

Traitement Chimique de l'Eau de Refroidissement d'une Centrale de Puissance

Abdallah BOUAM, Amel DADDA, Nacer MESSEN et Hassane GRAÏNE

Centre de Recherche Nucléaire de Birine CRNB BP 180 ; 17200 Ain-Oussera, Algérie
bouam05_ab@yahoo.fr

Abstract— Dans ce travail, un programme de calcul des besoins en eau de refroidissement d'une centrale thermique de puissance a été établi. L'installation, prise comme exemple, est une centrale de puissance allant jusqu'à 1200 MW_{el} dans un site tels que les hauts plateaux, a été étudiée.

Le programme destiné à l'analyse du circuit de refroidissement fermé, permet de déterminer les pertes par évaporation d'eau et de déconcentration. Le programme est basé sur les relations analytiques d'un bilan hydrologique appliqué dans une tour de refroidissement en utilisant la Norme : NF E 38-423.

Les calculs ont été réalisés dans des gammes de température ambiante, de l'humidité relative et de palier de puissance variable, en utilisant des données météorologiques moyennes de la région des hauts plateaux durant la période (1975-1984).

Le contrôle chimique des différents circuits de la centrale a été présenté, qui a pour principal objectif de limiter la corrosion des matériaux dans le but d'assurer la sûreté de l'installation, de permettre un fonctionnement durable sans avoir à procéder à des interventions coûteuses et de limiter la pollution atmosphérique.

Les résultats obtenus offrent de nombreux paramètres qui sont en bon accord avec ceux de la littérature et avec ceux du rapport de sûreté des installations thermiques.

Key-Words— Centrale de Puissance thermique, Système de refroidissement, Tour aéroréfrigérantes, Conditions ambiantes, Norme : NF E 38-423, contrôle chimique d'eau de refroidissement.

I. INTRODUCTION

UNE centrale est une usine qui produit de l'électricité. Il existe plusieurs types de ces centrales dans le monde : des centrales thermiques, des centrales hydrauliques et des centrales nucléaires. Ces installations produisent de la chaleur, séparer la vapeur pour faire tourner une turbine couplée à un alternateur qui produit de l'électricité. Ces installations ont surtout besoin d'eau afin d'évacuer la chaleur générée dans le cœur du réacteur (centrale nucléaire), ou dans le bruleur (centrale thermique à flamme). Cette eau, une fois réchauffée, est généralement rejetée à faible distance du point de prélèvement [1-3]. Pour cela, deux types de circuits de refroidissement sont utilisés : les circuits ouverts ou circuits fermés, avec tours aéroréfrigérantes «humides».

Le programme destiné à l'analyse du circuit de refroidissement fermé, permet de déterminer les pertes par évaporation d'eau, de déconcentration et d'appoint. Le programme est basé sur les relations analytiques d'un bilan hydrologique appliqué dans une tour de refroidissement en utilisant la Norme : NF E 38-423.

Les calculs ont été réalisés dans des gammes de température ambiante, de l'humidité relative et de palier de puissance variable. On utilise des données météorologiques moyennes de la région des hauts plateaux durant la période (1975-1984) [4].

Pour de faibles puissances, le programme de calcul a été validé par les données d'exploitation d'une installation thermique. Pour des puissances importantes, les résultats sont comparés à des données d'exploitation de centrales de puissances existantes dans la littérature.

Le contrôle chimique des différents circuits de la centrale a été présenté, qui a pour principal objectif de limiter la corrosion des matériaux dans le but d'assurer la sûreté de l'installation, de permettre un fonctionnement durable sans avoir à procéder à des interventions coûteuses et de limiter la pollution atmosphérique.

II. PRINCIPE DU REFROIDISSEMENT ÉVAPORATIF

Le refroidissement par évaporation est un phénomène physique dans lequel l'évaporation d'un liquide, typiquement dans l'air ambiant, se refroidit. La chaleur latente, la quantité de chaleur nécessaire pour évaporer le liquide est aspiré par l'air. Un refroidissement par évaporation fonctionne en employant l'enthalpie de vaporisation de l'eau.

La température de l'air sec peut être diminué de façon significative par la transition de phase de l'eau liquide à la vapeur d'eau (évaporation), qui peut refroidir l'air en utilisant beaucoup moins d'énergie que la réfrigération. Cette chaleur latente de vaporisation constitue la majeure partie de l'échange thermique, complété par des échanges par convection entre l'eau et l'air [5].

Une tour aéroréfrigérante utilise le principe de refroidissement évaporatif afin de refroidir un débit d'eau déterminé pour obtenir l'écart thermique souhaité entre la température de l'eau chaude entrant dans la tour et la température de l'eau refroidie par la tour. L'efficacité de l'échange de la tour de refroidissement est conditionnée par

la différence entre la température d'eau froide et celle du bulbe humide de l'air [6-7].

III. PREDICTION DES PERTES PAR EVAPORATION

La puissance thermique d'une tour de refroidissement, présentée sur la Fig. 1, est donnée par la formule suivante :

$$P = \dot{Q}_e \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

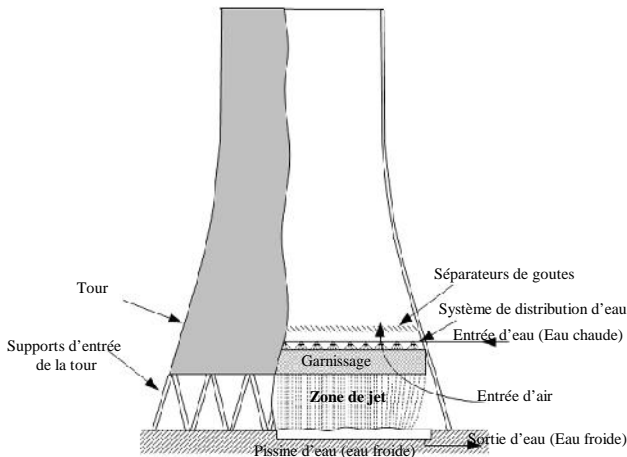


Fig. 1 : Schéma d'une tour de refroidissement.

Cette évacuation de la chaleur est déterminée par un bilan thermique appliqué à un volume de contrôle d'une tour aéroréfrigérante, schématisé dans la Fig. 2.

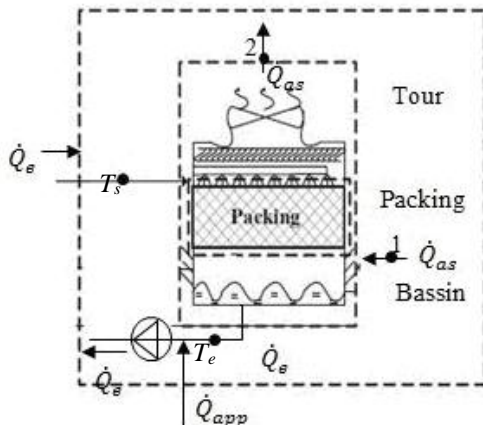


Fig. 2 : Volume de contrôle d'une TAR. (Application du bilan thermique).

La puissance dissipée par convection et par évaporation s'exprime par :

$$\dot{Q}_e c_{pe} (T_s - T_e) = \underbrace{\dot{Q}_e c_{a,h1} (T_{a2} - T_{a1})}_{\dot{Q}_{Cond}} + \underbrace{\dot{Q}_{Evap} (h_{lv} + c_{pv} T_{a2} - c_{pe} T_e)}_{\dot{Q}_{Evap}} \quad (2)$$

Le bilan thermique pour un réfrigérant humide, en supposant que l'air est saturé en vapeur d'eau à la sortie de la zone d'échange, nous donne une approximation de la puissance P qu'il évacue vers l'atmosphère. Cette puissance dépend de la température d'eau en sortie d'aéroréfrigérant T_e , la température de sortie d'air T (qui est égale à la moyenne des températures d'entrée et de sortie d'eau) et la température de l'air ambiant T_0 par :

$$P = \dot{Q}_a \left[c_{p,a} (T - T_0) + \frac{M_L}{M_a} \left(\frac{p_{Sat}(T) + w_0 p_{Sat}(T_0)}{p} \right) L \right] \quad (3)$$

La détermination du taux de vapeur disparue dans l'atmosphère, ainsi que le débit d'air nécessaire de refroidissement par évaporation seront déterminés par la combinaison des équations (2 et 3).

IV. TRAITEMENT DU BESOIN EN EAU DE REFROIDISSEMENT

Les performances d'une centrale thermique vont dépendre essentiellement des propriétés physiques de l'eau. Néanmoins, les propriétés physico-chimiques vont directement intervenir dans les processus de corrosion. De ce fait, il est nécessaire de bien les caractériser dans les conditions de fonctionnement de cette installation, [8-10]. Les opérations consistent à la préparation et à la spécification de l'eau d'appoint (préparation de l'eau de très haute pureté qui comporte deux phases ; traitements physiques et la déminéralisation), cette préparation doit conduire à une eau qui répond aux exigences indiquées dans le tableau 1.

Paramètre	Valeur attendue	Valeur limite
Conductivité à 25°C.....[μS/cm]	0,1	< 0,2
Sodium.....[μg/Kg]	< 1	< 2
Chlorures..... [μg/Kg]	< 2	
Silice.....[μg/Kg]		< 20

Tableau 1 : Exigences requises pour l'eau déminéralisée.

En plus, le contrôle en ligne maintien des spécifications chimiques, traitement antitartre et anticorrosion et traitement bactéricide et anti-Legionella. Les rejets thermiques et les conditions de rejet des eaux résiduelles industrielles sont présentés sur le tableau 2, [11,12].

Les normes de rejet sont spécifiques de l'industrie concernée, et sont variables d'une activité industrielle à l'autre.

Zone	Paramètre de pollution	Flux journalier autorisés [Kg/j]	Valeurs limites [mg/j]	
			Moyenne journalière	Moyenne mensuelle
Zone normale de rejet	MEST	15	100	30
	DBO ₅	30	100	
	DCO	100	300	
	NGL	>50		
	P _T	15		
Zone sensible à l'eutrophisation	NGL	150		15
	P _T	40		2

Caractéristiques générales des rejets :

- pH : 5,5 à 8,5 (cas général) ;
5,5 à 9,5 (neutralisation à la chaux) ;
- température < 30°C ;
- couleur 100 mg platine-cobalt/L.

Symboles :

- NGL : Azote globale.
- P_T : Phosphore total.
- MEST : Matières en suspension totales.
- DBO₅ : Demande biochimique en oxygène.
- DCO : Demande en oxyde de carbone.

Tableau 2 : Limites de rejet pour les eaux industrielles.

V. DESCRIPTION DU PROGRAMME DE CALCUL

Nous avons établi un programme de calcul de la consommation d'eau du circuit de refroidissement d'une centrale thermique, en utilisant le compilateur Fortran. Ce programme destiné à l'analyse du circuit de refroidissement d'une installation thermique de production de l'électricité.

VI. RESULTATS & INTERPRETATION

A. Influence des conditions ambiantes sur les pertes par évaporation

Les distributions des différents débits horaires (de déconcentration, d'évaporation et d'appoint) au cours de l'année, pour une puissance de 30 MW_{Th}, en supposant un fonctionnement continu durant toute l'année, sont représentées sur la Fig. 3.

On constate que la consommation d'eau est importante pendant les mois d'été, surtout par évaporation.

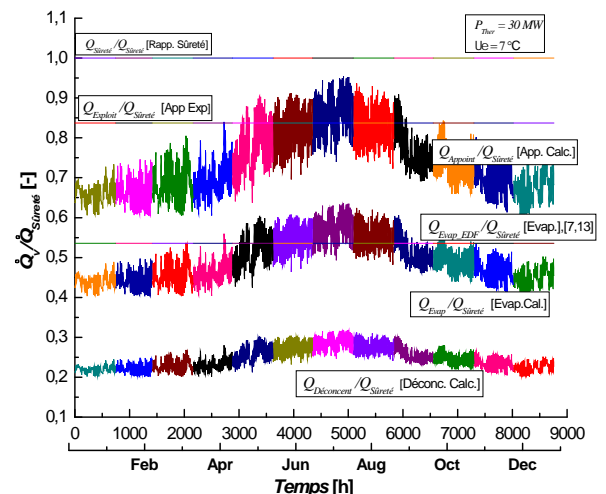


Fig. 3 : Pertes du réfrigérant ($P_{Th} = 30 \text{ MW}$).

B. Influence de la puissance évacuée sur les pertes par évaporation

Dans le but d'étudier l'influence de la puissance évacuée sur le débit d'appoint nécessaire au fonctionnement précédent, les différents débits sont présentés sur la Fig. 4, pour de puissances variant de 300 MW_{El} à 1200 MW.

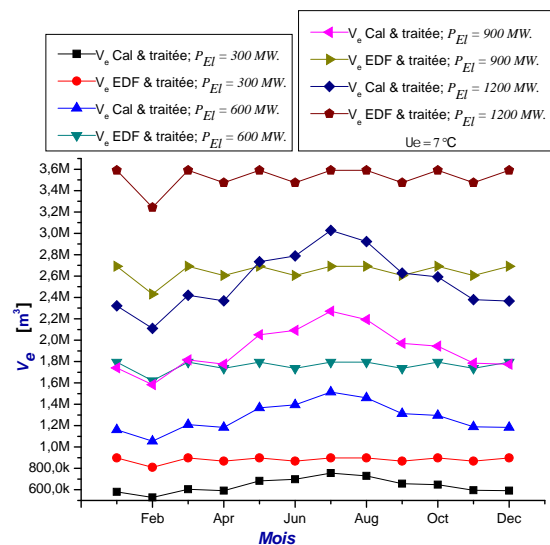


Fig. 4 : Pertes du réfrigérant ($P_{El} = 300 - 1200 \text{ MW}$)

Les mêmes constatations sont envisageables sur cette analyse. On remarque aussi que lorsque la puissance augmente, il nous faut une quantité importante d'eau pour évacuer cette chaleur générée à l'intérieur de la centrale.

On remarque aussi que la consommation d'eau de refroidissement par évaporation commence à augmenter légèrement à partir du début de mois de février jusqu'au mois d'avril. Et une augmentation importante de ce point à une valeur maximale jusqu'au mois de juillet. La consommation diminue de ce point jusqu'au mois de décembre. La moyenne de ces résultats est en accord avec les

données d'exploitation de cette installation et avec celles de la littérature.

C. Validation

Le débit pour une centrale EDF donne des valeurs comparables à celles de nos calculs [13-14]. Les trois débits, expérimentaux et de la littérature sont en accord entre eux, comme est présenté sur la Fig. 5. La consommation d'eau reste inférieure à celle élaborée dans le rapport de sûreté d'une telle centrale nucléaire.

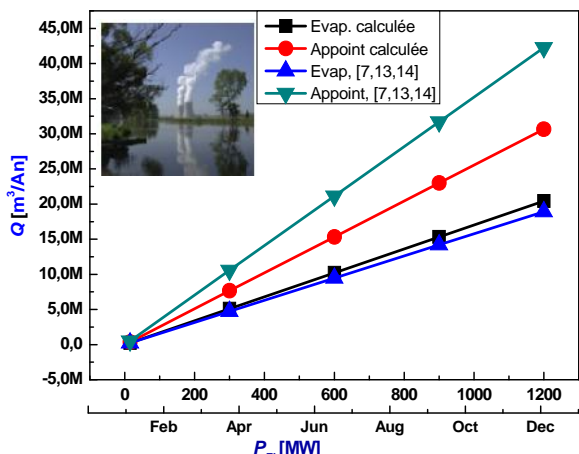


Fig. 5 : Influence de la puissance sur la consommation annuelle.

VII. CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons établi un programme de calcul de la consommation d'eau d'un circuit de refroidissement d'une centrale thermique de puissance. Le programme est basé sur les relations analytiques d'un bilan hydrologique appliqué dans une tour de refroidissement en utilisant la Norme : NF E 38-423.

L'illustration de résultats obtenus a fait apparaître clairement l'allure qualitative et quantitative des paramètres décrivant le besoin d'eau annuel pour cette installation thermique de production (proposée) et en bonne concordance avec les données fournies par le rapport de sûreté.

Le contrôle chimique des différents circuits de la centrale est présenté, il a pour principal objectif de limiter la corrosion des matériaux dans le but d'assurer la sûreté de l'installation, de permettre un fonctionnement durable sans avoir à procéder à des interventions coûteuses et de limiter la pollution atmosphérique.

La Synthèse de la prévision des valeurs moyennes du besoin en eau pour une centrale de puissance dans un site des hauts palataux est décrite dans le Tableau 3.

P	[MW]	300	600	900	1200
Eau d'Appoint Traitée	[M m³/An]	12	23	34	46

Tableau 3 : Synthèse des résultats.

LISTE DES SYMBOLES

Variable	Désignation	Unité
c_p	Chaleur spécifique à pression constate.	[kJ/kg K]
L	Chaleur latente.	[kJ/kg]
M_a	Masse molaire de l'air.	[g/mol]
M_L	Masse molaire du liquide.	[g/mol]
P	Puissance.	[MW]
\dot{Q}	Débit volumique.	[m³/h]
T	Température.	[°C]
T	L'écart de la température.	[K]
V	Volume du réfrigérant.	[m³]
Variable grec		
\ddagger_c	Nombre de cycle de concentration.	[-]
w	Humidité relative.	[%]
	Rendement de la centrale.	[%]

Indices et Exposant

a	Air.	$C. Ther$	Centrale thermique.
e	Eau.	EDF	Electricité de France.
El	Electrique.	$C.R$	Centrale de recherche.
Sat	Saturation.	$C.P$	Centrale de puissance.
Th	Thermique.	$NF E$	Norme Française.
$Evap$	Evaporation.		

REFERENCES

- CEA, (2009). "Mémento sur l'énergie. Energy handbook", Energy handbook, Edition.
- Patrick RAYMOND, (2007). "Thermique et thermohydraulique des réacteurs nucléaires", Cours de Génie Atomique Tome 1, Aspects Thermiques et Thermohydrauliques généraux.
- Gilbert NAUDET et Paul REUSS, (2008). "Energie, électricité et nucléaire", Collection génie atomique, EDP Sciences.
- Office National de la Métrologie (ONM), (1985). "Recueil de données climatologiques des différentes régions d'Algérie- Période : 1975-1984", Stations d'ONM.
- International Atomic Energy Agency, "Nuclear power reactors in the world", Reference Data series No. 2, International Atomic Energy.
- Jean-Marc DELHAYE, (2008). "Thermohydraulique des réacteurs", Collection Génie Atomique, INSTN, ISBN : 978-2-86883-823-0, EDP Sciences.
- EDF, (2001). "Guide des bonnes pratiques : Legionella et tours aéroréfrigérantes", Ministère de l'emploi et de la solidarité, Ministère de l'économie des finances et de l'industrie et ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement.
- Francis NORDMANN, (2004). "Gestion industrielle de l'eau pour la production d'énergie nucléaire", V. W 9 200, Techniques de l'ingénieur.
- Pierre MOUCHET, (2004). "Traitement des eaux avant utilisation. Filières et applications", Accueil Archives Génie industriel / Technologies de l'eau, Techniques de l'ingénieur.
- Francis NORDMANN, et Gérard PINARD LEGRY, (2000). "Chimie de l'eau et corrosion dans les REP", Matière et matériaux / Génie nucléaire, Techniques de l'ingénieur.
- BERNE & J. CORDONNIER, (1991). "Traitement des eaux", école nationale supérieure et des moteurs, Edition Technip, paris.
- Pierre Hubert, (1998). "Eaupuscul Une introduction à la gestion de l'eau", 2ième Edition, 1998, HGA, Bucure ti, Romania, ISBN 973-98077-6-3.
- Alain VICAUD, (2007). "Les besoins en eau de refroidissement des centrales thermiques de production d'électricité", EDF Division Production Nucléaire.
- www.edf.com, (2010). "Centrales nucléaires : L'utilisation optimisée de la ressource en eau", EDF Division Production Nucléaire.