

EUROPEAN LABORATORY FOR PARTICLE PHYSICS
LABORATOIRE EUROPEEN POUR LA PHYSIQUE DES PARTICULES

CERN-ST-99-026
February, 1999

TESTS DE RECEPTION DES TOURS DE REFRIGERATION

B. Pirollet

Résumé

Dans le cadre du projet LHC, les premiers équipements de refroidissement installés, seront des tours de réfrigération de grande puissance. Contrairement à d'autres matériels construits en grande série, ces équipements, tours et stations de pompage associées sont à créer sur mesure. Différentes normalisations permettent de concevoir, de construire et de tester ces réalisations. L'ensemble des tests de réception ne peut avoir lieu avant l'achèvement complet de l'installation, de plus, ces essais sont rarement réalisés à charge nominale. Des défaillances potentielles, liées aux études ou à la réalisation, peuvent apparaître après la période de garantie. Le but de ce document est de présenter les différentes méthodes imposées par le CERN au niveau des cahiers des charges. Cela permettra la vérification des valeurs garanties par les constructeurs et de suivre l'évolution des critères de performances à long terme.

Presented at the 2nd ST Workshop
Chamonix, France, February 2 - 5, 1999

1 INTRODUCTION

Lorsque le LHC sera en fonctionnement, les deux grandes expériences, ATLAS et CMS, dissiperont chacune, une puissance thermique de l'ordre de 15 MW. L'eau sera utilisée comme fluide caloporteur. Sur chaque site expérimental, des stations de pompage permettront la distribution de cette eau aux différents utilisateurs : halls souterrains, bâtiments de surface, etc. La charge thermique sera alors évacuée dans l'atmosphère par des tours de réfrigération. Ces ensembles, tours et stations de pompage associées, devront être d'une grande fiabilité et devront satisfaire à différents tests de performance.

2 TOURS DE REFRIGERATION

2.1 Description

Un aéroréfrigérant permet le transfert, dans l'atmosphère, d'une quantité de chaleur contenue dans le circuit d'eau de refroidissement. De nombreux types d'appareils permettent cet échange. Les choix sont, soit quantitatifs, par exemple selon la puissance thermique à dissiper, soit qualitatifs, ils dépendent alors d'un degré de fiabilité demandé, d'une fréquence de maintenance ou d'un niveau sonore maximal admissible.

Dans le cas des équipements liés aux expériences LHC, les critères choisis peuvent être regroupés de la façon suivante :

- Critères thermodynamiques :
la puissance thermique globale par point,
la modularité des équipements,
les contraintes climatiques locales,
les températures d'approche.
- Critères fonctionnels :
la fiabilité,
la maintenabilité,
le niveau acoustique en limite de propriété.

2.2 Analyse des choix

L'ensemble de ces critères nous impose d'analyser plus spécifiquement deux grandes familles d'aéroréfrigérants : Les tours à contre courant induit et celles à courants croisés.

2.2.1 Les tours à contre courant induit

L'eau à refroidir est pulvérisée en fine gouttelettes depuis le haut de la tour. L'échange thermique est réalisé en faisant transiter l'air ambiant au travers de cette pluie, de bas en haut, (selon la Fig. 1). Un ventilateur permet de forcer le passage de l'air.

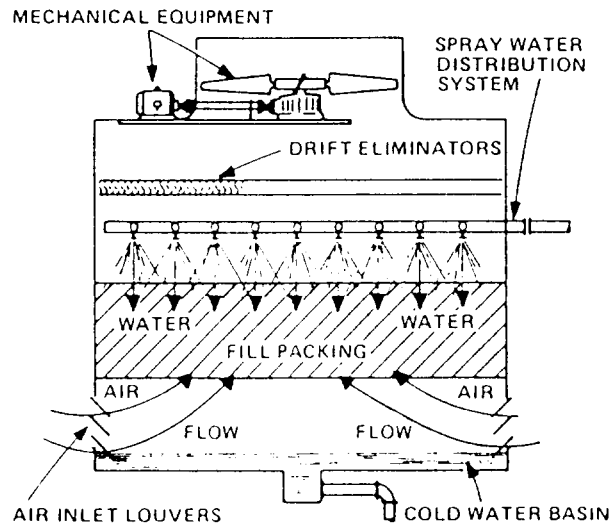


Figure. 1 : Tours à contre courant induit.

2.2.2 Les tours à courants croisés

Dans ce cas, l'eau à refroidir ruisselle depuis le haut de la tour sur des batteries généralement placées en V. L'échange thermique se fait par le passage forcé de l'air au travers de ces batteries, (selon la Fig. 2).

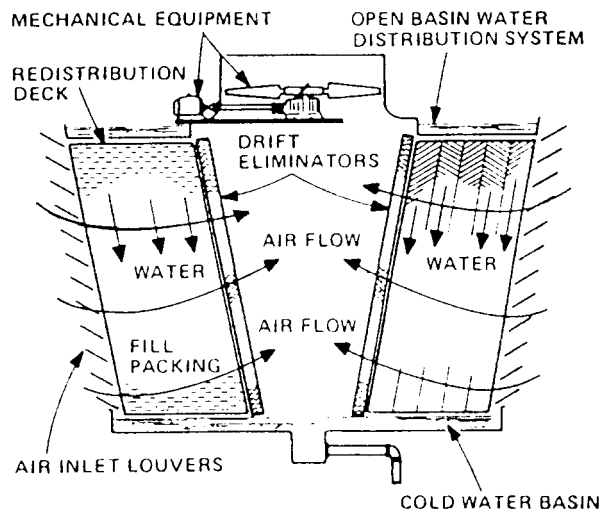


Figure. 2 :Tours à courants croisés.

2.3.3 Comparatif

Le Tableau 1 ci-après dresse la liste des avantages et des inconvénients des deux systèmes.

Tableau 1

Comparatif entre tours du type à courant contre induit et à courants croisés

Critères	Courant induit	Courants croisés
Aspiration d'air	en bas	de côté
Refoulement de l'air	en haut	en haut
Type de ventilateur	axial	axial
Structure	en béton	acier ou béton
Niveau sonore	faible	élevé
Possibilité de mise en place de silencieux	oui	difficile
Nettoyage	oui	difficile

2.3.4 Contraintes d'implantation

Fonctionnant de façon continue tout au long d'une année, les aéroréfrigérants sont des équipements industriels relativement bruyants. Dans le cadre du LHC, leur implantation à proximité d'habitations implique le respect d'un niveau sonore minimum. A la vue des résultats comparatifs, et plus particulièrement, en fonction des possibilités d'atténuation acoustique et des coûts de maintenance, le type de tours à contre courant induit a été retenu .

3 STATIONS DE POMPAGE

3.1 Description

Afin d'assurer la distribution de l'eau aux tours de réfrigération, des stations de pompage sont installées à proximité de celles-ci. Ces stations sont équipées de pompes, de filtres, d'armoires électriques et de tous les organes nécessaires à la régulation et au contrôle des divers composants. Une gestion centralisée par automates programmables et un système de supervision permettent l'acquisition, la visualisation ainsi que l'analyse des paramètres d'exploitation et de maintenance.

3.2 Objectifs de sûreté de fonctionnement

L'ensemble tours et stations de pompage associées devra assurer le refroidissement de l'eau de façon permanente et avec fiabilité.

En fonction des impératifs des différents utilisateurs, les objectifs suivants ont été pris en compte dans l'analyse globale de sûreté de fonctionnement des stations :

- Fiabilité : MTBF (Mean Time Between Failure) > 10 000 h
- Maintenabilité : MTTR (Mean Time To Repair) ≤ 2 h
- Disponibilité : D ≥ 99,98 %

3.3 Méthode AMDEC (Analyse des Modes de défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité)

L'AMDEC a développé une méthode d'analyse des risques dans les installations. Cette analyse permet de classer tous les éléments de l'installation selon leur niveau de criticité. En fonction de ce classement, des modifications éventuelles sont apportées au projet dès la conception. Le but étant d'atteindre les objectifs de sûreté de fonctionnement prévus dès la mise en service. La méthode est ensuite étendue au suivi des installations à long terme. Pour cela, des indicateurs de qualité peuvent informer l'utilisateur des divergences ou du respect des performances spécifiées.

4 TESTS DE RECEPTION

En cours de construction, de nombreux contrôles permettront de visualiser toute divergence par rapport aux lignes générales du cahier des charges. Cependant, ce n'est qu'après la réalisation définitive qu'auront lieu les tests de performances thermique et fonctionnel.

4.1 Tests de performance thermique

La charge thermique maximale n'est généralement jamais atteinte lorsque les tests ont lieu. Dans le cas présent, les valeurs garanties, par le constructeur (selon la Fig. 3), à pleine charge, devront être corroborées aux valeurs mesurées à charge partielle, lors de tests de performance *in situ* (selon le Tableau 2).

Tableau 2

Valeurs mesurées lors des tests de performance

Valeurs		Unités	
Températures d'eau	entrée tours	°C	θ_{e1}
	sortie tours	°C	θ_{e2}
Températures d'air	température sèche	°C	θ_a
	température humide	°C	θ_h
Débits d'eau	en circulation	kg/s	q_e
	d'appoint	kg/s	$q_{e'}$
Débits d'air	en circulation	kg/s	q_a
Intensité absorbée	ventilateurs	A	I

4.1.1 Déroulement des tests

Les mesures seront réalisées selon la norme DIN 1947. Tous les capteurs seront étalonnés avant les tests. Les essais se feront, à débits constants, selon les valeurs imposées au niveau du cahier des charges. Les instruments de mesure seront reliés à un centralisateur de mesure. L'enregistrement permettra d'apprécier la stabilité des conditions atmosphériques. Au cours des essais pour un point de fonctionnement donné, toutes les grandeurs seront

enregistrées simultanément. L'essai ne sera considéré comme valable que si toutes les valeurs seront restées stables pendant la période considérée.

4.1.2 Valeurs mesurées

Les principales grandeurs physiques à mesurer seront les suivantes;

4.1.3 Courbes caractéristiques

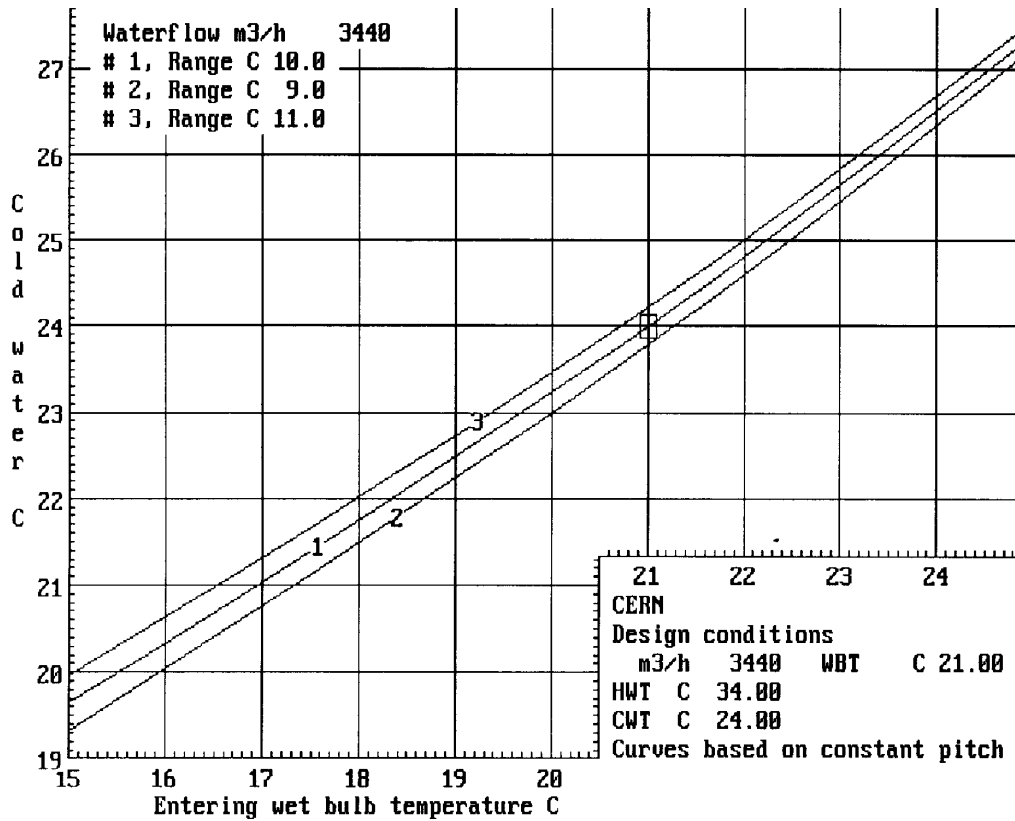


Figure 3 : Courbes de performances.

4.1.4 Analyse des résultats

Une première analyse fera apparaître la valeur de la température de 'l'approche'. C'est à dire l'écart entre la température de l'eau à la sortie du bassin (θ_{e2}) et la température humide de l'air (θ_h).

Un second calcul établira le bilan thermique global de la tour. Ce bilan comparera la puissance thermique cédée par l'eau et celle reçue par l'air :

$$\text{Puissance thermique cédée par l'eau : } dP_e = c_{pe} \cdot q_e d\theta_e$$

$$\text{Puissance thermique reçue par l'air : } dP_a = q_{as} \cdot dh_a$$

q_{as} = débit masse d'air sec

h_a = enthalpie massique de l'air exprimée en kJ/ kg d'air sec.

Il sera alors possible de déterminer la puissance thermique aux conditions de tests et d'extrapoler les résultats pour les conditions nominales fixées.

4.2 Tests de performance fonctionnelle

Afin de permettre le suivi complet de l'installation, des indicateurs de qualité seront mis en place au sein de la gestion technique centralisée. Ce suivi sera assuré pendant une période de deux ans par le constructeur qui apportera, aux installations, les corrections nécessaires à l'atteinte des objectifs fixés en matière de fiabilité, d'MTBF et de maintenabilité.

5 CONCLUSION

Les systèmes de refroidissement seront indispensables au fonctionnement des expériences ATLAS et CMS du LHC. L'introduction, au sein d'un cahier des charges, d'une notion de tests des performances thermique et fonctionnelle est l'assurance d'obtenir des installations optimisées et fiables dès leurs mise en service.

Bibliographie

- [1] Cooling towers technology – Robert Burger.
- [2] Performance tests on cooling towers. VDI Rules for cooling towers – DIN 1947.
- [3] Influence météorologique sur l'environnement de l'exploitation des tours de réfrigération atmosphérique. – Electricité de France.
- [4] AMDEC Produit Norme PSA N° Q 242120.
- [5] L'AMDEC Conférence ASPQ 13/09/94 – M. Pillet.