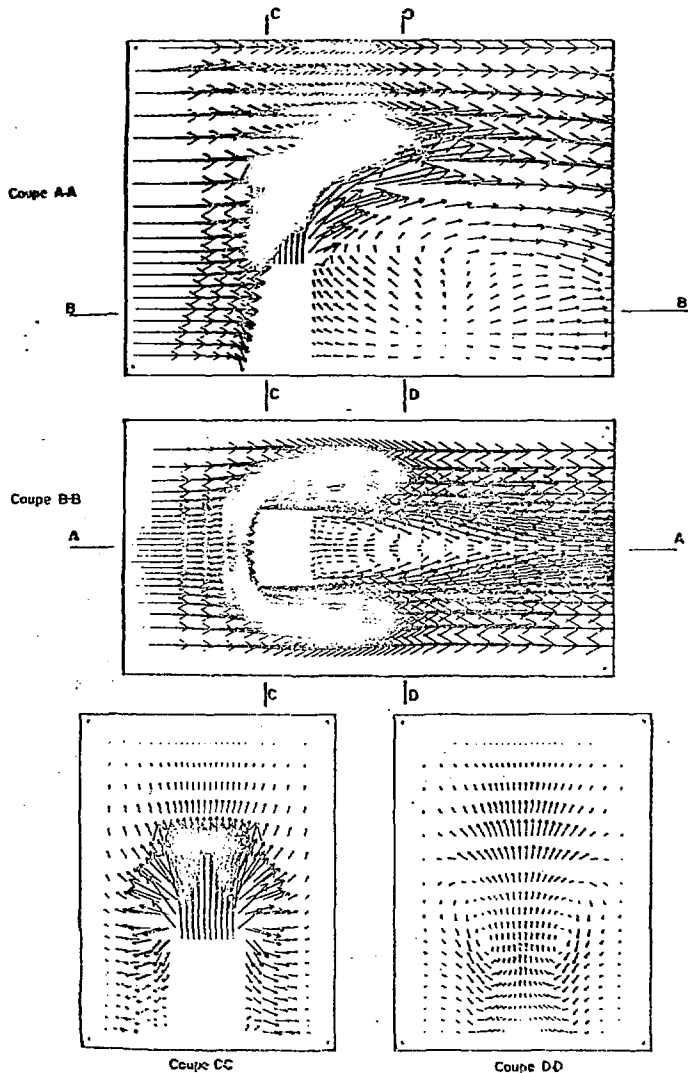


Fig.1- CHAMP DE COURANT AUTOUR D'UN RÉFRIGÉRANT

$$R_e = 40\,000 \quad F_0 = 70 \quad K = 1,7 \quad H_e / D_0 = 1,65$$

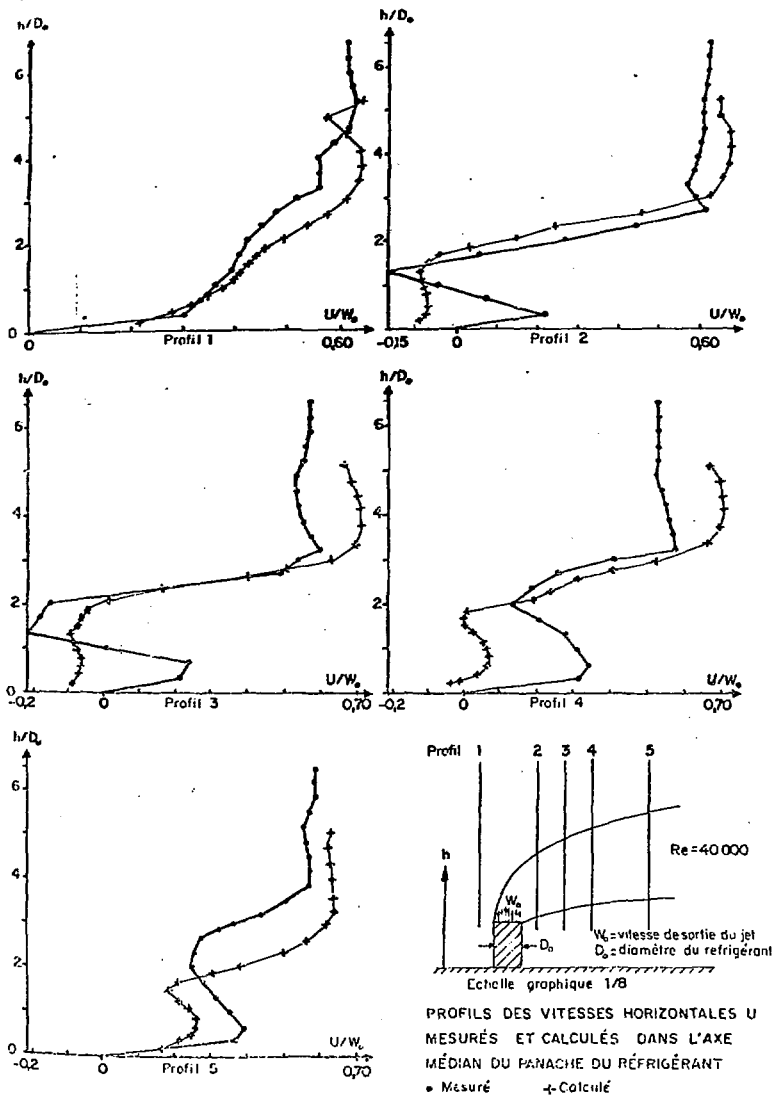
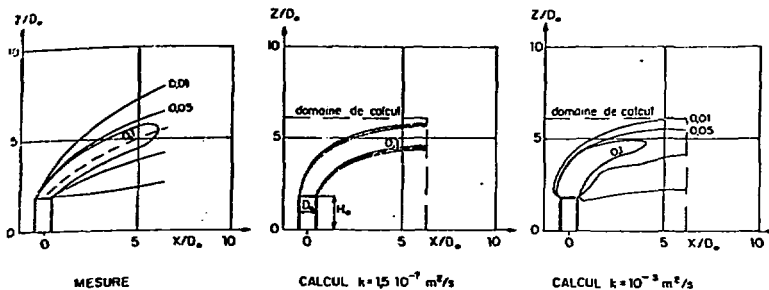
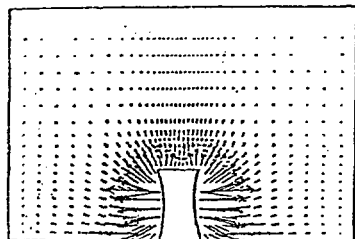


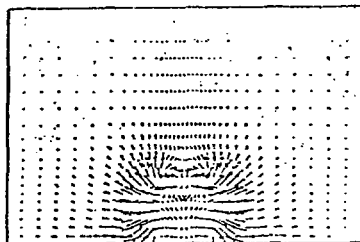
Fig. 2-



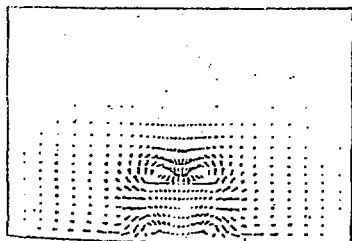
MESURE CALCUL $k = 15 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ CALCUL $k = 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
 Fig.3- Comparaisons mesure-calcul axe du jet et isoconcentrations mesurées
 $F_0 = 0,8$ $\alpha = 0,25$ $H_0/D_0 = 1,85$



Plan vertical 1



Plan vertical 2



Plan vertical 3

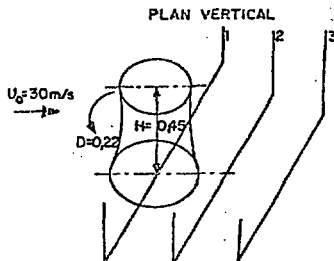


Fig.4- Champs de vitesses autour d'une tour de réfrigération

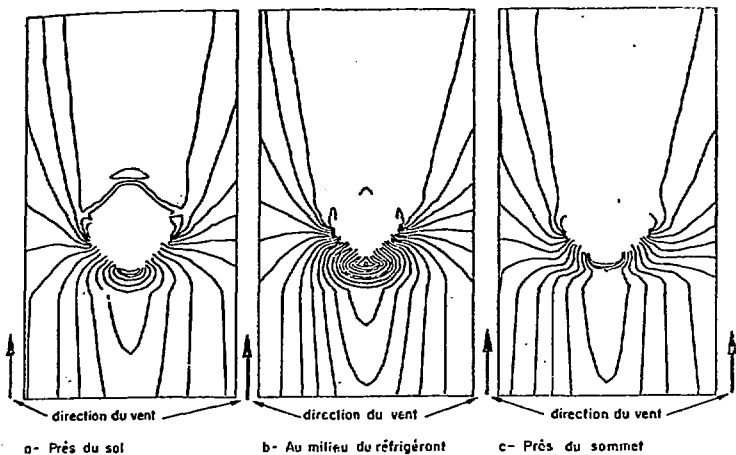
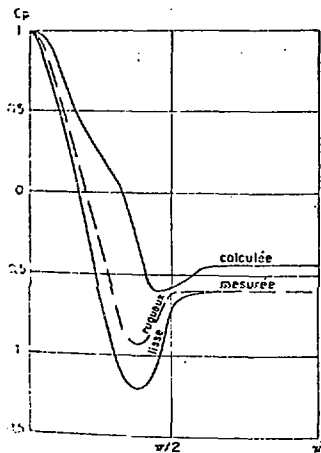
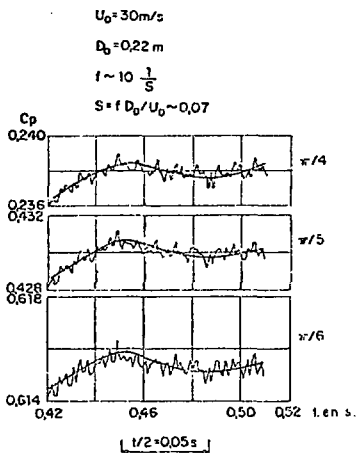


Fig. 5- CHAMPS DES PRESSIONS DANS DES PLANS HORIZONTAUX

Fig. 6a- Répartition de la pression
autour d'une tour de réfrigérationFig. 6b- Variation de la pression
en fonction du temps