

# LHC: REFROIDISSEMENT A EAU, CRITERES DE CHOIX DES COMPOSANTS

*B. Pirollet*

Division ST - Groupe Refroidissement et Ventilation (ST-CV)  
CERN, Genève, Suisse

## Résumé

De nombreux équipements de la machine LEP seront réutilisés dans les installations de refroidissement par eau, liées au fonctionnement du LHC. Ce sera notamment le cas des compresseurs frigorifiques équipant les centrales de production d'eau glacée. Dix ans après la mise en service de ces équipements, un bilan technique et financier a été dressé. Durant cette période, le monde du froid a connu de grandes évolutions comme, par exemple, la mise en place de nouvelles législations dans l'utilisation des fluides frigorigènes. Ces réglementations ont contraint l'industrie chimique et, plus particulièrement, les constructeurs de matériel frigorifique à développer de nouvelles générations de réfrigérants, d'échangeurs et de compresseurs. Au vu du bilan d'exploitation du LEP et face aux nouvelles technologies, le CERN a défini les critères de choix à prendre en compte lors de la conception de centrales frigorifiques de grandes puissances, centrales indispensables au fonctionnement des accélérateurs de demain.

## 1. INTRODUCTION

Les besoins en refroidissement de la machine LHC sont générés par :

- les lignes de transfert,
- les convertisseurs de puissance,
- les équipements RF,
- les équipements cryogéniques,
- les éléments des détecteurs et composants annexes,
- le traitement d'air.

Le total de la puissance thermique à dissiper atteint 144 MW.

Ces équipements, localisés aussi bien en surface qu'en souterrain, devront être refroidis en utilisant au maximum les infrastructures existantes de la machine LEP, comme par exemple:

- les tours de réfrigération,
- les centrales de production d'eau glacée,
- les réseaux de distribution acheminant les fluides vers les bâtiments de surface ou les zones souterraines.

Le but de ce document n'est pas de dresser un bilan des infrastructures LEP à conserver ou à adapter aux exigences LHC. Au travers de l'analyse d'un système de refroidissement particulier, en l'occurrence l'eau glacée, le but est de viser à définir les critères de choix à prendre en compte dans la sélection des composants à réutiliser ou à acheter.

## 2. ANALYSE DU SYSTEME DE PRODUCTION D'EAU GLACEE

### 2.1 Historique

Le LEP est équipé de quatre grandes centrales de production d'eau glacée mises en service en 1989. Elles comprennent des groupes frigorifiques de type refroidisseurs de liquide, des pompes de distribution adaptées aux différents utilisateurs. Ces centrales sont entièrement automatisées.

### 2.2 Puissance frigorifique

La puissance ainsi que le nombre de groupes frigorifiques nécessaires au fonctionnement du LEP sont définis dans le Tableau 1. Le fonctionnement du LHC implique l'adjonction de deux nouvelles centrales selon le Tableau 2.

Tableau 1  
LEP Puissance frigorifique

Points	Po MW	NB unités
2	5.3	3
4	3.25	2
6	4.9	3
8	3.2	2

<sup>a)</sup> BP/ST-CV

Tableau 2  
LHC Puissance frigorifique

Points	Po MW	NB unités
1	9	4
2	4.9	3
4	3.25	2
5	7	4
6	3.9	3
8	3.5	2

BP/ ST-CV

### 2.3 Charges thermiques

La détermination de la puissance d'une machine frigorifique ne peut être faite qu'en analysant l'évolution des charges thermiques, journalière et annuelle de chaque utilisateur.

Les distributions d'eau glacée LHC sont regroupées selon deux types :

- Celles qui alimentent les systèmes de traitement d'air (procédés de déshumidification et de refroidissement). Dans ce cas la charge thermique sera variable en fonction des besoins et des conditions météorologiques.
- Les alimentations nécessaires aux refroidissements des composants internes des expériences de physique tels que racks , éléments de détecteurs, etc. Dans ce second cas la charge thermique sera assimilée à une charge fixe.

Bien que les conditions météorologiques ne soient pas rigoureusement identiques sur l'ensemble des points du LEP nous avons considéré l'évolution de la puissance frigorifique des centrales LHC comme suit :

Tableau 3  
Evolution des charges annuelles du LHC

Charge * %	Nombre d'heures
100	300
80	1200
60	1700
40	3000
20	1800
0	700

\* en % des puissances frigorifiques définies dans le Tableau 2

## 2.4 Groupes frigorifiques

Ce sont des unités compactes utilisant les caractéristiques physiques d'un fluide en circuit fermé, permettant un transfert de chaleur, par changement de phase, d'une source chaude, évaporateur, vers une source froide, condenseur.

Le cycle thermodynamique apparaît sur le diagramme (Fig. 1).

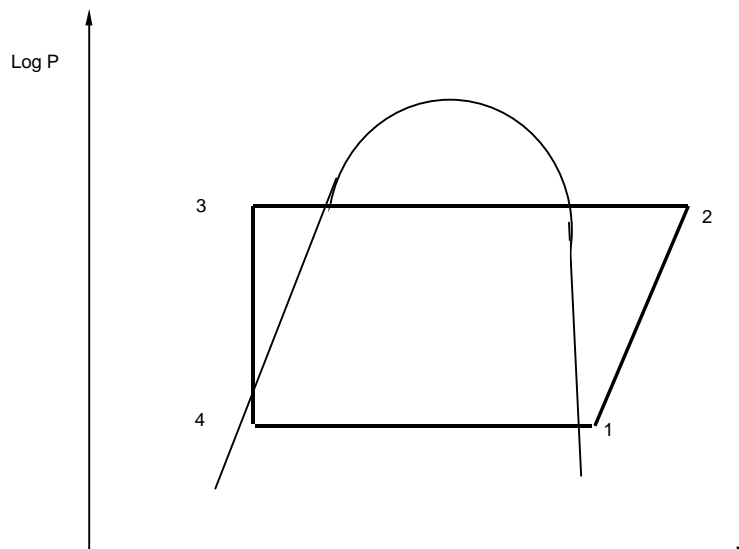


Fig. 1 Cycle théorique machine frigorifique fermée

Pour un débit masse ( $m$ ) de fluide véhiculé, les puissances échangées peuvent être calculées selon les différences d'enthalpies suivantes :

- l'équivalent frigorifique à l'évaporateur h1 - h4
- la chaleur à évacuer au condenseur h3 - h2
- le travail de compression h2 - h1
- le rendement du cycle peut être défini comme étant l'expression suivante :

$$Po / P \text{ abs} = \text{Puissance frigorifique} / \text{Travail de compression} \quad [1]$$

### 3. CRITERES DE SELECTION

#### 3.1 COP (Coefficient Of Performance)

Dans le cas de machines frigorifiques réversibles sans perte, l'expression [1] peut s'écrire, selon CARNOT :

$$\text{COP} = T_o / T_k - T_o \quad [2]$$

Le premier critère de sélection des composants sera la valeur des températures de fonctionnement assurant au niveau de chaque groupe un coefficient de performance le plus élevé possible.

#### 3.2 Les fluides

En réfrigération industrielle, l'identification et le choix des fluides frigorigènes se fonde sur trois critères :

- technique (pression, propriétés thermodynamiques, sécurité),
- économique (volume, coûts d'investissement et d'exploitation),
- écologique.

Ces choix qui pouvaient paraître autrefois comme évidents, sont désormais tributaires de textes internationaux réglementant l'utilisation de ces fluides.

Les frigorigènes les plus couramment utilisés en réfrigération industrielle étaient :

- les fluides organiques purs CFC (ChloroFluoroCarbones), tel que le  $\text{CF}_2\text{CL}_2$  ou R12,
- les fluides inorganiques comme l'ammoniac,  $\text{NH}_3$ ,
- les mélanges azéotropes, R 500 - R502.

En remplacement des CFC, des fluides de substitution ont dû être trouvés. Le Tableau 4 donne les caractéristiques des fluides utilisés au CERN et de leurs substituts. L'action de ces nouveaux composés chimiques sur l'ozone et sur l'effet de serre est très faible, voir nulle.

Tableau 4  
Fluides Caractéristiques Essentielles

Fluide	Température d'ébullition ( C)	Formule
CFC 11	23.8	$\text{CCl}_3\text{F}$
HFC 123	27.9	$\text{CF}_3\text{CHCl}_2$
CFC 11	- 29.8	$\text{CCl}_2\text{F}_2$
HFC 134a	-26.5	$\text{CH}_2\text{FCF}_3$
HCFC 22	-40.8	$\text{CHClF}_2$

#### 3.3 Autres composants

Les changements radicaux intervenus au niveau de l'utilisation des fluides ont eut pour effet d'accélérer le développement de nouveaux composants frigorifiques. Ce fut le cas notamment en ce qui concerne la compatibilité des huiles avec les fluides de substitution. Au niveau des échanges thermiques, des modélisations ont été faites et de nouveaux types de compresseurs sont apparus. Les

---

<sup>1</sup>  $T_o$ ; Température d'évaporation -  $T_k$ ; Température de condensation (en degré Kelvin)

constructeurs ont progressivement abandonné les compresseurs à pistons au profit des compresseurs à vis, moins onéreux à l'achat comme en maintenance. Le but de ces changements étant d'augmenter les performances des machines frigorifiques tout en restant compétitif au niveau des prix de vente.

En même temps, le développement de l'informatique a permis de contrôler de façon plus rigoureuse le fonctionnement des centrales de production d'eau glacée. Les performances internes de chaque groupe frigorifique peuvent désormais être mesurées plus précisément et plus facilement selon des normes internationales. Le COP de chaque machine peut être garanti par le constructeur à pleine charge comme à charge partielle.

### 3.4 Bilan énergétique

Le prix du kWh au CERN est fonction des périodes d'utilisation. Sur la base des charges thermiques, définies au paragraphe 2.3 et compte tenu des performances garanties au niveau des machines frigorifiques, le coût annuel de fonctionnement des centrales de production d'eau glacée nécessaire au LHC a pu être calculé comme suit :

$$C = \sum [P_{abs} f(.ch) \times n \times P \text{ kW}]$$
$$= 900 \text{ KCHF}$$

- C : coût annuel de fonctionnement en CHF,
- P<sub>abs</sub> : puissance électrique absorbée en fonction de la charge thermique en kW,
- n : nombre d'heures,
- P kW : prix du kWh en CHF.

Pour comparaison le prix d'achat d'un groupe frigorifique de 2 MW ayant un COP de 5 est d'environ 180 KCHF.

## 4. CONCLUSION

L'achat ou le remplacement des composants d'un système ne peut être fait qu'après définition complète des critères de choix. Cette méthode est proposée pour l'ensemble des études liées au refroidissement par eau du LHC. Elle permettra de décider si le composant doit être réutilisé, ou d'optimiser le coût de son remplacement. En effet, elle associe à la notion de prix "au moins disant", utilisée au CERN, des valeurs de garantie de performances et de réduction des coûts d'exploitation.

## REFERENCES

- [1] Lucien Borel, Thermodynamique et énergétique, (Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1991).
- [2] Manuel Technique du froid, Le nouveau Pohlmann, (Pyc Edition).