

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة

Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا

Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك

Département d'Électronique



## Mémoire de Master

Mention : Automatique

Spécialité : Automatiques et Systèmes

Présenté par

DRAI Ahmed

&

BELLAIFA Islam Baha Eddine

# Etude et Amélioration d'un Système de Réfrigération d'une Turbine à Gaz

Proposé par : Dr. CHENTIR Amina

Et : Mr. HAIMED Mohamed

Année Universitaire 2018-2019



## *Remerciements*

Tout d'abord nous remercions DIEU le tout puissant de nous avoir donné le courage et l'inspiration pour réaliser ce travail de fin de cycle universitaire.

Nous tenons aussi à exprimer toute notre profonde gratitude à notre promotrice «Dr.CHENTIR AMINA» pour l'effort fourni, les conseils prodigués, sa patience et sa persévérance, profitant ainsi de sa expérience dans la réalisation de notre projet, sans oublier «Mr.HAIMED MOHAMED» l'ingénieur qui nous a guidés dans notre stage et notre professeur «Dr.FAS MOHAMED LAMINE» .

Nous remercions sincèrement les membres de jury d'avoir bien voulu accepter de faire partie de la commission d'examineurs.

Merci, à toutes les personnes qui nous ont aidées de près ou de loin.





## *Dédicaces*

Tout d'abord et avant tout je remercie *Allah de m'avoir donné la capacité de faire ce modeste travail, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever les mains vers le ciel et de dire HAMDOULAH.*

Je dédie cet humble travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, son amour inconditionnel et sa grande charité forment la perle de mon existence. Et grâce à elle, je profite aujourd'hui du meilleur de la vie. J'aimerais pouvoir lui rendre tout l'amour et la dévotion qu'elle m'a offerts, mais une vie entière n'y suffirait pas. J'espère au moins que ce mémoire y contribuera en partie à mes deux mères HAMIDA et FATMA , et mes deux pères TOUFIK et ACHOUR qui ont tant investi et accordé tant de sacrifices durant leurs vies pour assurer mon avenir , que dieu les gardent et les protègent.

je le dédie aussi à:

*À ma chère sœur*

*À mes chers frères*

*À ma chère amie Imane*

*À mes chers amis Karim, Mounir, Younes, Abd erraouf et Abd El azziz*

*À mes tantes , mes oncles et mes cousins paternelle et maternelle .*

*À tout les membres de ma famille DRAI et GUICHENITI .*

*À ce lui avec qui j'ai partagé les nuits et les jours de travail au cours de cette année .*

*À tous mes camarades de 2<sup>ème</sup> année Master  
Et à tous mes amis de l'université.*

*AHMED DRAI*





Tout d'abord et avant tout je remercie Allah de m'avoir donné la capacité de faire ce modeste travail, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever les mains vers le ciel et de dire **HAMDOULAH** .

Je tiens à dédier ce modeste travail avant tout :

A mon très cher père Ali.

A ma très chère mère Karima.

A mes très chers frères Walid, Abdellah et Radouane.

A toute la famille Bellaifa et Abdallah.

A mes chers amis Billal, Farouk, Oussama et Kamel.

A ma chère amie Seghier Abdellah Sihem

A mon cher binôme.

A tous mes camarades de l'université.

Et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à accomplir ce travail.

*BELLAIFA Islam Baha Eddine*



## ملخص :

في هذا المشروع ، يتعلق الأمر باقتراح نهج لتحسين كفاءة نظام التبريد على مستوى شاك في الاربعاء حيث يعمل هذا الأخير حاليًا مع 3 مراوح فقط ومروحة رابعة تعمل في حالة الفشل. لذلك اقترحنا مخططًا وظيفيًا جديدًا للنظام الذي سيعمل مع 4 مراوح مع إضافة نظام ري أنابيب مياه التبريد. ولاختبار صلاحية عملنا ، قمنا بتصميم نموذج حيث جاءت الاختبارات لتبرير تحسيناتنا.

## Résumé :

Dans ce projet, il est question de proposer une démarche d'amélioration du rendement du système de refroidissement au niveau de la SPE de l'Arbaa où ce dernier travaille actuellement avec seulement 3 ventilateurs et un 4<sup>ème</sup> ventilateur fonctionnant en cas de défaillance. Nous avons donc proposé un nouveau schéma fonctionnel du système qui fonctionnera avec les 4 ventilateurs avec l'ajout d'un système d'arrosage des tuyaux de circulation d'eau de refroidissement. Et afin de tester la validité de notre travail, nous avons réalisé une maquette où des tests sont venus justifier nos améliorations.

## Abstract:

In this project, it is question of proposing a process of improving the cooling system performance at the SPE Arbaa where it currently works with only 3 fans and a fourth fan operating in case of failure. We therefore proposed a new system block diagram that will work with 4 fans with the addition of a watering system cooling water pipes. And to test the validity of our work, we have assembled a model where tests came justify our improvements.

**Remerciements****Dédicaces****Résumés****Sommaire****Liste des Figures et Tableaux****Liste des abréviations****Introduction générale .....1****Chapitre 1 : Présentation principe du fonctionnement de la centrale de l'ARBAA**

## 1.1. Présentation de la société SONELGAZ .....3

## 1.2. Description de la centrale de L'ARBAA .....3

## 1.2.1. Situation géographique .....3

## 1.2.2. Principales caractéristiques de la centrale .....4

## 1.2.3. Evacuation de l'Energie Electrique .....4

## 1.2.4. Principales caractéristiques techniques de la centrale .....5

## 1.3. Description sommaire de l'ensemble d'une unité thermoélectrique turbine à gaz.....5

## 1.3.1. Principe de fonctionnement du procédé de production d'énergie électrique par turbine à gaz .....6

## 1.3.2. Cycle thermodynamique de la turbine à gaz .....8

## 1.3.3. Caractéristiques de fonctionnement de la turbine à gaz de LARBAA.....9

---

1.4 Conclusion.....	16
---------------------	----

## **Chapitre 2 : Fonctionnement du système de refroidissement**

2.1 Introduction.....	18
2.2 Présentation du système.....	18
2.2.1 Interfaces.....	19
2.2.2 Description fonctionnelle.....	19
2.2.3 Le schéma PID.....	23
2.3 Exigences d'automatisme.....	23
2.3.1 Contrôles et verrouillages.....	23
2.3.2. Protections.....	25
2.3.3. Alarmes.....	25
2.4. Autres exigences.....	25
2.5. Problématique.....	26
2.6. La solution proposée.....	26
2.7. Caractéristiques des composants principaux.....	27
2.8. Conclusion.....	30

## **Chapitre 3 : Réalisation et tests**

---

3.1 Introduction.....	32
3.2 Présentation de l'automate programmable ABB.....	32
3.2.1 L'automate BRC-300.....	33
3.2.2 Caractéristiques de BRC-300.....	34
3.3 Schéma synoptique.....	34
3.4 Fonctionnement actuel du système de refroidissement .....	35
3.4.1 Principe de fonctionnement .....	35
3.4.2 Présentation de l'interface PGP actuelle.....	37
3.5 Amélioration introduite pour le système de refroidissement .....	38
3.6 Réalisation Pratique d'une maquette de simulation .....	42
3.7 Tests réalisés .....	44
3.8 Conclusion.....	45
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>47</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>49</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>52</b>

Figure 1.1 : Situation de L'ARBAA .....	3
Figure 1.2 : Emplacement Géographique .....	5
Figure 1.3 : Principe de fonctionnement général d'un groupe de turbine à gaz.. .....	6
Figure 1.4 : Transformation énergétique .....	7
Figure 1.5 : Cycle idéal d'une turbine à gaz .....	8
Figure 1.6 : Groupe de turbine à gaz .....	9
Figure 1.7 : Station de Gaz .....	10
Figure 1.8 : Station fioul combustible .....	11
Figure 1.9: Système de filtration d'air .....	11
Figure 1.10 : Interface PGP de la chambre de combustion .....	12
Figure 1.11 : Interface PGP du circuit d'huile de graissage .....	14
Figure 1.12 : Générateur .....	15
Figure 2.1 : Système de refroidissement NORIA.....	19
Figure 2.2 : Interface homme machine du système NORIA.....	20
Figure 2.3 : L'échangeur huile/eau.....	21
Figure 2.4 : les plaques métalliques de L'échangeur.....	22
Figure 2.5 : L'échangeur air/eau.....	22
Figure 3.1 : l'automate programmable BRC-300.....	33
Figure 3.2 : schéma synoptique de système de refroidissement NORIA.....	35
Figure 3.3 : Schéma fonctionnel du système actuel.....	36

Figure 3.4 : Interface de fonctionnement actuel sous PGP.....37

Figure 3.5 : Schéma fonctionnel amélioré avec mise en marche du quatrième ventilateur.....39

Figure 3.6 : Schéma fonctionnel du système d’arrosage .....39

Figure 3.7 : Schéma fonctionnel du remplissage de la bache à eau .....40

Figure 3.8 : interface PGP du programme proposé.....41

Figure 3.9 : Schéma synoptique du système de refroidissement de la maquette réalisée.....42

Figure 3.10: Photo réelle de la maquette réalisée.....43

\*\*\*\*\*

Tableau 1.1 : Principales caractéristiques de la centrale .....4

Tableau 2.1 : L’ordre de marche des ventilateurs.....24

Tableau 2.2 : Les composants utilisés dans la simulation.....27

Tableau 3.1 : Températures mesurées après refroidissement .....44

## Liste des acronymes et abréviation

**ABB** : ASEA Brown Boveri

**API** : Automate Programmable Industriel

**BRC** : Régulateur de Pont Harmony

**CEI** : Commission électrotechnique internationale

**DC** : Direct Current (courant continue)

**E/S** : Entrer / Sortie

**EAC** : Exploitations Agricoles Communes

**Ec** : Energie Chimique du combustible

**Ee** : Energie Electrique

**Ek** : Energie Calorifique

**Em** : Energie Mécanique

**FBD** : Function Block Diagram

**GND** : Ground

**GT** : Turbine à Gaz

**GTA** : Générateur Turbine Alternateur

**HT** : Haute Tension

**IHM** : l'Interface Homme Machine

**Ko**: Kilo octet

**KV**: Kilo volt

**LED** : Light Emitting Diode

**mA** : milli Ampère

**Mo** : Méga octet

**MT** : Moyen Tension

**mV** : milli Volt

**MW**: Mega Wat

**P&ID**: Piping and Instrumentation Diagram

**PGP** : Power Génération Portal

**PV** : Pression Volume

**Rpm**: Rotation par minute

**SONATRACH** : Société Nationale pour le Recherche, la production, le Transport, la transformation et la Commercialisation des Hydrocarbonés

**SONELGAZ** : Société Nationale d'Electricité et de Gaz

**SPE** : Société de Production de l'Electricité

**THT / MT** : Transformateur HT / MT

**TS** : Température entropique

**Vcc** : volt conventionnel current

# Introduction Générale

Vecteur énergétique indispensable à notre mode de vie, l'électricité est aujourd'hui utilisée pour l'éclairage, le chauffage mais aussi pour alimenter de nombreux appareils que nous utilisons tous les jours. Couplée à l'électronique, l'électricité est un remarquable vecteur énergétique par la souplesse et l'efficacité des processus qu'elle permet de mettre en œuvre d'autant que ses usages se font sans émission de polluants atmosphériques.

Dans notre pays, la société SONELGAZ (SOciété Nationale de l'ELectricité et du GAZ) est un groupe industriel énergétique Algérien, chargée de la production, du transport et de la distribution de l'électricité et du gaz en Algérie. Elle est donc en tête de la production, du transport et de la distribution de l'électricité dans notre pays.

La Société Algérienne de Production de l'Electricité (SPE) est une filiale du groupe Sonelgaz. Elle a pour mission, la production et la commercialisation de l'électricité répondant aux exigences de disponibilité, fiabilité, sécurité et protection de l'environnement.

La SPE a mis donc en œuvre un vaste programme de réhabilitation et de développement de son parc de production et ambitionne de demeurer l'opérateur dominant en matière de fourniture de l'énergie électrique. Son programme de développement est orienté vers l'augmentation :

- De la capacité de production,
- La disponibilité des groupes de production,
- Et enfin, de la fiabilité des groupes de production.

Une partie de notre projet de fin d'études s'est déroulée au niveau de la SPE de L'Arbaa qui est implantée dans la localité de BELOUADI à environ 4 kilomètres au Nord du chef-lieu de la daïra de L'Arbaa, wilaya de Blida.

Cette centrale est destinée à faire face à la demande d'énergie résultant de l'implantation dans la région de divers aménagements industriels et domestiques et à assurer un appoint au réseau général interconnecté.

Elle s'étale sur une superficie de terrain servant d'assiette de 5.4 hectares dont 4 hectares sont acquis auprès des EAC (Exploitations Agricoles Communes) et 1.4 hectares qui font partie de l'assiette du poste 220/60 KV.

Ce site a été choisi en raison de sa proximité à la fois du poste d'évacuation d'énergie électrique et du gazoduc SONATRACH alimentant la capitale et ses environs, passant près de la ville des Eucalyptus.

Le but de notre projet est donc de proposer une amélioration dans le système de réfrigération NORIA en accomplissant une modification sur le programme d'utilisation actuel.

Dans ce même contexte, nous avons par la suite proposer une amélioration supplémentaire en intégrant un système d'arrosage qui permet d'effectuer une pulvérisation des tuyaux de circulation d'eau, ce qui va améliorer le rendement du système de refroidissement de la turbine.

Et afin de valider nos deux propositions, nous avons procédé à la réalisation réelle d'une maquette de simulation où nous avons commandé les quatre ventilateurs et le système d'arrosage par le biais d'un automate programmable.

Notre mémoire est organisé autour des trois chapitres suivants :

- Le premier chapitre est dédié à la présentation de la société SONEGAS et le fonctionnement de la centrale de l'ARBAA où nous avons fait une description détaillée de ses différentes structures.
- La présentation du principe de fonctionnement du système de réfrigération NORIA est abordée dans le deuxième chapitre. Nous y avons alors exposé la problématique du système actuel suivie de la solution proposée avec une étude détaillée des composants à utiliser.
- Le dernier chapitre est alors consacré à la réalisation pratique. Dans une première étape, nous avons détaillé le fonctionnement actuel du système de refroidissement puis avons donné toutes les améliorations nécessaires que nous avons introduites. La deuxième étape a été alors consacrée à la réalisation pratique d'une maquette de simulations où des tests ont été réalisés pour valider les transformations que nous avons proposées. Les résultats viennent confirmer nos propositions d'amélioration.

# Chapitre 1

*Présentation et Principe de fonctionnement de la centrale de  
l'ARBAA*

## 1.1. Présentation de la société SONELGAZ

La Société Nationale SONELGAZ est le monopole de gestion de l'énergie électrique dans notre pays. Elle est née de l'ancienne Société Publique de l'Electricité et du Gaz d'Algérie en 1968.

Actuellement, la SONELGAZ assure la production, le transport, la distribution, l'engineering et les travaux de réalisation de certains projets d'électricité et de gaz sur le territoire national, tout en visant à répondre de manière régulière, sûre et permanente aux besoins réclamés par l'immense clientèle [1].

## 1.2. Description de la centrale de L'ARBAA

La description de la centrale de L'ARBAA est :

### 1.2.1. Situation géographique

La centrale turbines à gaz de L'ARBAA est implantée dans la localité de BELOUADI à environ 4 kilomètres au Nord du chef-lieu de la daïra de L'ARBAA, wilaya de Blida et à 8 kilomètres au sud de la commune des Eucalyptus, Wilaya d'Alger (Fig1.1).



Figure 1.1 : Situation de L'ARBAA

### 1.2.2. Principales caractéristiques de la centrale

Le tableau suivant représente les caractéristiques de la centrale de SONALGAZ de L'ARBAA :

Localisation du site	L'ARBAA Wilaya de Blida
Superficie du site	6 hectares environ
Type de centrale	Cycle ouvert-turbine à gaz
Nombre de groupes	Quatre
Puissance totale	560MW aux conditions du site
Combustible principal	Gaz naturel
Combustible de secours	Gasoil
Constructeur	Ansaldo Energia (Italie)

**Tableau 1.1** : Principales caractéristiques de la centrale

### 1.2.3. Evacuation de l'Energie Electrique

La centrale est destinée à faire face :

- A la demande d'énergie résultant de l'implantation dans la région de divers aménagements industriels et domestiques.
- A assurer un appoint au réseau général interconnecté.

Le poste d'évacuation de l'énergie électrique est de type extérieur, il est constitué de quatre (4) travées entièrement équipées, aboutissant sur 2 jeux de barres 220KV.

Il est constitué de :

- 4 arrivées groupes.
- 5 départs 220kv (Alger Est 1, Alger Est 2, Metal Sider, Béni Merad, Hamr El Ain) (Figure 1.2).
- 1 coupleur de barres.

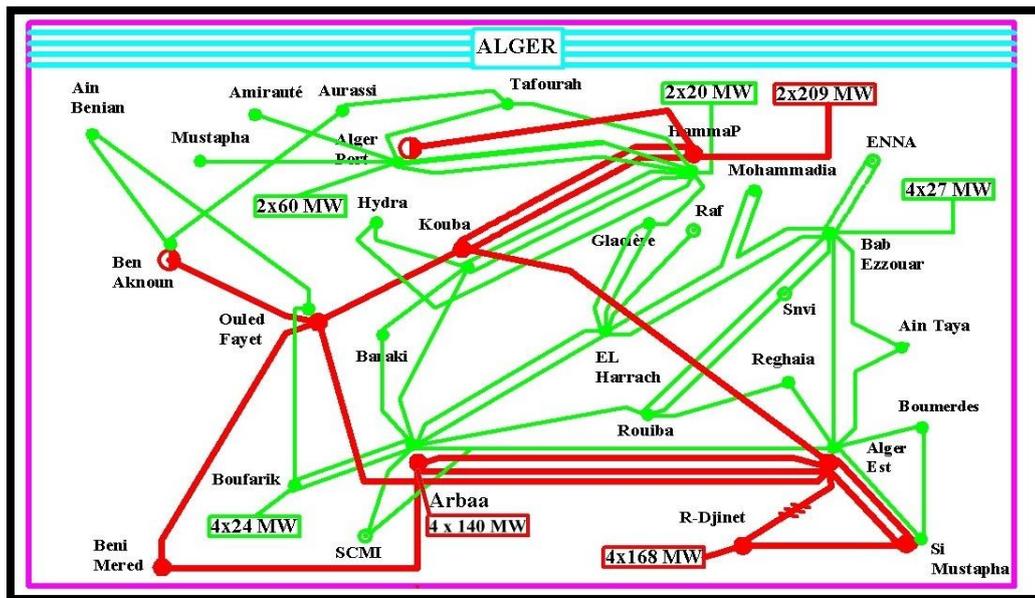


Figure 1.2 : Emplacement Géographique

#### 1.2.4. Caractéristiques techniques de la centrale

La centrale de l'ARBAA d'une puissance de 560 MW bornes usine (4 x 140) MW conditions site) est constituée de quatre groupes turbines à gaz type V94.2 ANSALDO.

Ces groupes sont installés à l'intérieur d'une salle des machines ventilée et insonorisée.

La turbine est du type mono arbre à cycle simple tournant à 3000tr/min, fonctionnant au gaz naturel comme combustible principal et au gasoil comme combustible de secours, avec la possibilité de passage d'un combustible à l'autre en mode automatique.

La centrale est dotée de moyens technologiques lui permettant de fonctionner dans le respect des normes en matière de préservation de l'environnement [1].

#### 1.3. Description sommaire de l'ensemble d'une unité thermoélectrique turbine à gaz

Une centrale thermoélectrique à turbine à gaz se compose principalement des équipements suivants :

- **Compresseur** : qui génère l'air sous pression et en quantité nécessaire et suffisante pour la combustion du volume de gaz combustible.

- **Chambres de combustion** : où s'effectue la combustion du mélange combustible – air, elle est donc le siège de transformation de l'énergie chimique en énergie calorifique. Elle est de type à cornes équipée de 2×8 brûleurs.
- **Turbine** : qui transforme l'énergie thermique des gaz de fumés résultant de la combustion en énergie mécanique.
- **Générateur électrique** : accouplé à la turbine et excité par un système de régulation statique de tension, il transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.
- **Diffuseur d'échappement** : permet d'évacuer les gaz de fumés à l'atmosphère par l'intermédiaire de la cheminée, il est équipé d'une mesure de température par 6 thermocouples.

### 1.3.1. Principe de fonctionnement du procédé de production d'énergie électrique par turbine à gaz

La figure suivante présente le principe de fonctionnement du procédé de production d'énergie électrique par turbine à gaz :

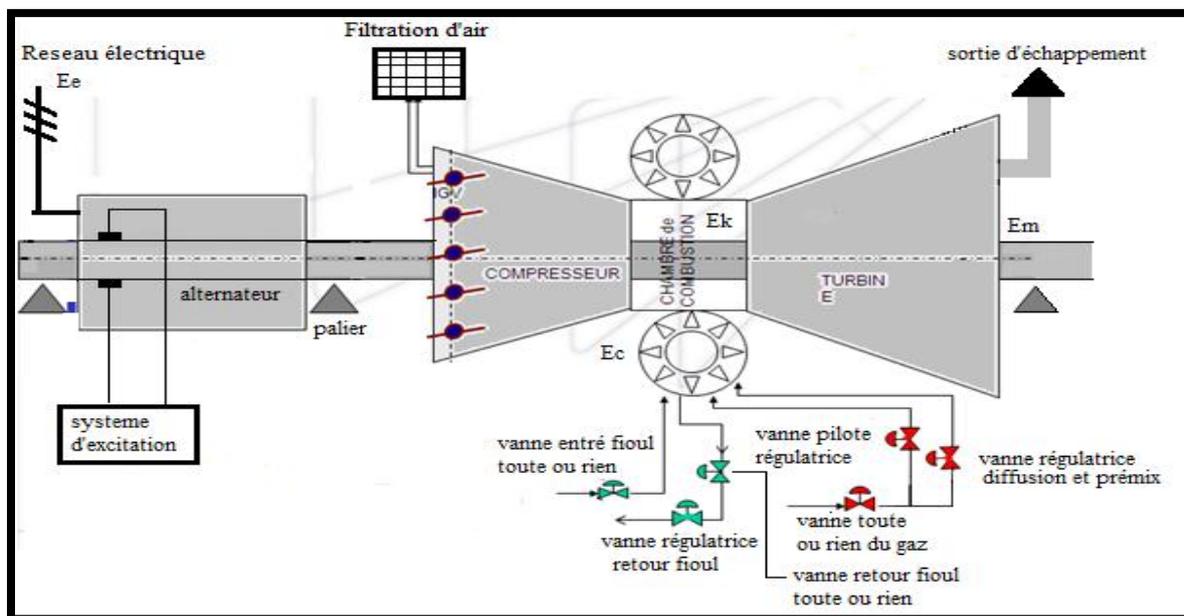
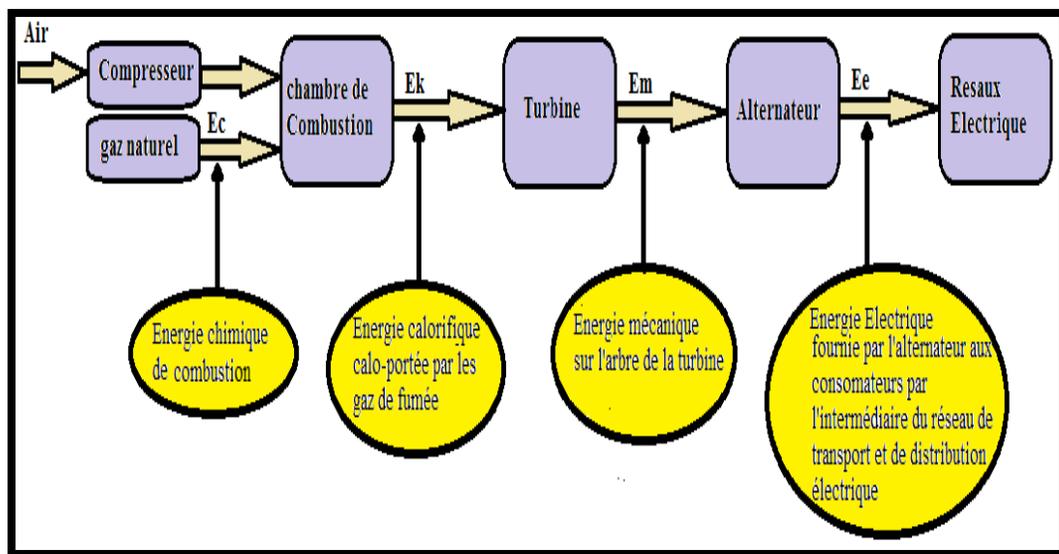


Figure 1.3 : Principe de fonctionnement général d'un groupe de turbine à gaz

La chambre de combustion est équipée d'un certain nombre de brûleurs, siège de la réaction chimique de combustion du gaz naturel (combustible) et de l'oxygène de l'air (comburant) qui fournit une énergie calorifique (résultante de la réaction de combustion).

L'énergie calorifique qui sort de la chambre de combustion est calo-portée par les gaz de fumée sur les arbres de la turbine où ils subissent une détente transformant cette énergie en une énergie mécanique de rotation de l'arbre. Cette énergie mécanique «  $E_m$  » recueillie sur l'arbre de l'alternateur accouplé à la turbine et excité par une source électrique courant continu par son inducteur (rotor), est transformée en énergie électrique (Fig1.4) [1].



**Figure 1.4 :** Transformation énergétique

$E_c$  : Energie chimique du combustible.

$E_k$  : Energie calorifique de gaz de fumée sortie chambre de combustion (chaleur dégagée par la combustion).

$E_m$  : Energie mécanique sur l'arbre turbine.

$E_e$  : Energie électrique fournie par l'alternateur a ses bornes au réseau.

### 1.3.2. Cycle thermodynamique de la turbine à gaz

La détente que subit la turbine en transformant l'énergie thermique calo-portée par les gaz de fumée en énergie mécanique de rotation fonctionne selon le cycle de BRAYTON.

De façon générale, une turbine à gaz peut être considérée comme un convertisseur d'énergie. Le cycle BRAYTON dépeint le modèle d'un cycle d'énergie de turbine à gaz [1].

Dans les diagrammes P-V (pression-volume) et T-S (Température-entropie) indiqués ci-dessous (fig1.5), les quatre étapes du cycle sont :

- (1-2) Compression isentropique dans le compresseur en augmentant la pression de l'air de l'état 1 à l'état 2.
- (2-3) Ajout de chaleur à pression constante résultant de la réaction chimique de combustion dans la chambre de combustion.
- (3-4) Détente isentropique dans la turbine.
- (4-1) Rejet de chaleur à pression constante dans l'atmosphère à travers le canal d'échappement

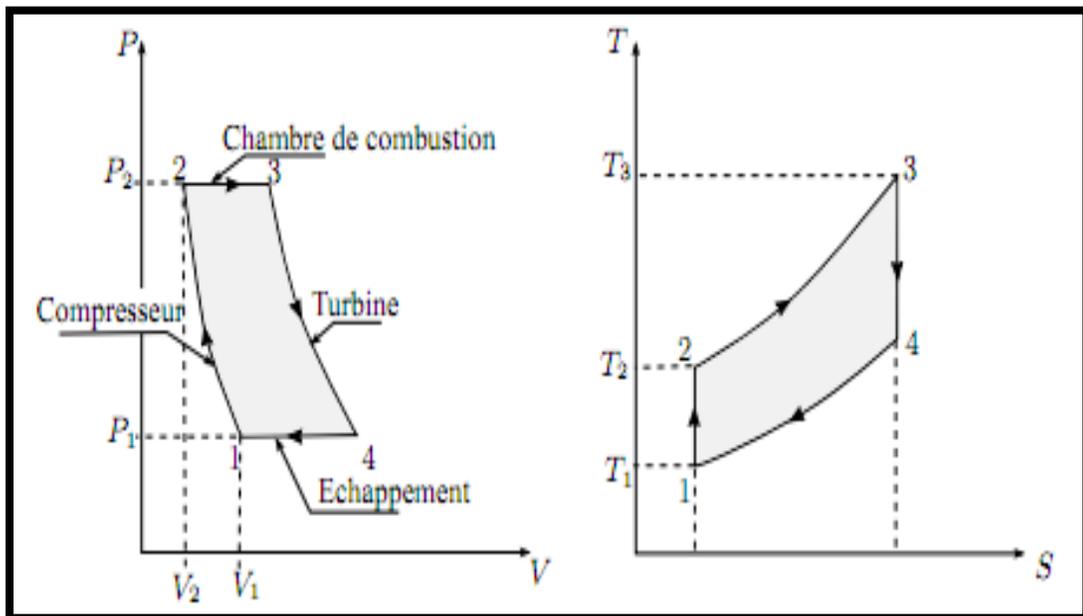


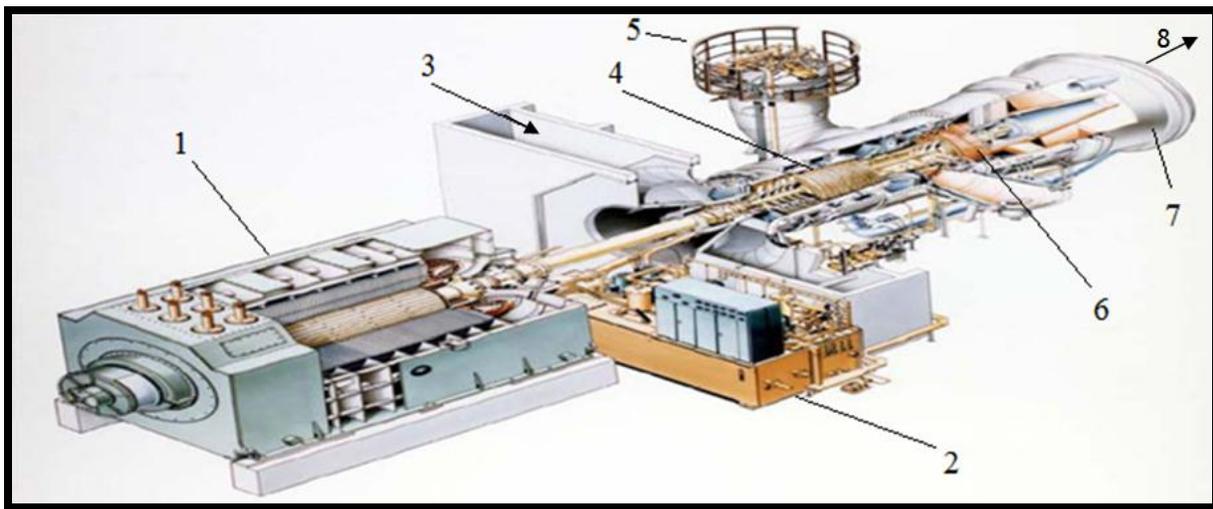
Figure 1.5 : Cycle idéal d'une turbine à gaz

### 1.3.3. Caractéristiques de fonctionnement de la turbine à gaz de L'ARBAA

Nous allons maintenant présenter plus en détail, la turbine à gaz de la station de L'ARBAA.

➤ **Schéma descriptif d'un groupe de turbine à gaz**

La figure suivante représente la structure de la turbine à gaz :



**Figure 1.6:** Groupe de turbine à gaz

Où :

- |                                    |   |
|------------------------------------|---|
| 1. Générateur.                     | 5. Chambre de combustion.                   |
| 2. Réservoir d'huile avec montage. | 6. Turbine.                                 |
| 3. Structure d'admission d'air.    | 7. Diffuseur d'échappement.                 |
| 4. Compresseur.                    | 8. Echappement des fumées vers la cheminée. |

La centrale de L'ARBAA est composée principalement des équipements suivants :

- Station de gaz ;
- Station de fuel ;

- Section compresseur avec système de filtrage d'air ;
- Chambre de combustion ;
- Section turbine ;
- Système d'huile de graissage ;
- Générateur ;

### a. Station de Gaz

Le gaz naturel est livré sur un site d'environ 60 Bars. Le poste gaz à pour le traitement et la détente. Le traitement consiste en la filtration du gaz et l'extraction des condensats qu'il contient par un séparateur. La détente consiste en un préchauffage préalable à une réduction de pression de 60 bars et à 23 bars par des détendeurs (Figure 1.7) [1].



**Figure 1.7** : Station de Gaz

### b. Station fioul combustible

La fonction du système est de recevoir le gasoil de la station de dépotage et de le transférer aux réservoirs principaux, des turbines à gaz, des groupes électrogènes et la motopompe diesel anti-incendie (Fig1.8).



**Figure 1.8 :** Station fioul combustible

### **c. Section compresseur**

- **Description et principe de fonctionnement**

L'air froid insufflé de l'extérieur en condition du site est comprimé et chauffé en traversant la section du compresseur. Les ailettes du stator et du rotor du compresseur transforment le fonctionnement mécanique (rotor en rotation) en un flux d'énergie.

- **Système de filtration d'air**

La filtration d'air a pour rôle de retenir les impuretés contenues dans l'air atmosphérique afin de préserver les ailettes de compresseur et de la turbine contre l'encrassement et l'érosion (fig1.9).



**Figure 1.9 :** Système de filtration d'air

**d. Chambre de combustion**

La description et le principe de fonctionnement de la chambre de combustion est comme suite :

- **Description et principe de fonctionnement**

La turbine à gaz V94.2 est équipée de deux chambres de combustion, montées verticalement sur les côtés de la turbine à gaz et connectées aux brides latérales de l'enveloppe extérieure de la turbine à gaz.

Cette structure de la chambre de combustion offre une bonne accessibilité de toutes les composantes pour les inspections et si nécessaire, montage et démontage facile. Le débit principal passant du compresseur à la chambre de combustion se déverse dans les brûleurs en tant qu'air primaire et participe à la combustion.

Dans les chambres de combustion, la réaction chimique entre l'air et le combustible produit une augmentation importante de température à une pression constante. Dans cette section la valeur calorifique du combustible se transforme en une énergie thermique pour les gaz [1].

- **Description fonctionnelle sommaire de la chambre de combustion**

Cette figure représente la chambre de combustion par interface PGP (Power Generation Portal) :

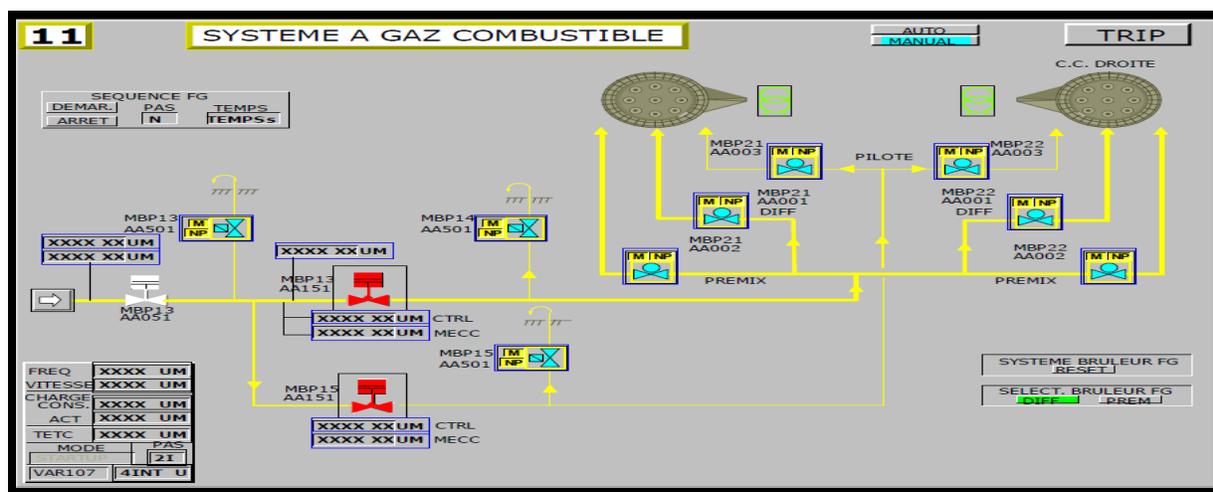


Figure 1.10 : Interface PGP de la chambre de combustion

### **e. Section Turbine**

Dans la section turbine, l'énergie calorifique qui sort de la chaudière est calo-portée par les gaz de fumée sur les aubes de la turbine où ils subissent une détente transformant cette énergie en une énergie mécanique de rotation de l'arbre partiellement demandé par le compresseur en grande partie 60% et de 40% vers le réseau à travers le générateur.

La turbine est constituée de quatre étages : chaque étage se présente en une série d'ailettes statorique et d'ailettes de rotorique. Les ailettes du stator et du rotor de la turbine sont des parties qui sont exposées à un stress mécanique et thermique intense. C'est pourquoi, elles doivent être fabriquées par un matériau très résistant à la chaleur, approximativement à 1190°C.

En raison des contraintes thermiques et mécaniques importantes auxquelles elles sont soumises, les aubes de la turbine sont réalisées à partir d'alliage résistant aux hautes températures. Les aubes des trois premiers étages sont dotées d'un revêtement de protection contre la corrosion à haute température.

Les quatre étages d'aubes fixes et les trois premiers étages d'aubes mobiles sont refroidis à l'air. L'air de refroidissement destiné à la turbine est prélevé aux étages appropriés du compresseur. Des conduites dirigent l'air du compresseur à l'enveloppe de la turbine. De là, il pénètre dans les aubes directrices par des orifices percés dans le port d'aubes.

Les aubes mobiles sont refroidies par de l'air soutiré en aval du compresseur. Cet air pénètre dans les pieds des aubes par des orifices percés dans les disques du rotor et dans le tube répartiteur d'air puis ressort par le sommet des pales [1].

### **f. Système d'huile de Graissage du turbo-alternateur**

Le système d'huile de graissage des paliers de la turbine est pour éviter l'arrêt de la production causé par l'augmentation de la température

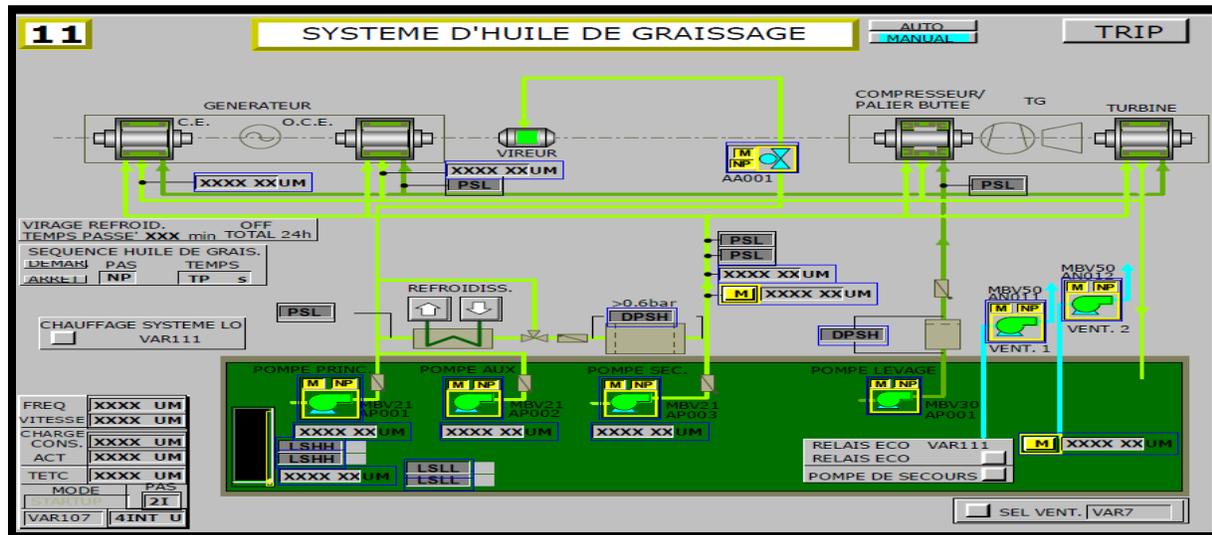
- **Rôle du graissage**

- Assurer la lubrification des coussinets, des paliers, et des divers mécanismes du palier afin de minimiser la friction.
- Assurer le refroidissement des paliers et des diverses pièces à lubrifier

- La quantité de chaleur à évacuer nécessite un certain débit d'huile suffisamment élevé pour maintenir la température des paliers dans les limites admissibles (70°C - 80°C)

- **Description du circuit d'huile de graissage**

Cette figure est représentée le circuit d'huile de graissage par interface PGP :



**Figure 1.11 :** Interface PGP du circuit d'huile de graissage

Le circuit d'huile de graissage (fig1.11) se compose d'une cuve à huile placée à proximité de la turbine sur laquelle sont installés les composants suivants :

- Une motopompe principale a courant alternatif.
- Une motopompe à courant alternatif auxiliaire ayant un débit d'huile nécessaire à fonctionnement normal.
- Une motopompe à courant continu de secours.
- 02 ventilateurs d'aspiration des buées qui évacuent à l'extérieur les vapeurs se trouvant à la partie supérieure de la cuve.
- Un indicateur de niveau.
- Huile refoulée par les pompes traverse est refroidie à travers des réfrigérants d'huile muni d'un système de régulation de température d'huile.

- **Fonctionnement**

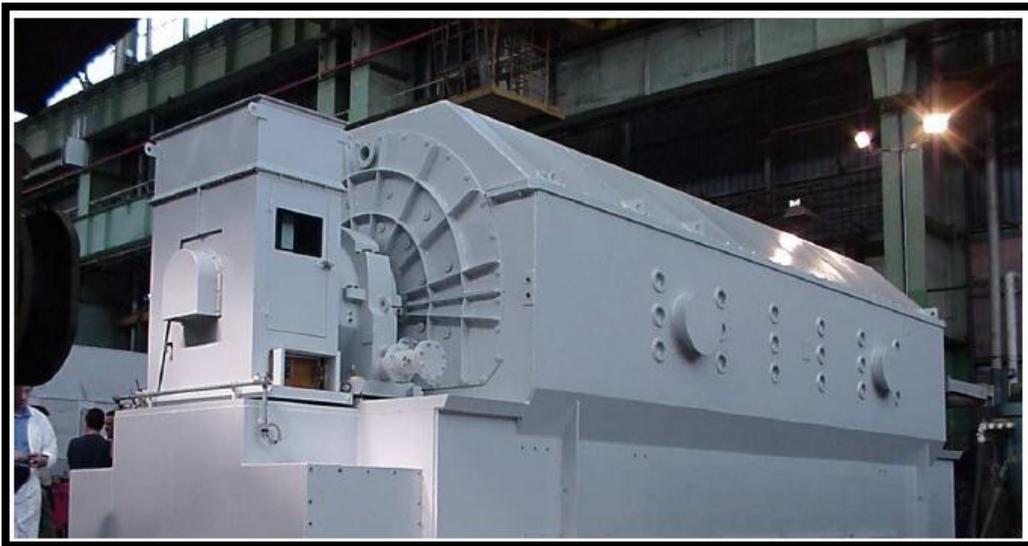
En service normal : l'huile est aspirée par la pompe principale à travers un réfrigérant d'huile et alimente l'ensemble des paliers du GTA.

Au démarrage la pompe principale et la pompe auxiliaire à courant alternatif sont mises en service pendant la montée en vitesse à une pression de 2.6 bars. La pompe auxiliaire se déconnecte automatiquement à la vitesse de 120 tr/min. La pompe principale elle seule assure le graissage pendant le fonctionnement.

En cas d'incident : en cas de baisse de pression d'huile de graissage jusqu'à un seuil s1, la pompe auxiliaire à courant alternatif se met en service et si pour une raison de mal fonctionnement de cette pompe la pression continue à chuter jusqu'à un seuil s2 qui fait démarrer la pompe à courant continue.

### **i. Générateur**

Le générateur est du type refroidi en air, à deux pôles à rotor lisse, ventilé en circuit fermé avec échangeurs air-eau installés dans la partie inférieure de la carcasse.



**Figure 1.12** : Générateur

- **Caractéristiques Principales**

- Turboalternateur triphasé à deux pôles avec rotor lisse
- Rotor directement couplé à la turbine
- Enroulement amortisseur du rotor
- Ventilation en circuit fermé avec 4 échangeurs air-eau incorporés dans la carcasse
- Auto-ventilation du stator et du rotor
- Générateur expédié complètement assemblé
- Excitation de type statique
- Isolation d'enroulement stator de type Resin-Rich en barre individuelle
- Règles, Standards CEI
- Système de mise à la masse de l'arbre et d'isolation des paliers pour prévenir la circulation des courants d'arbre.

- **Description**

Le générateur synchrone à deux pôles est refroidi par l'air en circuit fermé. La carcasse est constituée d'une structure soudée, divisée horizontalement en deux moitiés, pour permettre l'accès à la machine en cas d'entretien et de réparation. Le rotor tourne sur deux paliers radiaux à frottement, situés à l'extérieur de la carcasse et indépendant à cela. Cette caractéristique simplifie remarquablement l'entretien. Le blocage axial pour toute la ligne d'axe est fait par le palier buté d'embrayage de turbine. Le palier opposé à la turbine à une double isolation et, de plus, l'arbre est connecté à la terre pour protéger les paliers et leurs systèmes de support contre dommages provoqué par la circulation des courants d'arbre. Le système de lubrification est le même que la turbine. L'air chaud sortant du générateur est refroidi par des échangeurs air-eau installés dans la partie inférieure de la carcasse. La chaleur est cédée à l'eau du circuit de refroidissement, qui est refroidi, elle-même, dans un circuit extérieur par des ventilateurs noria [1].

## 1.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons touché une Présentation de la centrale SPE de l'ARBAA et sa Principe de fonctionnement et on a fait une description pour ses structures, et on va voir le fonctionnement de système de refroidissement NORIA dans le chapitre suivant.

# Chapitre 2

*Fonctionnement du système de refroidissement*

*NORIA*

## 2.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter le principe de fonctionnement du système de refroidissement sur lequel porte notre travail. C'est un système de type NORIA dont le rôle est de refroidir l'air circulant à l'intérieur de l'alternateur, ainsi que l'huile de graissage pour assurer un bon rendement de la Turbine à Gaz (TG).

## 2.2 Présentation du système

Le système de réfrigération NORIA refroidit l'air circulant à l'intérieur de l'alternateur, ainsi que l'huile de graissage des paliers portant le groupe Turbine à Gaz, à l'aide d'une unité aéroréfrigérant.

Le moyen intermédiaire de réfrigération est l'eau déminée traitée avec des glycols évitant le givrage et un inhibiteur de corrosion, injectés à l'aide d'une bêche d'injection chimique.

Le système est principalement composé de (Figure 2.1) :

- ✓ Deux (2) pompes de circulation de l'eau réfrigérée avec deux moteurs électriques, ayant chacune une capacité égale à 100% de la capacité totale nécessaire. Pendant le fonctionnement nominal du système, une pompe sera en marche tandis que l'autre reste en secours.
- ✓ Une unité aéroréfrigérant avec deux cellules de ventilation ayant chacune une capacité égale à 66% de capacité de charge.
- ✓ Un réservoir d'eau déminéralisée appelé bêche haute, de 1.5 m<sup>3</sup>.
- ✓ Une bêche d'injection chimique de 30 litres.
- ✓ Des tuyauteries et des soupapes.
- ✓ Et une instrumentation nécessaire pour les mesures...

La tuyauterie du système de réfrigération est projetée conformément aux normes ANSI [2].



**Figure 2.1** : Système de refroidissement NORIA

### 2.2.1 Interfaces

Le système de réfrigération de l'alternateur est lié avec les systèmes suivants :

- Système de refroidissement du générateur (échangeurs de chaleur air à l'eau)
- Système de refroidissement de l'huile de graissage (échangeurs de chaleur huile à l'eau)
- Système de distribution eau déminée.

### 2.2.2 Description fonctionnelle

L'eau nécessaire à réfrigérer le générateur ainsi que l'huile de graissage doivent être refroidis, dans un cycle fermé, à l'aide de réfrigérateurs air/eau et de réfrigérateurs huile/eau.

Le système de réfrigération NORIA, pourvoit à la circulation et la réfrigération de l'eau nécessaire au travail.

L'eau a fait circuler par deux pompes de travail 100% et réfrigérée par une unité aéroréfrigérant.

Suivant la Figure 2.2 qui présente une vue de l'Interface Homme Machine (IHM) du système NORIA avec des points de repères notés de (1) à (6), nous allons détailler le fonctionnement de ce système comme suit [2] :

- La pompe qui est en service **(1)** débite l'eau déminée vers les échangeurs de chaleurs à une pression d'environ 3.6 bar et à une température qui dépend de la température de l'air ambiant et qui soit inférieure à 45°C.

- L'eau déminée se divise entre les quatre échangeurs de chaleurs (air/eau) (2) qui servent à refroidir l'alternateur et les deux échangeurs de chaleurs (huile/eau) (3) qui servent à refroidir l'huile de graissage des paliers portant l'alternateur et la turbine à gaz.
- Après l'échange thermique, l'eau passe par les aéroréfrigérants (ventilateurs) (4) à une pression d'environ 2.5 bar et à une température plus élevée par rapport à celle de l'entrée aux échangeurs. Les aéroréfrigérants fournissent un débit d'air qui permet de baisser la température de l'eau de refroidissement d'environ 5°C.
- La bêche haute (5) fournit l'eau déminée en cas de pertes dans le circuit fermé.
- Et enfin, l'eau déminée sera purifiée par les filtres (6) avant d'être aspiré par la pompe.

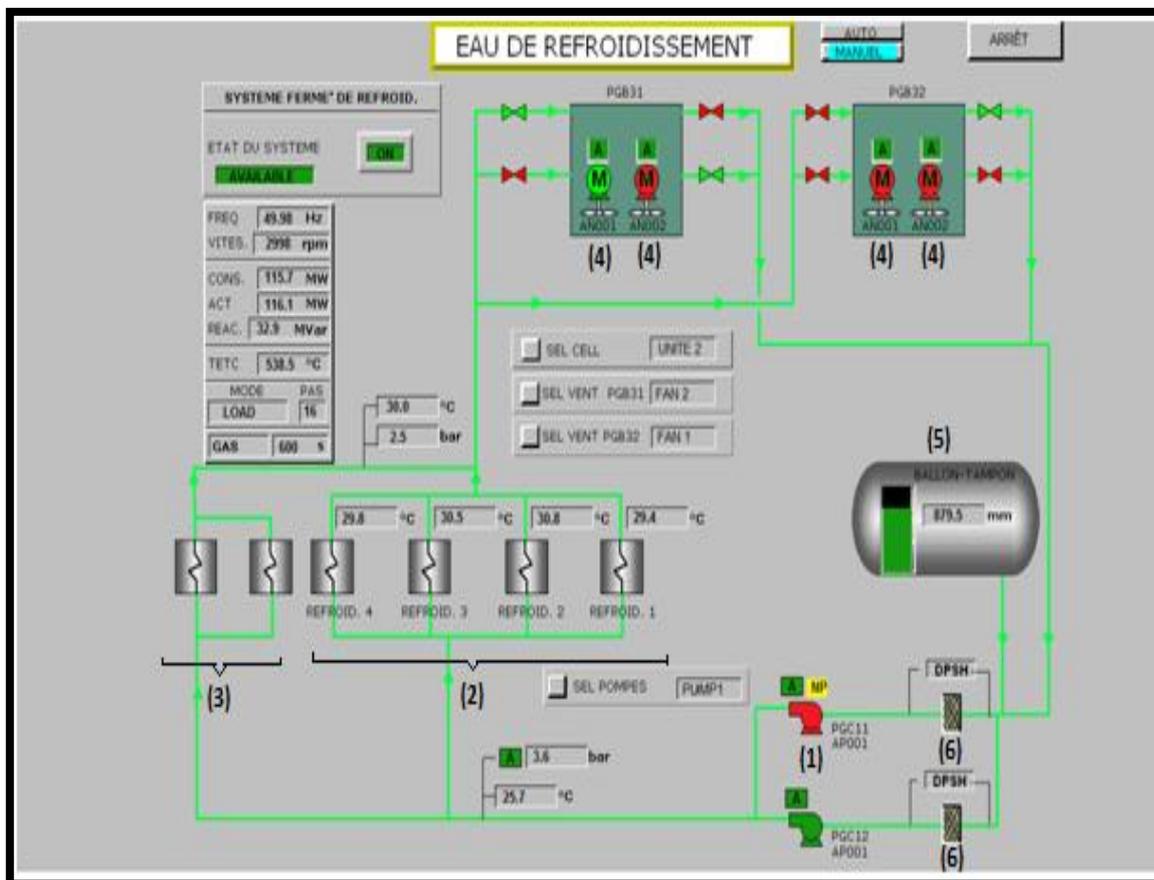
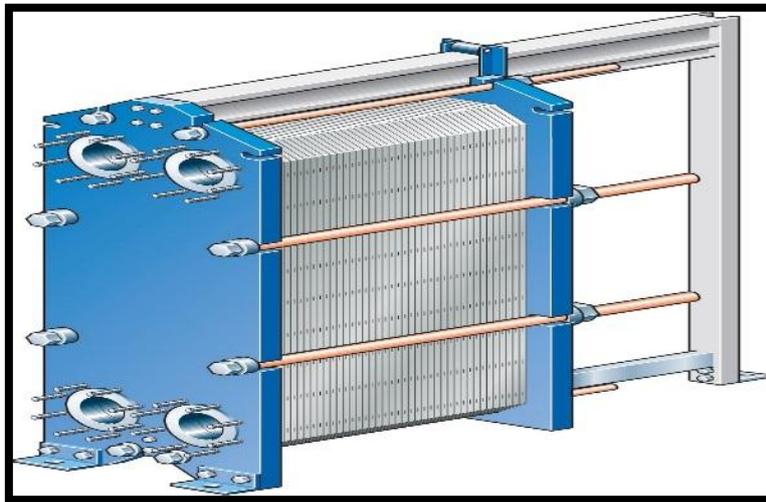


Figure 2.2 : Interface homme machine du système NORIA.

**a) Echangeurs de chaleurs huile/eau**

L'échangeur de chaleur à plaques est constitué d'un ensemble de plaques métalliques embouties au travers desquelles s'effectue le transfert de chaleur entre deux fluides.

Les plaques sont positionnées dans un bâti comprenant une partie fixe et un plateau de serrage mobile et sont comprimées au moyen de tirants latéraux. Un joint par plaque assure l'étanchéité du canal ainsi que la répartition des fluides dans les canaux formés par deux plaques. Les corrugations des plaques favorisent la turbulence des fluides et assurent une bonne tenue à la pression différentielle (figure 2.3).



**Figure 2.3** : L'échangeur huile/eau

La plaque A est positionnée avec les chevrons pointant vers le bas et la plaque B est positionnée avec les chevrons pointant vers le haut (figure 2.4).

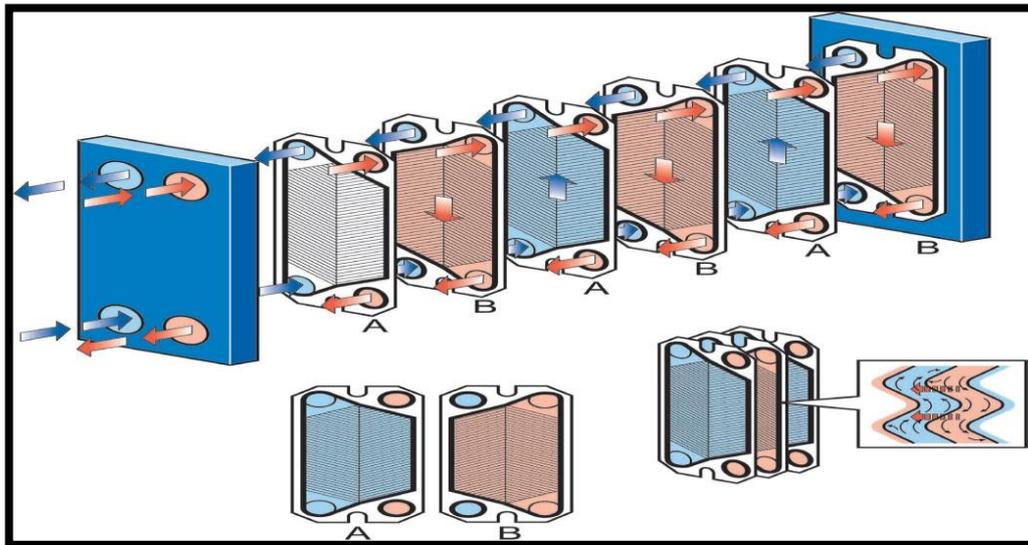


Figure 2.4 : les plaques métalliques de L'échangeur

### b) Echangeurs de chaleurs air/eau

Deux ventilateurs axiaux attelés à l'arbre assurent la circulation d'air dans le générateur pour son refroidissement. Cet air est refroidi dans les quatre échangeurs air-eau qui sont situés à l'intérieur de la carcasse. La chaleur est cédée à l'eau du circuit de refroidissement, qui est refroidie, elle-même, dans un circuit extérieur par des ventilateurs noria (Fig2.5) [1].

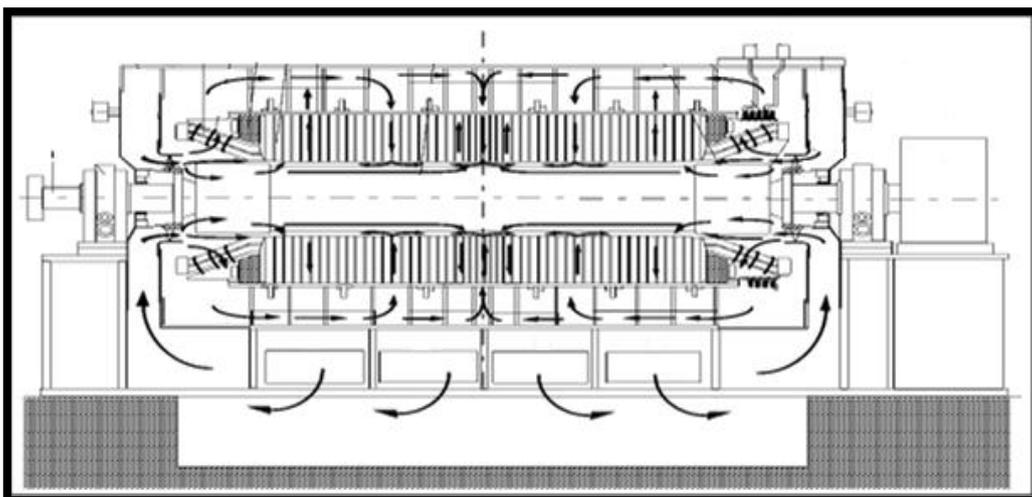


Figure 2.5 : L'échangeur air/eau

### 2.2.3 Le schéma PID (Piping and Instrumentation Diagram)

C'est un schéma détaillé d'un système qui utilise des symboles normalisés. Il comporte des codes utilisés dans la centrale pour identifier chaque équipement ou instrumentation du système.

Ce schéma est utilisé principalement pour comprendre le fonctionnement du système et l'enchaînement des équipements (montage en série ou en parallèle). Les symboles indiquent les types des équipements ainsi que la façon d'apercevoir les mesures (sur site ou dans la salle de commande).

Nous avons donc utilisé le schéma PID du système de refroidissement NORIA (voir ANNEXE A) pour comprendre son fonctionnement générale.

## 2.3 Exigences d'automatisation

L'instrumentation pour la salle de contrôle, le panneau local ainsi que pour la supervision locale de champ, est pourvue en conformité aux définitions du P&ID relatif.

### 2.3.1 Contrôles et verrouillages

Le contrôle et le verrouillage des instrumentations du système de refroidissement NORIA est comme suit :

- Pour la logiques de contrôle (en boucle fermée), il n'y a aucune logique de contrôle qui est fournie pour ce système .
- Pour le verrouillages (en boucle ouverte), il y a un verrouillage des instrumentations décrit comme suit :

#### a) Pompes de circulation

- ✓ **Marche/arrêt manuel** : à partir de la salle de contrôle
- ✓ **Mise en marche automatique** : de la pompe sélectionnée en secours, en cas de déclenchement de l'autre pompe.
- ✓ **Arrêt de sécurité** : en cas d'un très bas niveau dans la bache haute, retardé de 20 secondes ou en cas de basse pression relative sur la conduite de refoulement retardé de 2 secondes (dans ce cas la pompe en secours se mets en marche et le

signal d'arrêt de sécurité doit être inhibé pendant 10 secondes afin de prévenir l'arrêt immédiat de la pompe en secours).

- ✓ **Permissifs pour mise en marche** : dans le cas où le niveau de la bache haute n'est pas en bas niveau.
- ✓ **Permissifs pour l'arrêt** : dans le cas où l'autre pompe est en service ou que le GT est à l'arrêt.

#### b) Moteurs des ventilateurs

- ✓ **Mise en marche automatique** : l'ordre de marche du moteur de ventilateurs sera choisi par l'opérateur, avec un sélecteur, choisi dans le tableau suivant :

Ventilateurs qui démarrent automatiquement par la pompe de circulation en marche	Ventilateur qui est en service quand la température de l'eau est haute	Ventilateur qui est en service en cas de déclenchement des autres ventilateurs
1 & 3	2	4
3 & 2	4	1
2 & 4	1	3
4 & 1	3	2

**Tableau 2.1** : L'ordre de marche des ventilateurs

- Fonctionnement :
  - Le premier ventilateur et le second, avec un temps de retard de 3 secondes, démarrent avec un signal impulsif quand il démarre la pompe de circulation.
  - Quand la température de l'eau aux utilisateurs est au-dessus de 15°C, le troisième ventilateur sera démarré si la pompe de circulation est en marche depuis 60 secondes.
  - Il est arrêté quand la température de l'eau aux utilisateurs est au-dessous de 10°C.
  - Le quatrième ventilateur est en secours et il démarre en cas de déclenchement de l'autre ventilateur, est possible démarre ou fermée le quatrième ventilateur manuellement (si désirée).
  - Le deuxième ventilateur est arrêté si la température de l'eau aux utilisateurs est au-dessous de 8°C et il démarre encore quand la température de l'eau aux utilisateurs est au-dessus de 12°C.

- ✓ **Arrêt automatique** : si le GT n'est pas en marche et quand la température différentielle entre la sortie et l'admission des utilisateurs est inférieure à 15°C (afin d'empêcher la condensation du côté d'air de refroidisseur du générateur) et si les deux pompes de circulation d'eau sont arrêtées de 60 S. Ces signaux d'arrêt portent à l'arrêt tous les ventilateurs simultanément [2].
- ✓ **Arrêt de sécurité** : en cas de vibration élevée du ventilateur.
- ✓ **Marche/arrêt manuel** : à partir de la salle de contrôle
- ✓ **Permissifs pour mise en marche** : grâce à une soupape en entrée et à la soupape correspondant en sortie ouverte.
- ✓ **Permissifs pour l'arrêt manuel** : lorsque le GT est à l'arrêt (vitesse < 27 rpm) ou deux autres ventilateurs sont en marche.

### 2.3.2 Protections

Le système de réfrigération NORIA est doté des protections suivantes :

- Une série de filtres pour la mise en marche sur le tuyau d'aspiration des pompes, afin de protéger les pompes des débris.
- Des joints d'expansion, là où requis du calcul structural de tuyauteries.

### 2.3.3 Alarmes

Les alarmes du système de réfrigération NORIA sont produites pour les paramètres principaux et les variables du processus, afin d'alerter l'opérateur en cas de possibilité de conditions opérationnelles dangereuses. Ils sont illustrés sur le P&ID relatif.

## 2.4 Autres exigences

Les conduites d'aspiration des pompes de circulation de l'eau doivent être mises en place de façon à minimiser les pertes de charge dues aux frottements.

Toutes les tuyauteries et les composants doivent être placés de façon à permettre une vidange complète et les soupapes manuelles doivent être installées dans une zone accessible de façon à faciliter le fonctionnement et l'entretien.

La bâche haute doit être installée de façon à ce que le niveau normal soit plus haut du sommet de l'unité aéroréfrigérant.

Toutes les tuyauteries du système seront peintes, si ce n'est pas indiqué autrement [2].

## 2.5 Problématique

Dans le système étudié, les turbines à gaz sont refroidies par quatre ventilateurs selon le principe suivant :

- Trois ventilateurs travaillent en parallèle et le quatrième est considéré comme une ventilation de sécurité, c'est à dire qu'elle fonctionne en cas de panne selon le système standard de refroidissement NORIA des turbines à gaz.
- Ce système fonctionne normal toute l'année sauf pendant la saison d'été où on est confronté à un problème de refroidissement. En fait, la température élevée de l'été posera un problème de refroidissement des turbines à gaz car les trois ventilations ne suffisent plus malgré le refroidissement pris en charge par les trois ventilateurs.
- Le quatrième ventilateur ne démarre pas pour aider le système de refroidissement des turbines à gaz sauf en cas de panne de l'un des trois ventilateurs. Ceci va mettre les trois ventilateurs dans une état de charge à cause d'une température élevée. Et donc va mal influencer le bon travail des turbines et qui va baisser leur rendement.

## 2.6 Solution proposée

Pour aider le système pendant l'été (température élevée), nous avons proposé une modification dans le programme de telle façon que le quatrième ventilateur soit intégré dans le fonctionnement du système de refroidissement des turbines à gaz dans le cas de hautes températures et bien sûr, fonctionne toujours en cas de panne.

Nous avons aussi proposé une autre façon de refroidir grâce à un système d'arrosage qui va aider beaucoup le système de refroidissement des turbines dans le but d'améliorer le rendement.

## 2.7 Caractéristiques des composants principaux

Le tableau suivant représente les caractéristiques des composants utilisés dans la simulation de la solution proposée :

Quantité	Composant	Caractéristique	Image
1	Zelio logic SR3B261BD	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tension d'alimentation : 24 V c.a.</li> <li>• Type de sortie : Relais</li> <li>• Nombre de sorties : 10</li> <li>• Type d'entrée : Discret</li> <li>• Nombre d'entrées : 16</li> <li>• Type de montage : Rail DIN</li> <li>• Afficheur inclus : Oui</li> <li>• Largeur : 90mm</li> <li>• Profondeur : 59.5mm</li> <li>• Longueur : 125mm</li> <li>• Dimensions : 125 x 90 x 59,5 mm</li> <li>• Type de raccordement : Vis</li> <li>• Langage de programmation utilisé : FBD, Logique d'échelle</li> <li>• Interface de programmation : Ordinateur, Panneau de commande</li> <li>• Type de module : Module de contrôle logique</li> </ul>	
4	Ventilateur	12V DC	

<p>4</p>	<p>Capteurs vibration</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisant un point de vue très sensible comme commutateur de capteur SW-520D</li> <li>• Le signal de sortie du comparateur est propre, bonne forme d'onde, capacité de conduite, plus de 15mA</li> <li>• La tension de fonctionnement de 3.3 V-5 V</li> <li>• Le format de sortie : sorties de commutation numériques (0 et 1)</li> <li>• Trous de boulon pour l'installation facile</li> <li>• Petite taille de carte PCB : 3.2 cm x 1.4 cm</li> <li>• En utilisant un comparateur LM393 à large tension</li> <li>• Indicateur d'alimentation (rouge) et sortie de commutateur numérique Indicateur (vert)</li> </ul>	
<p>1</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calibré directement en Celsius (Celsius)</li> <li>• Facteur d'échelle linéaire + 10 mV / ° C</li> <li>• 0,5 ° C Précision assurée (à 25 ° C)</li> <li>• Conçu pour une plage complète de -55 ° C à 150 ° C</li> </ul>	



12	LED	24 V	
18	Resistance	1.5 K $\Omega$ – 1 K $\Omega$	
7	Botton	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marche (1)</li> <li>• Arrêt d'urgence (6)</li> </ul>	
-	Fils électriques		
-	La tuyauterie		

**Tableau 2.2 :** Les composants utilisés dans la simulation

## 2.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté tout d'abord le fonctionnement du système de refroidissement NORIA et les exigences automatiques de ce système. Puis, nous avons exposé la problématique de ce système et la solution proposée avec les composants à utiliser par la suite dans notre travail .

# Chapitre 3

*Réalisation et tests*

### 3.1 Introduction

Ce troisième chapitre est consacré à la réalisation pratique ainsi qu'aux tests accomplis. Pour cela, nous avons divisé notre travail en deux parties, comme suit :

- La première partie présente le travail que nous avons réalisé pour le compte de la centrale de l'ARBAA. Nous présenterons donc les améliorations que nous proposons dans leur système de refroidissement NORIA.
- La deuxième partie est consacrée à la présentation et la réalisation pratique d'une maquette qui simule le fonctionnement du système de refroidissement. Elle sera gérée grâce à un API de type Schneider SR3B261BD qui assurera le fonctionnement de quatre ventilateurs et un système d'arrosage.

### 3.2 Présentation de l'automate programmable ABB

ABB (sigle d'ASEA Brown Boveri) est une entreprise helvético-suédoise dont le siège social est basé à Zurich, en Suisse. Elle est un acteur majeur des technologies de l'énergie et de l'automation.

Présente dans près de 100 pays, avec environ 136 000 collaborateurs (2017) et un chiffre d'affaires de 33,8 milliards de dollars US (2016), ABB est l'une des plus grandes sociétés d'ingénierie, mais aussi l'un des plus grands conglomérats du monde [7].

ABB offre une gamme complète d'API évolutifs et de terminaux opérateurs IHM solides, ainsi que des solutions haute disponibilité. C'est pour cela, que la SPE a choisi de compter sur l'automate ABB pour gérer son système de refroidissement NORIA.

Parmi les avantages des variateurs ABB, nous pouvons citer :

- ✓ Économies substantielles d'énergie
- ✓ Contrôle optimal des procédés
- ✓ Réduction des besoins en maintenance
- ✓ Mise à niveau efficace du système
- ✓ Simples à installer et mettre en service

- ✓ Simples à acheter
- ✓ Simples à choisir
- ✓ Simples à utiliser

### 3.2.1 L'automate BRC-300

La centrale SPE l'Arbaa travaille avec l'automate BRC-300, c'est un régulateur de processus à performance élevée et de grande capacité.

C'est un régulateur à cadre conçu pour se connecter par interface à l'E/S (Entrée–Sortie) du bloc Harmony et à l'E/S du cadre Harmony de la Gestion d'Entreprise Symphonie™ et le Système de Commande.

Il se compose d'une plaque frontale et une carte de circuit imprimé. Sur cette dernière, on trouve une mémoire à accès sélectif non-volatile (NVRAM), une mémoire à accès sélectif statique (DRAM), une mémoire flash (ROM), un microprocesseur fonctionnant à 160 MHz, des circuits d'accès direct mémoire (DMA), des circuits d'accès de jeu de barres faits sur commande ABB, des circuits de redondance et divers circuits de soutien (Figure 3.1).



**Figure 3.1 :** L'automate programmable BRC-300

### 3.2.2 Caractéristiques de BRC-300

Les caractéristiques de l'automate BRC-300 sont les suivantes :

- **Mémoire :**
  - DRACHME : Total : 8 Mo disponible : 7.56 Mo
  - NVRAM: Total: 512 Ko disponible: 415 Ko
  - Flash ROM: Total: 2 Mo
- **Exigences de puissance Régulateur :** 5 VCC à 2 A ; 10 W typiquement
- **Liaison de communication du régulateur redondant :** 4 MHz par octet par seconde (fonctionnement normal)
- **Programmable :** FCs, C, Batch 90, Codes de Fonctions définies par utilisateur (UDF)
- **Dimensions régulatrices :** 35.56 mm largeur, 177.80 mm hauteur, 298.45 mm longueur (1.40 po. largeur, 7.00 po. hauteur, 11.75 po. longueur)
- **Poids régulateur :** 0.70 kg (24.69 onces)
- **Température de l'ambient :** 0° à 70°C (32° à 158°F)

### 3.3 Schéma synoptique

La Figure 3.2 présente le schéma synoptique qui explique le fonctionnement du système actuel de refroidissement NORIA disponible au niveau de la SPE de l'Arbaa.

La température d'huile de graissage et l'air de refroidissement augmentent dans le générateur (1) à cause de la rotation d'arbre de la turbine. Cette augmentation de la température diminue alors le rendement de la production électrique.

Afin de la diminuer, les échangeurs de chaleur air/eau et huile/eau (2) contrôlent alors le processus de réduction de la température.

Les données recueillies par le capteur mesurant la température de l'eau (3) sont alors transmises vers l'automate programmable (4) qui à son tour, va commander le système de réfrigération (5) représenté par les 4 ventilateurs.

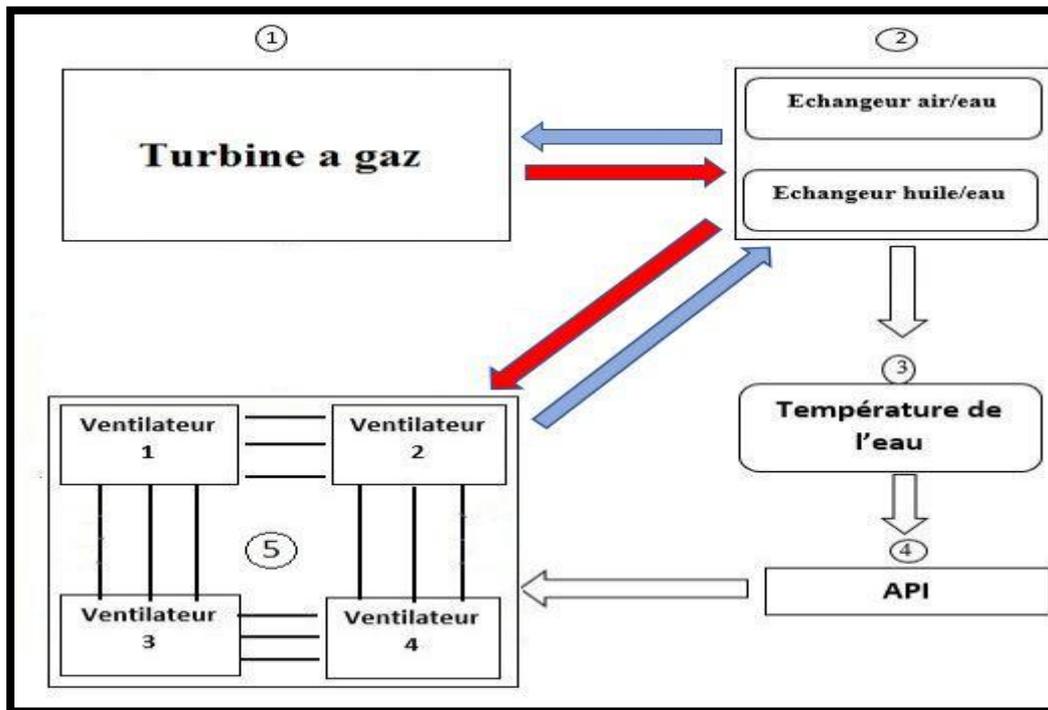


Figure 3.2 : Schéma synoptique de système de refroidissement NORIA

### 3.4 Fonctionnement actuel du système de refroidissement

Avant de présenter notre proposition pour l'amélioration du fonctionnement du système de refroidissement NORIA étudié, nous allons tout d'abord présenter les caractéristiques du programme actuel utilisé au sein de la SPE L'Arbaa.

Il est à rappeler que le système actuel fonctionne **seulement** avec 3 ventilateurs et que le fonctionnement du 4<sup>ème</sup> ventilateur ne se déclenche qu'en cas de défaillance de l'un des trois autres ventilateurs.

#### 3.4.1 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement des trois ventilateurs est comme suit :

- Le 1<sup>er</sup> ventilateur démarre avec le déclenchement de la pompe.
- Le 2<sup>ème</sup> ventilateur est alors déclenché après 60 s du démarrage de la pompe et dès que la température de l'eau d'admission dépasse 15°C.
- Alors que le 3<sup>ème</sup> ventilateur se met en marche lorsque la température de l'eau d'admission dépasse les 22 °C et que la différence entre cette dernière et la température ambiante dépasse les 6°C.

La Figure 3.3 présente le schéma fonctionnel correspondant.

- Il est à noter que la mise en arrêt des 2 ventilateurs (2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup>) se fait suivant l'un des cas possibles suivants :
  - Signal d'arrêt manuel
  - Ou bien la température d'eau d'admission est inférieure à 10 °C
- Et dès qu'une vibration est ressentie sur l'un des trois ventilateurs mis en marche, un arrêt d'urgence est activé automatiquement, et le 4<sup>ème</sup> ventilateur d'urgence rentre alors en fonctionnement.

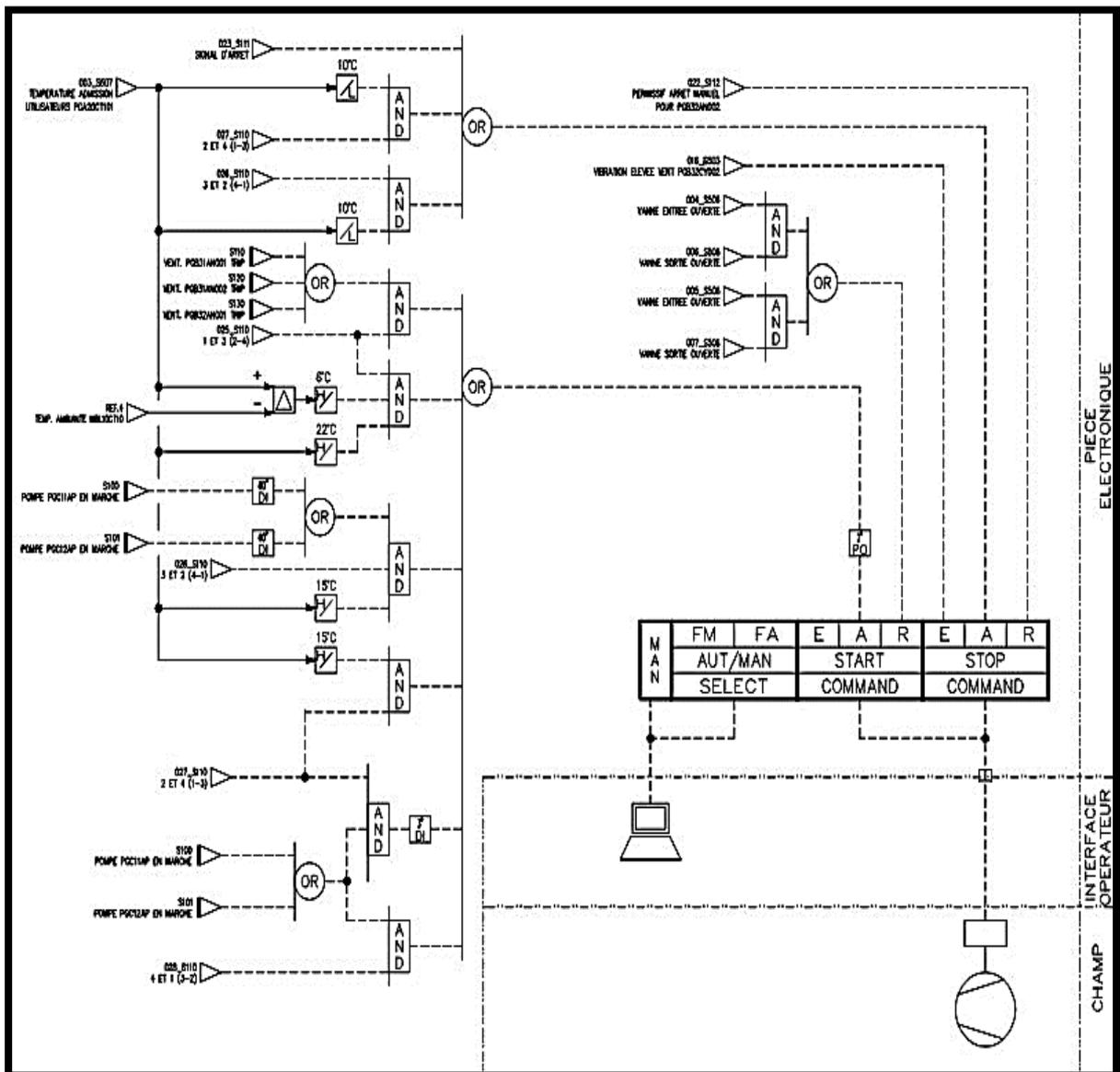


Figure 3.3 : Schéma fonctionnel du système actuel

### 3.4.2 Présentation de l'interface PGP actuelle

La Figure 3.4 présente une vue générale de l'interface graphique développée sous PGP, qui gère le fonctionnement du système de refroidissement NORIA au sein de la SPE de l'Arbaa.

Cette interface qui est gérée par un opérateur présent au niveau de la salle de contrôle, affiche toutes les valeurs nécessaires pour le contrôle et la commande de la station.

Ainsi, en plus de la température et de la pression d'eau du circuit de refroidissement, de la vitesse de rotation de la turbine à gaz, on trouve aussi les éléments suivants :

- L'état de fonctionnement des 4 ventilateurs (marche/arrêt).
- L'état de fonctionnement des 2 pompes.
- L'état actuel des échangeurs.
- Le niveau d'eau de la bache d'eau qui alimente le circuit de refroidissement.
- La position des tuyaux de circulation de l'eau de refroidissement.
- L'état des vannes (ouvert/fermé).

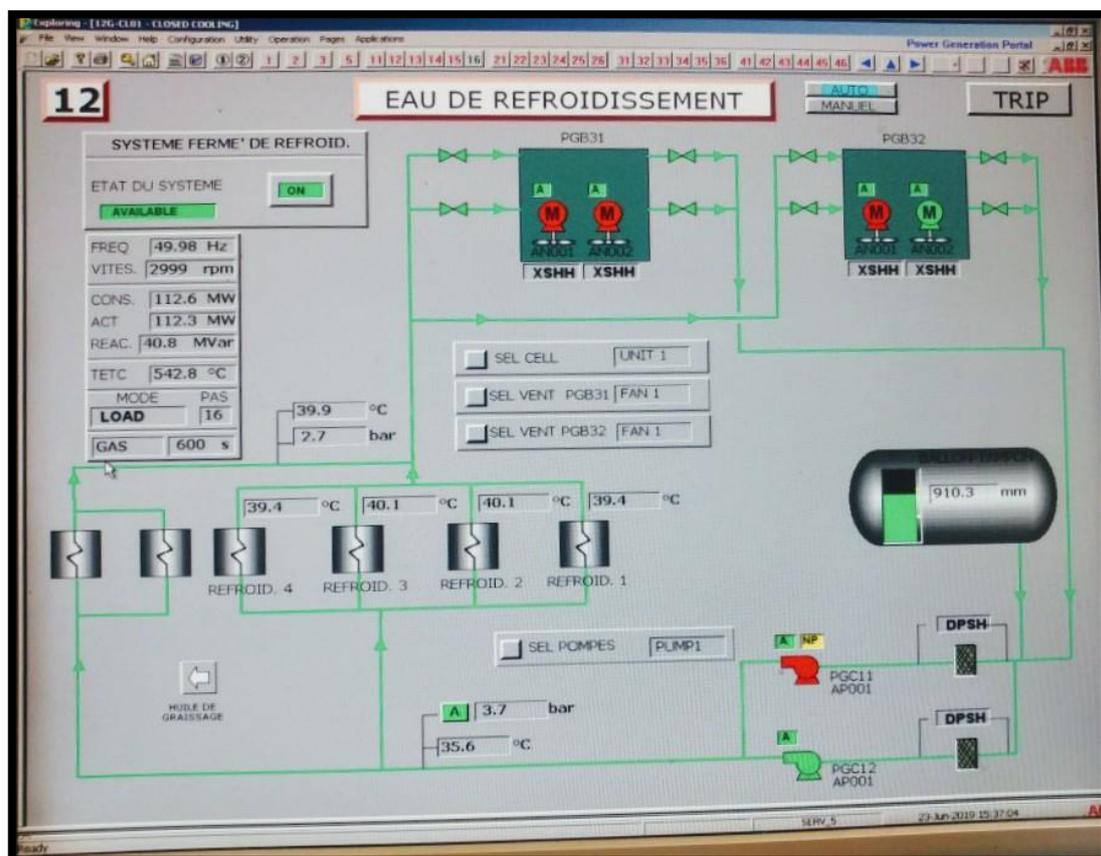


Figure 3.4 : Interface de fonctionnement actuel sous PGP

### 3.5 Amélioration introduite pour le système de refroidissement

Nous allons maintenant présenter notre contribution d'amélioration pour le système de refroidissement étudié (Figure 3.5).

Cette contribution s'est faite en 2 étapes :

- 1<sup>ère</sup> étape : Nous avons introduit des modifications sur le programme de telle façon que le quatrième ventilateur se met en service quand la température d'admission d'eau dépasse les 42 °C, et s'arrête si la température d'admission est inférieure à 38°C. Tout en gardant sa fonctionnalité précédente qui n'est autre que le fonctionnement en cas d'urgence.
- 2<sup>ème</sup> étape : Nous avons constaté aussi que même si les 4 ventilateurs sont en marche en même temps et que la température augmente continuellement, on risque de voir le rendement de notre système global qui diminue beaucoup. Pour cela, nous avons pensé à ajouter un système d'arrosage qui se déclenchera lorsque la température d'eau d'admission dépassera les 45°C, et s'arrêtera quand la température d'admission descendra au-deçà de 40 °C ou si un arrêt manuel est déclenché. Ce système qui intègre donc une deuxième bêche d'eau utilisée seulement pour l'arrosage de notre système, doit fonctionner que si le niveau de cette dernière n'est pas au niveau bas.

**Note :** Le système d'arrosage réalise une pulvérisation d'eau sur les tuyaux de circulation de l'eau de refroidissement du système pour aider le processus de refroidissement d'eau admission dans le cas où la température est très élevée (figure 3.6).

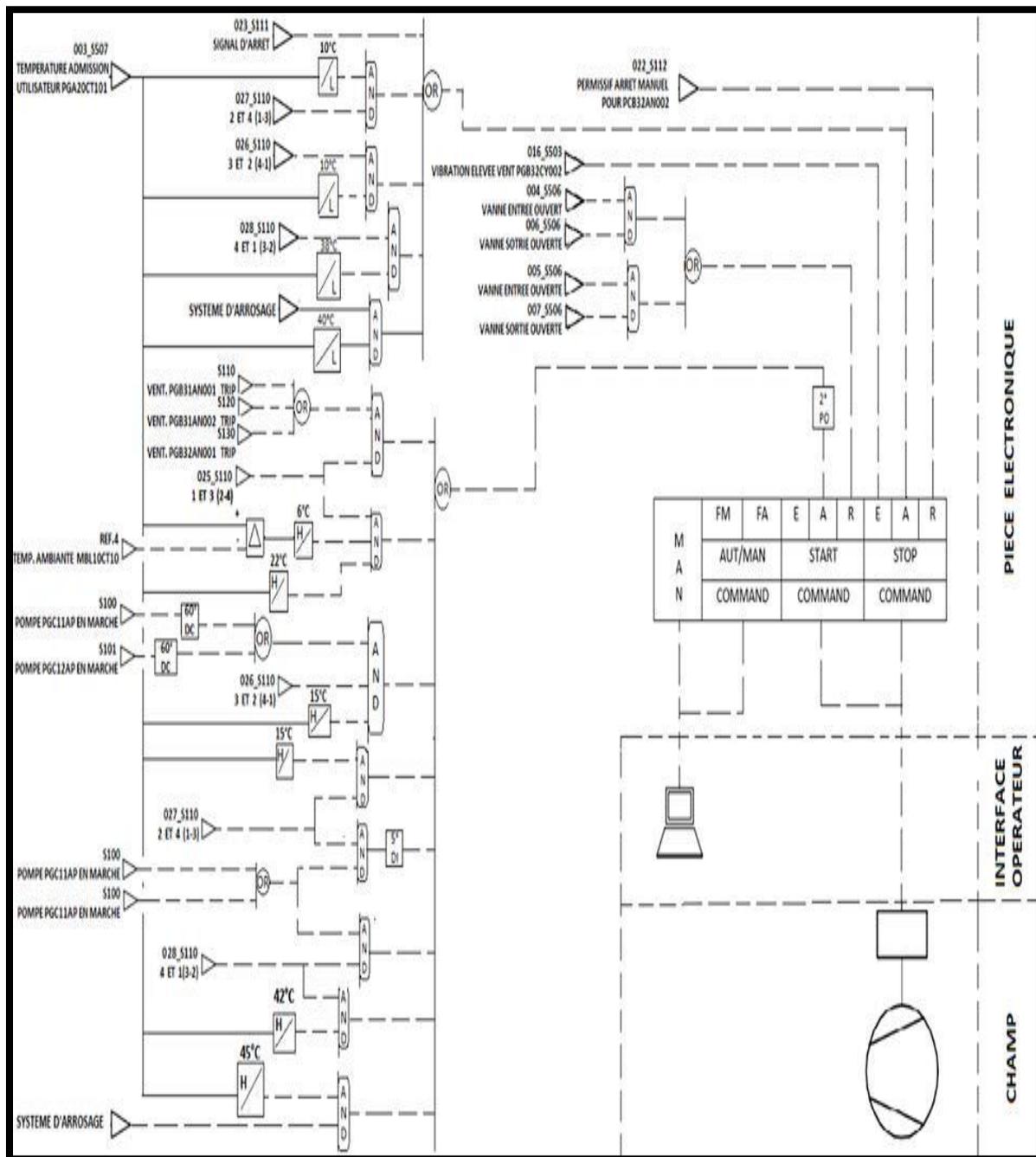


Figure 3.5 : Schéma fonctionnel amélioré avec mise en marche du quatrième ventilateur

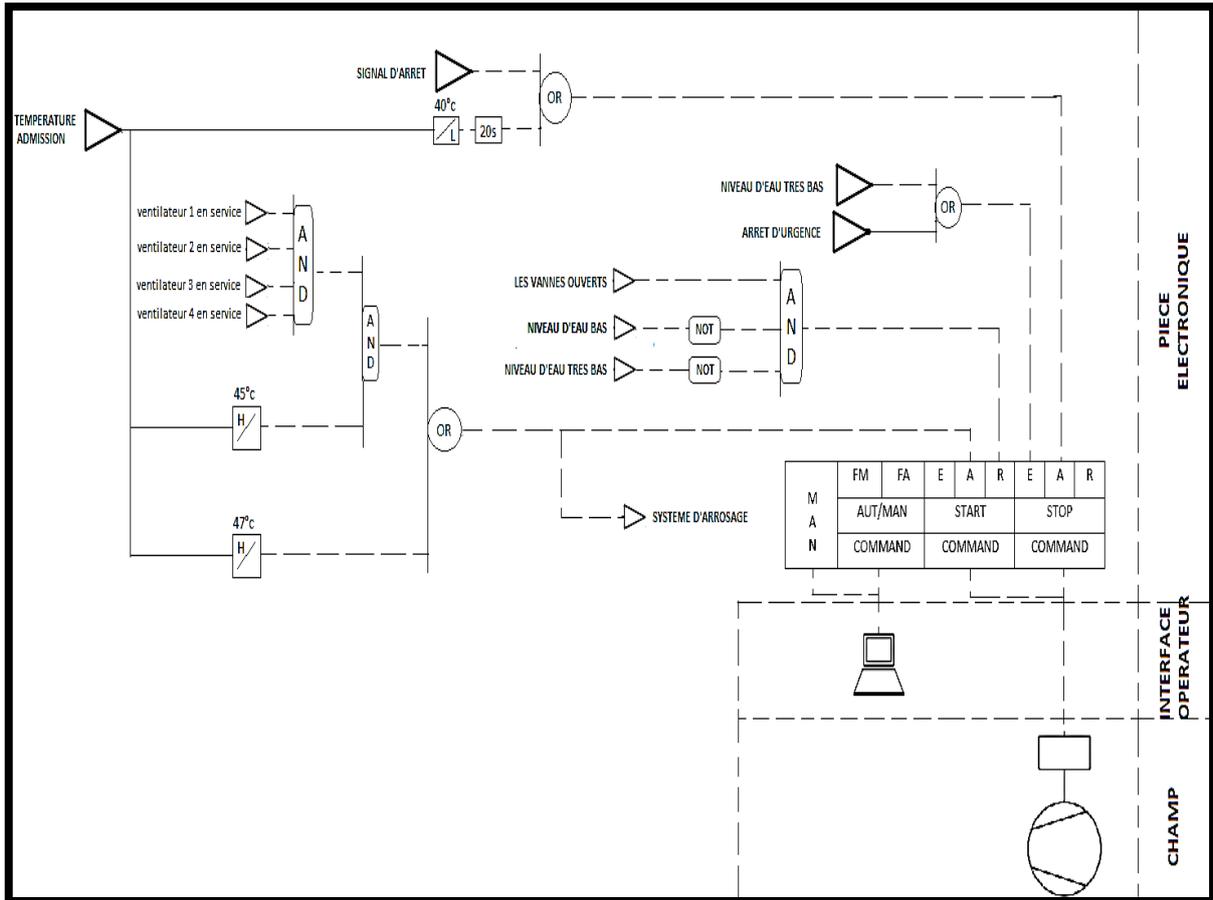


Figure 3.6 : Schéma fonctionnel du système d’arrosage

Le schéma fonctionnel présenté sur la Figure 3.7, présente le fonctionnement du remplissage de la bêche à eau intégrée à notre système amélioré.

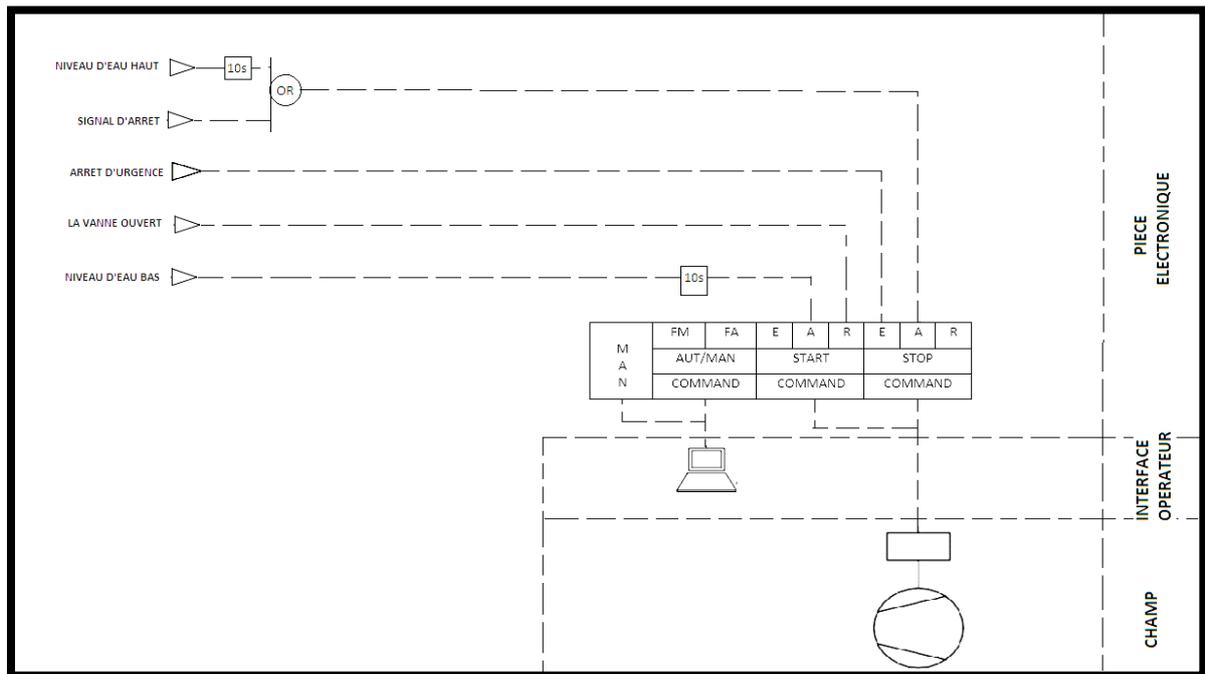


Figure 3.7 : Schéma fonctionnel du remplissage de la bêche à eau

Ainsi, le remplissage de la bêche à eau commence lorsque le niveau d'eau atteint le niveau bas fixé auparavant. Ce niveau bas est détecté grâce à un capteur de niveau d'eau pendant 10 secondes.

L'arrêt du remplissage est activé alors, lorsqu'un deuxième capteur de niveau d'eau détecte pendant 10 secondes que la bêche à eau a atteint son niveau haut. Un arrêt manuel du remplissage est aussi possible.

La Figure 3.8 présente l'interface développée sous PGP, que nous avons proposée à la société avec toutes les améliorations incluses dans le programme de fonctionnement.

Sur cette figure, nous remarquons l'ajout de l'icône représentant le niveau du ballon d'arrosage, l'état de fonctionnement de la pompe d'arrosage, l'état de la vanne d'arrosage, ainsi que les tuyaux d'arrosages supplémentaires présentés en bleu.

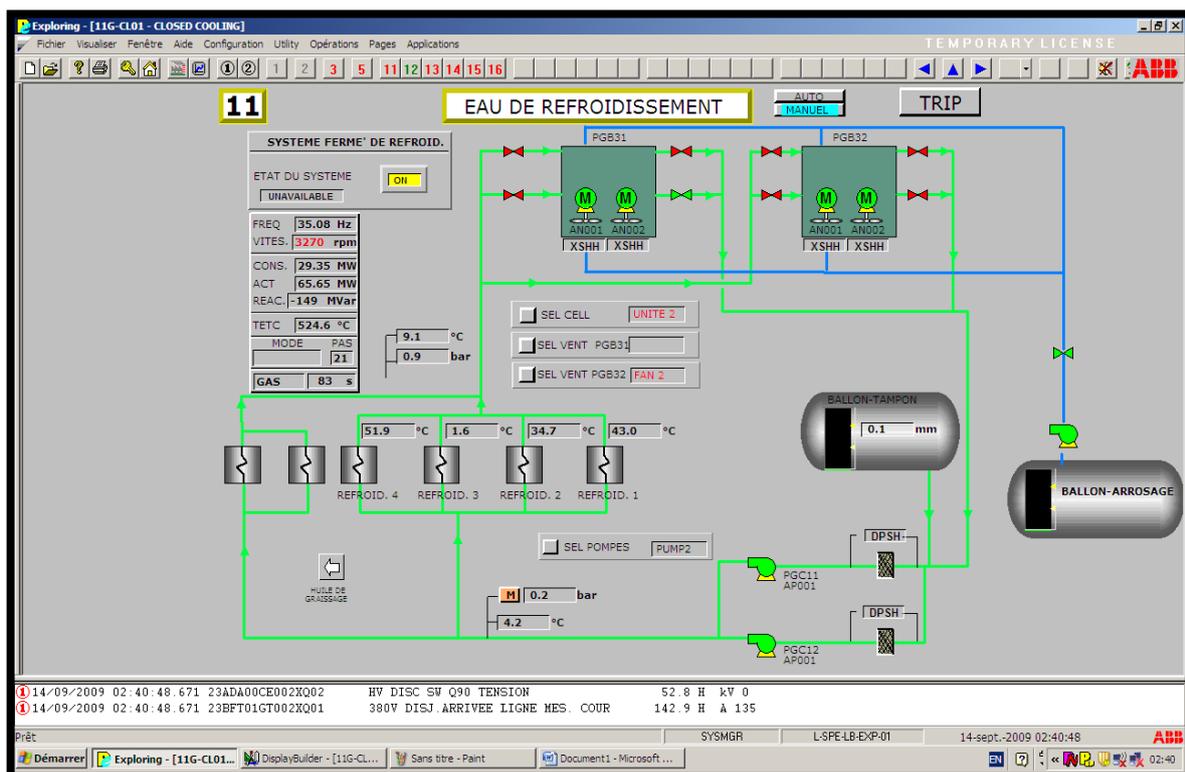


Figure 3.8 : Interface PGP du programme proposé

### 3.6 Réalisation Pratique d'une maquette de simulation

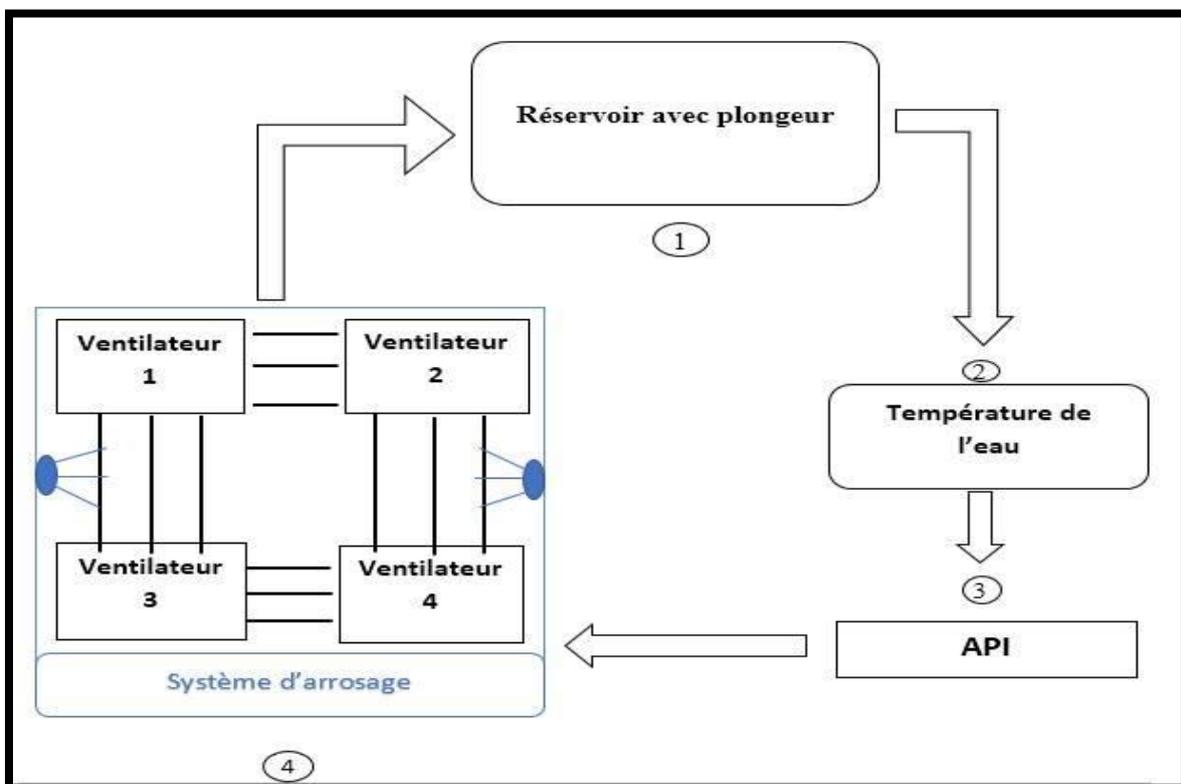
Comme nous avons été incapable de mettre en pratique notre proposition d'amélioration du système de refroidissement au niveau de la SPE de l'Arbaa, à cause de la clause de garantit qui lie la société au fournisseur.

Nous avons pris l'initiative de réaliser une petite maquette qui simule le fonctionnement de notre système de refroidissement NORIA et de tester alors notre programme amélioré.

Notre réalisation qui fonctionne en temps réel, utilise un automate programmable Schneider SR3B261BD (voir ANNEXE B ) programmé avec le Zelio soft 2 sous FBD pour commander le système réalisé .

Dans cette maquette on a donc utilisé un API de type Schneider Zelio à la place du BRC-300 et des ventilateurs fonctionnant à 12 V à la place de ceux présents au niveau de la Sonelgaz qui fonctionnent à 380 V.

La figure suivante représente le schéma synoptique expliquant le fonctionnement de la maquette que nous avons réalisée (Figure 3.9).



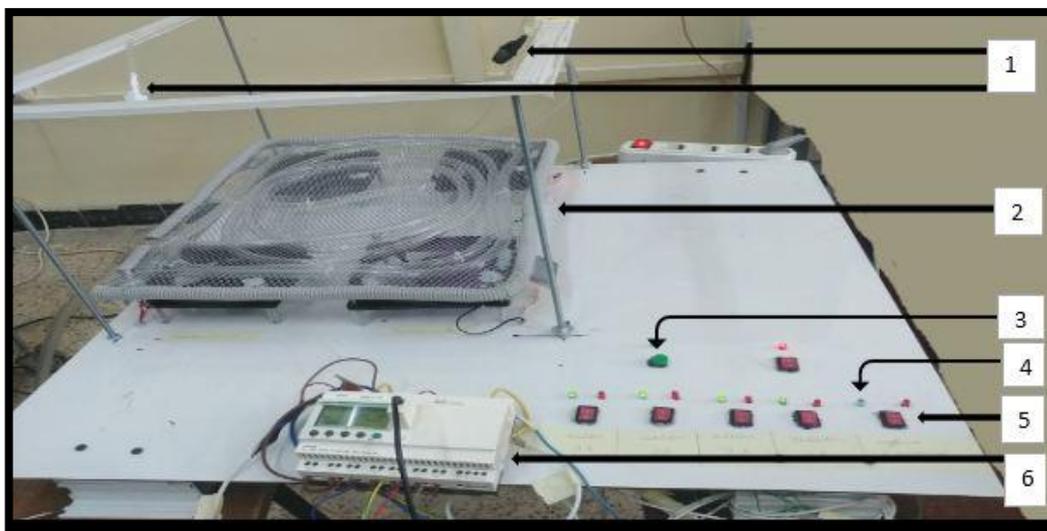
**Figure 3.9:** Schéma synoptique du système de refroidissement de la maquette réalisée

Nous remarquerons alors que la turbine à gaz a été remplacé ici par un réservoir d'eau (1) où on a plongé à l'intérieur un plongeur chauffant (une résistance chauffante) pour augmenter la température d'eau.

Pour mesurer la température de l'eau, nous avons fait appel à un capteur de type LM35 (2) qui permet d'envoyer un signal électrique analogique vers l'API (3).

Ce dernier traite le signal reçu selon le programme que nous avons développé sous Zelio et intégré à l'intérieur, et envoie donc un signal de commande vers les ventilateurs pour commencer la réfrigération d'eau et le système d'arrosage (4).

La Figure 3.10 présente la photo réelle prise de la maquette réalisée.



**Figure 3.10** : Photo réelle de la maquette réalisée

Où nous notons la présence des différents éléments suivants :

1. Le système d'arrosage présenté par 2 arrosoirs (1)
2. Les 4 ventilateurs avec le système de circulation d'eau de refroidissement au-dessus
3. Le Bouton marche global du système
4. Des LED montrant le fonctionnement (marche/ arrêt) des différents boutons d'urgence utilisés.
5. Les 6 boutons d'arrêt d'urgence (4 pour les ventilateurs, 1 pour le système d'arrosage et 1 pour l'arrêt d'urgence global du système)
6. L'API utilisé (Le programme développé est donné en Annexe C).

### 3.7 Tests réalisés

Une fois la maquette fonctionnelle, nous avons procédé à réaliser quelques tests pour vérifier le bon déroulement du programme que nous avons développé.

Pour cela, nous avons considéré les 3 cas de fonctionnement suivants :

- 1<sup>er</sup> cas : Système fonctionnant seulement avec 3 ventilateurs (représentant l'ancien système). Le 4<sup>ème</sup> ventilateur n'est en marche qu'en cas de panne de l'un des trois autres ventilateurs.
- 2<sup>ème</sup> cas : Système amélioré, fonctionnant avec les 4 ventilateurs.
- 3<sup>ème</sup> cas : Système amélioré, fonctionnant avec les 4 ventilateurs et le système d'arrosage intégré en plus.

Le tableau 3.1 présente donc les résultats expérimentaux obtenus avant et après l'amélioration pour différentes températures dans le réservoir d'eau chaude.

Où :

$T_i$  : présente la température initiale mesurée à l'intérieur du réservoir chauffé.

$T_f$  : la température mesurée à l'intérieur du réservoir chauffé après refroidissement.

$$\Delta T = T_i - T_f$$

Situations	1 <sup>er</sup> Cas		2 <sup>ème</sup> Cas		3 <sup>ème</sup> Cas	
	$T_f$	$\Delta T$	$T_f$	$\Delta T$	$T_f$	$\Delta T$
55 °C	51 °C	4	47 °C	8	44 °C	11
50 °C	45 °C	5	43 °C	7	39 °C	11
47 °C	43 °C	4	40 °C	7	36 °C	11

**Tableau 3.1** : Températures mesurées après refroidissement

- D'après les résultats obtenus, nous remarquons que le système fonctionne correctement et qu'il y a bien diminution de la température après le processus de refroidissement pour les trois cas.

- Cependant, nous remarquons que le 3<sup>ème</sup> cas présente une très grande réduction de la température à l'intérieur du réservoir chauffé, ce qui vient justifier la bonne initiative que nous avons prise, en intégrant ce système d'arrosage supplémentaire à notre système de refroidissement.

### 3.8 Conclusion

Dans ce chapitre, il a été question tout d'abord, de la présentation de la démarche suivie et proposée à la SPE de l'Arbaa pour l'amélioration du rendement de leur système de refroidissement NORIA. Pour cela, nous avons proposé un schéma fonctionnel avec toutes les améliorations portées et incluses ainsi que l'interface PGP correspondante.

Puis, nous sommes passé à la réalisation d'une maquette de simulation afin de pouvoir tester notre programme développé précédemment. Les tests obtenus sont très concluants et montrent l'efficacité de la méthodologie que nous avons suivie.

# Conclusion générale

Par le présent mémoire, nous avons mis l'accent sur le travail de l'unité SPE de L'ARBAA. En bénéficiant d'un accueil chaleureux des employés qui n'ont pas lésiné d'effort pour nous faciliter l'observation des différentes unités de l'entreprise, grâce à leurs orientations et informations précieuses. En revanche, au début de notre stage nous avons rencontré pas mal de difficultés d'intégration avec le milieu professionnel mais cela n'a pas duré longtemps. Nous avons pu apprécier et enrichir nos connaissances dans le monde du travail.

Dans notre projet nous avons apporté des améliorations sur le système de réfrigération NORIA actuel. Afin d'améliorer le processus de réfrigération de la turbine à gaz durant la saison d'été, nous avons proposé des modifications sur le programme initiale en intégrant le fonctionnement du 4<sup>ème</sup> ventilateur qui auparavant été dédié seulement à prendre la place d'un des trois autres ventilateurs lorsqu'une panne est détectée.

Une seconde amélioration a été proposée aussi, en ajoutant un système d'arrosage qui permet une pulvérisation des tuyaux de circulation d'eau, ce qui va améliorer encore le processus du système de refroidissement de la turbine.

Comme nous n'avions pas le droit d'implémenter notre programme sur le site réel, nous avons réalisé alors une maquette qui simule le fonctionnement de notre système de refroidissement avec les améliorations que nous avons proposées auparavant.

Le montage est fonctionnel et montre l'efficacité du programme que nous avons développé. Les résultats obtenus sont très satisfaisants. On note bien, une réduction de la température du système lorsque les 4 ventilateurs sont mis en marche en même temps et que le système d'arrosage soit déclenché. Cependant, il ne faut pas oublier que ceci va engendrer des dépenses supplémentaires représentant le coût d'installation du système d'arrosage ajouté.

En fin, nous pouvons dire que le refroidissement est un élément essentiel de nombreux processus industriels. L'évaluation des meilleures techniques disponibles pour les systèmes de refroidissement montre qu'il existe un rapport direct entre la gestion de la chaleur, le choix et l'exploitation du système de refroidissement et les émissions.

Ce système est donc encore ouvert à d'autres améliorations possibles, comme par exemple :

- On peut placer ce système dans une chambre avec une température réglable ou ajustable.

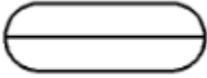
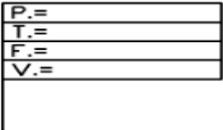
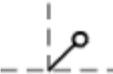
- Ou bien l'installer en sous-sol pour assurer un environnement plus froid

En conclusion, nous pouvons dire que ce travail nous a permis d'enrichir nos connaissances en travaillant au sein d'une véritable entreprise. Nous avons donc compris le fonctionnement du système, détecté ses défaillances et enfin essayé de trouver une solution pour les réduire.

# Bibliographie

- 
- [1] " Présentation du la société SONALGAZ ",document interne de la SPE .
- [2] " Présentation du le système de réfrigiration NORIA " document interne de la SPE .
- [3] Provenzano, " Description du systeme de réfrigération NORIA " , Ansaldo Energia le 10/09/2007 , modification par Provenzano le 21/09/2009.
- [4] PET/AVV, " Système de refrigeration noria procedure de mise en sercive " , Ansaldo Energia le 20/08/2008 , modification par G.MAJORANA le 10/09/2009 .
- [5] Components101, " sw-520d " , <https://components101.com/sensors/sw-520d-tilt-sensor-module> , consulté le 20-jun-19
- [6] Texas Instruments, " LM35 " , <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf> , SNIS159H –AUGUST 1999–REVISED DECEMBER 2017 ,consulté le 21-jun-19.
- [7] Fundacion para la formacion profesional , " Zelio soft " , <https://www.fundacionforpro.org/blog/introduccion-a-zelio-soft/> consulté le 21-jun-19.
- [8] Université Virtuelle de Tunis: UVT, " Langae FBD" [http://www.uvt.rnu.tn/resources-uvt/cours/Automates/chap2/co/Module\\_chap2\\_19.html](http://www.uvt.rnu.tn/resources-uvt/cours/Automates/chap2/co/Module_chap2_19.html) ,consulté le 25-jun-19.
- [9] RIZZI , " I.F.C.D. systeme de refrigeration NORIA " ,Ansaldo Energia le 06/11/2007.

## La signification des symboles utilisés dans le schéma PID

Symbole	Signification	Symbole	Signification
	Pompe		Réservoir
	Ventilateur		Bâche
	Échangeur		Moteur
	En salle de contrôle		Local
	Filtre		Robinet à soupape NO
	Robinet à boule NF		Clapet de non-retour
	Robinet à boule NO		Vanne à papillon
	Identification du système		Condition de ligne.
	Changement du système.		Changement de ligne

---

	Réducteur		Dégagement
---	-----------	---	------------

La signification des symboles utilisés dans le schéma PID

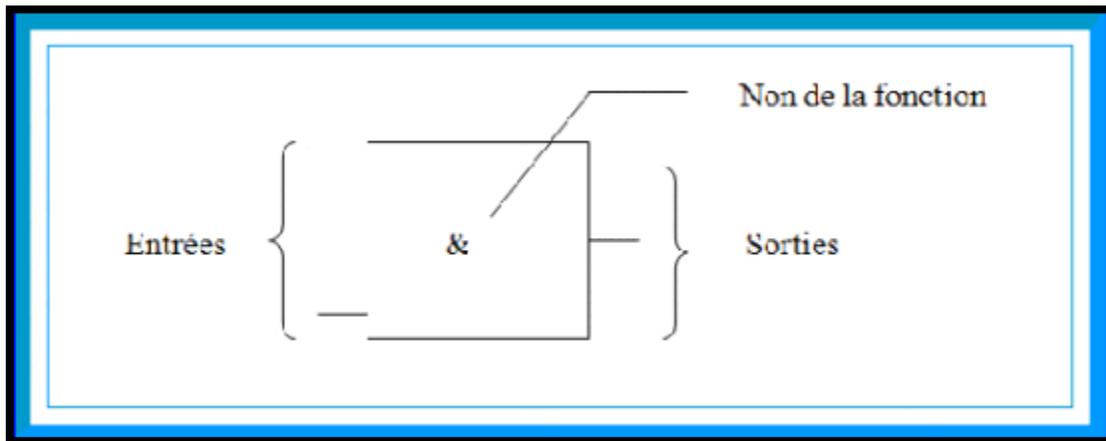


# ANNEXES

## ANNEXE B

Zelio est une gamme de relais autonomes intelligents ou pico-PLC (Programmable Logic Controller) comprenant des entrées numériques ou analogiques pour la connexion de capteurs, interrupteurs de fin de course, boutons poussoirs, interrupteurs, interrupteurs,..., etc. une série de sorties pour la connexion de contacteurs, lampes, valves, variateurs de vitesse,... et un écran pour afficher des textes à l'utilisateur.[7]

Le langage FBD (function block diagram) est un langage graphique. Il permet la construction d'équations complexes à partir des opérateurs standard, de fonctions ou de blocs fonctionnels.



**Figure B.1 :** Le langage FBD

Les principales fonctions sont :

- l'énoncé RETURN (peut apparaître comme une sortie du diagramme, si liaison connectée prend l'état booléen TRUE, la fin du diagramme n'est pas interprétée).
- Les étiquettes et les sauts conditionnels sont utilisés pour contrôler l'exécution du diagramme. Aucune connexion ne peut être réalisée à droite d'un symbole d'étiquette ou de saut.

- saut à une étiquette (le nom de l'étiquette est « LAB »).

Si la liaison à gauche du symbole de saut prend l'état booléen TRUE, l'exécution du programme est déroutée après l'étiquette correspondante.[8]

