

# ETUDE ET ADAPTATION D'UN SYSTEME DE REFROIDISSEMENT DE L'HUILE DES TURBINES A GAZ 5000 SUITE A UN ARRET NORMAL OU SUR INCIDENT : cas de la CIE

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU  
MASTER D'INGENIERIE EN SCIENCES DE L'EAU ET ENVIRONNEMENT  
OPTION : Génie Energétique

-----  
Présenté et soutenu publiquement le 03 novembre 2017 par :

**MONEMO GUIDEKO JOEL**

Travaux dirigés par :

**M. DANHO Akre Prosper**

INGENIEUR ENERGETICIEN  
Directeur Adjoint de l'UTAG

**&**

**Dr. Sayon SIDIBE**

Enseignant-Chercheur, 2iE-LBEB

-----  
Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Daniel Yamegeu

Membres et correcteurs : Dr. Marie Sawadogo  
Dr. Sayon Sidibé  
Dr. Daniel Yamegeu

Promotion [2015 /2016]

## DEDICACE

Tout d'abord, rendons gloire et honneur à DIEU qui par sa Grande Bonté et son Esprit ne cesse de nous guider dans nos actions quotidiennes.

**J**e dédie ce modeste travail à :

**MON PERE** et **MA MERE** pour leur soutien et leur encouragement durant toute ma carrière d'étude.

- Mon frère aîné **Dr Pacôme Monemo**, celui qui est un modèle pour moi, qui m'a montré le chemin à suivre et qui m'a toujours soutenu afin que j'en sois là.
- Miss **Tetehi divine yasmine** pour son soutien.
- Ainsi que tous les autres membres de ma famille et tous qui me connaissent.

## REMERCIEMENTS

*Nos remerciements s'adressent avant tout à l'ensemble du personnel de la centrale thermique VRIDI et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.*

*Je remercie sincèrement:*

➤ *M. KALIFA EHOUMAN,*

*Directeur d'usine qui n'a ménagé aucun effort pour mettre à ma disposition les informations nécessaires.*

➤ *M. DANHO AKRE PROSPER*

*Directeur adjoint d'usine mon maître de stage, pour sa patience et le dévouement dont il a fait preuve pour l'élaboration de ce document.*

➤ *M. DABIE CHARLES*

*Chef du service exploitation, pour ses observations et ses critiques constructives dans l'élaboration de ce document.*

➤ *M. KOFFI N'DRI*

*Responsable de la section Electricité dans laquelle j'ai été affectée.*

➤ *M. OKPO et M. DADIE,*

*Contremaîtres de la section électrique auprès de qui j'ai pratiqué l'électricité. J'ai beaucoup appris d'eux.*

*Je pense particulièrement à Monsieur*

➤ *M. ABDOUL BATISTH FOFANA*

*Directeur général de Ingénierie Services Maintenance I.S.M*

➤ *Mon oncle Ing. JEAN BAPTISTE KOHON*

*Pour sa disponibilité, ses conseils et son soutien.*

➤ *Dr. SAYON SIDIBE et Tout le corps professoral de 2IE.*

*Pour la qualité de leurs enseignements et encadrements, ils nous ont inculqué le goût de l'ingénierie et de la recherche.*

## RESUME

Le présent document traite de la mise en place d'un système capable de réduire la quantité d'eau déminéralisée utilisée pour refroidir les groupes et le temps mis pour l'obtenir.

Pour résoudre de façon durable ce problème, nous avons recherché les causes de cette surchauffe indésirable. Après quoi, nous avons automatisé le système de refroidissement afin que celui-ci puisse automatiquement se mettre en service lorsque la température de l'huile sera supérieure à **50 °C** à la suite d'un arrêt.

De cette étude, nous avons pu économiser environ **1888,6 m<sup>3</sup>** d'eau soit **4 704 000 FCFA** annuellement, ce, en prenant le mètre cube d'eau à **2500FCFA**. Ensuite, d'un temps de refroidissement initial de **2H**, avec le système installé nous passons à **30 min**. Enfin, d'un coût d'investissement de **9 000 000 FCFA** il pourrait être amorti en **2 ans**.

### Mots clés :

Eau déminéralisée

Système automatisé

Température de l'huile de lubrification

Moteurs aéros-réfrigérants

## ABSTRACT

This report is based on the installation of a system which may be able to reduce the amount of the demineralized water which has been used to recool the turbine and the time using to reach it.

We started first by recherching the causes responsables of this fact. After that we have automatized the new recooling system in the hope that it will work by itself when the oil temperature would be above 50°C within the stopping phase.

From the foregoing we made some profits namely :

- **1888,6 m<sup>3</sup>** demineralized water let say **4 704 000 FCFA** has been earn yearly
- The cooling time has been reduice up to **30 min**
- The gain of this project will appear after **2 YEARS**

### Keys words :

Demineralized water

Automatized system

Oil temperature

Cooling Motors

## ABREVIATIONS ET NOMENCLATURES

Une lettre peut avoir plusieurs significations, toutefois le contexte n'autorisera aucune confusion.

**T.A.G** : Turbine à Gaz

**E.E.C.I** : Energie Electrique de Côte d'Ivoire

**C.I.E** : Compagnie Ivoirienne d'Electricité

**SODECI** : Société de Distribution de l'Eau de la Côte d'Ivoire

**C.I.PREL** : Compagnie Ivoirienne de Production d'Electricité

**A.NA.R.E** : Autorité Nationale de Régulation du secteur de l'Electricité

**CI-ENERGIE** : Société des Energies de Côte d'Ivoire

**F.CFA** : Francs CFA

**O.M.S** : Organisation Mondiale de la Santé

**I.S.O** : International Standard Organisation

**CO<sub>2</sub>**: Dioxyde de carbone

**NAOH**: Soude caustique

**HCL**: Chlorure d'hydrogène

**$\rho$** : Masse volumique

**$\dot{V}$** : Débit volumique

**$\Delta T$**  : Variation de température

## UNITES

***tr/min***: Tour par minute

***l/min***: Litre par minute

***m<sup>3</sup>/h***: Mètre cube par heure

***Hz***: Fréquence

***kJ***: Kilojoules

**°C**: Degré Celsius

***kW<sub>th</sub>***: Kilowatt thermique

**%**: Humidité relative

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Evaluation de l'eau perdue .....	19
Tableau 2: Ventilateurs à l'usage des techniciens et installateurs J.Lexis Ed parisiennes, 1991 .....	24
Tableau 3: Critères de choix des solutions .....	28
Tableau 4: Caractéristiques physico-chimique de l'huile prescilia .....	31
Tableau 5: Coûts annuels en FCFA des quantités d'eau .....	51
Tableau 6: Coût d'acquisition matériels .....	51
Tableau 7: coût total d'investissement .....	52

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: cadre institutionnel du secteur électrique en côte d'ivoire .....	4
Figure 2 : Synoptique de production d'électricité en côte d'ivoire .....	5
Figure 3: Vue schématique des compartiments de la TAG (1) .....	7
Figure 4: Coupe longitudinale des chambres de feu (1) .....	9
Figure 5: Disjoncteur général .....	10
Figure 6: Coupe longitudinale de la TAG .....	11
Figure 7: Cycle de brayton des TAG dans le diagramme TS .....	12
Figure 8: Circuit de refroidissement TAG .....	14
Figure 9: Chaîne de production de l'eau déminéralisée .....	18
Figure 10: Eau en écoulement sur le site de la centrale CIE .....	20
Figure 11: Echange de chaleur par convection .....	22
Figure 12: Pose d'échangeur .....	23
Figure 13: Echangeur à calandre .....	23
Figure 14: Moteur aéros-réfrigérants .....	25
Figure 15: Evolution dans le diagramme de l'air humide d'un processus de chauffage .....	25
Figure 16: Ailettes de refroidissement .....	26
Figure 17: Modélisation du schéma électrique de l'installation .....	27
Figure 18 : réfrigérants délocalisés CIPREL .....	28
Figure 19: Transformateur principal .....	33
Figure 20: Schéma de fonctionnement des solutions .....	34
Figure 21: Grafcet point de vue procédé .....	36
Figure 22: Contacteur, capteur de présence tension .....	44
Figure 24: thermostat .....	45
Figure 25: capteur de circulateur eau .....	45
Figure 26: Pose de capteur de circulateur d'eau à TAABO .....	46
Figure 27: détecteur de courant .....	46
Figure 28: Compte tour .....	47
Figure 29: Pompe électrique secours .....	47
Figure 30: Automate zelio .....	48
Figure 31: Espace prévu pour les moteurs aéros-réfrigérants .....	54

## TABLE DES MATIERES

### Sommaire

DEDICACE.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT.....	v
ABREVIATIONS ET NOMENCLATURES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	vii
TABLE DES MATIERES.....	viii

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

<b>PARTIE A : PRESENTATION DE L'EXISTANT.....</b>	<b>3</b>
---	----------

I. GENERALITE.....	4
Introduction.....	4
1. Cadre institutionnel.....	4
2. Les acteurs majeurs du secteur de l'électricité en Côte d'Ivoire.....	4
3. Synoptique de production d'électricité en Côte d'Ivoire.....	5
4. Présentation de la structure d'accueil.....	5
5. Organisation de la CIE.....	6
6. Description de la TAG 5000 VRIDI (1).....	7
7. Fonctionnement de la TAG 5000.....	11
8. Analyse énergétique de la TAG 5000.....	12
Conclusion.....	13
II. SYSTEMES DE REFROIDISSEMENT DE LA TAG5000.....	14
Introduction.....	14
1. Système d'air d'atomisation.....	15
2. Système d'huile de lubrification et de refroidissement.....	15
3. Système d'eau de refroidissement de la TAG.....	17
4. Production de l'eau déminéralisée.....	18
Conclusion.....	19

<b>III. IMPACT SOCIO-ENVIRONNEMENTAL.....</b>	<b>20</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>20</b>
1. Raréfaction de la ressource en eau.....	20
2. Conséquences de l'indisponibilité des groupes sur le plan social.....	20
3. Potentiels accidents liées aux écoulements de l'eau dans la centrale de VRIDI...	20
4. Moyens déployés par la CIE pour lutter contre ces problèmes .....	21
5. CIE un site certifié ISO 14001.....	21
<b>Conclusion.....</b>	<b>21</b>
<b>IV. DIAGNOSTIC DU SYSTEME DE REFROIDISSEMENT DE LA TAG .....</b>	<b>22</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>22</b>
1. Audit de la tuyauterie métallique.....	22
2. Audit des échangeurs de chaleur.....	23
3. Audit des aeros-réfrigérants .....	24
4. Audit de l'installation électrique du système de refroidissement .....	27
<b>Conclusion.....</b>	<b>27</b>
<b>V. DISCUSSION ET EXAMEN DES SOLUTIONS .....</b>	<b>28</b>
<b>PARTIE B : ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE .....</b>	<b>29</b>
<b>I. REDIMENSIONNEMENT DES MOTEURS AÉROS-RÉFRIGÉRANTS .....</b>	<b>30</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>30</b>
1. Débit d'air admissible pour l'extraction de la chaleur de l'eau refroidissement.	30
2. Choix des moteurs aéros-réfrigérants.....	31
3. Évaluation du temps mis pour refroidir l'huile à la température de 50°C.....	31
<b>Conclusion.....</b>	<b>32</b>
<b>II. EXECUTION AUTOMATIQUE.....</b>	<b>33</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>33</b>
1. Sources d'alimentation.....	33
2. Mise en œuvre.....	34
3. Automatisation du système .....	35
<b>Conclusion.....</b>	<b>43</b>

<b>III. INSTRUMENTATION ET PROGRAMMATION.....</b>	<b>44</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>44</b>
1. <b>Choix des équipements principaux de l'automatisme.....</b>	<b>44</b>
2. <b>Choix de l'automate programmable industriel A.P.I.....</b>	<b>48</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>50</b>
<b>IV. ETUDE ECONOMIQUE.....</b>	<b>51</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>51</b>
1. <b>Evaluation financière de l'eau déminée gaspillée.....</b>	<b>51</b>
2. <b>Coût d'investissement.....</b>	<b>51</b>
3. <b>Temps de retour sur investissement (TRI).....</b>	<b>53</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>53</b>
 <b>CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....</b>	 <b>54</b>
 <b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	 <b>55</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>56</b>

# INTRODUCTION GENERALE

Les turbines à gaz (TAG) font partie des turbomachines définies par l'ingénieur français RATEAU (1) comme étant des appareils dans lesquels ont lieu un échange d'énergie entre rotor autour d'un axe à vitesse constante et un fluide en écoulement permanent. Elles ont connu ces dernières années un développement considérable dans les domaines des hydrocarbures et de la production d'électricité. Malgré ces nombreux avantages, leur forte sensibilité aux variations de la température ambiante fait que leur rendement thermique se trouve affecté.

La Côte d'Ivoire enregistre de fortes demandes de puissances surtout dans les périodes de forte chaleur. Des demandes pour lesquelles l'opérateur CIE doit faire face en faisant constamment appel à tous ses moyens de production. Cependant, les TAG de la centrale thermique de VRIDI (centrale dans laquelle nous avons effectué notre stage) sont parfois indisponibles et retardées dans leur cycle de production d'électricité. Cette indisponibilité est l'action combinée de plusieurs problèmes techniques auxquels nous essayerons d'apporter des solutions.

Dans ce qui suit, nous présenterons les causes de ces problèmes techniques et proposerons des solutions typiques, techniquement et économiquement viables afin de les résoudre de façon plus durable.

## Problématique

A l'arrêt des TAG5000, l'huile de refroidissement monte en température de façon anormale. Cette montée brusque en température est due à l'arrêt des éléments suivants :

- 1 – Arrêt des moteurs aéros-réfrigérants dans les séquences d'arrêt.
- 2 – Arrêt de la pompe à eau attelée au réducteur des auxiliaires.

Cette situation a des conséquences sur le fonctionnement de la TAG :

- Redémarrage impossible du fait de l'élévation excessive de la température d'huile de lubrification (environ 02 h d'attente pour permettre la baisse de la température d'huile à 50 °C).
- Rejets des quantités importantes d'eau déminéralisée à une température de 80°C.

## Objectifs

Cette étude aura pour objectifs principaux les éléments suivants :

- Baisser la température de l'huile turbine à 52 °C
- Améliorer le temps de reprise des groupes en maintenant la température de l'huile inférieure à 52°C pendant les arrêts.
- Réduire les risques de pollutions de l'environnement. Rationnaliser l'usage de l'eau déminéralisée en réduisant les rejets.

## Méthodologie et organisation

Le présent document se décompose en deux grandes parties retraçant de façon logique et chronologique les travaux menés pendant ce stage.

La première partie est consacrée à l'étude préalable de l'existant, dans laquelle nous ferons l'état des lieux et analyserons le mode de fonctionnement de la TAG.

Dans la seconde partie du document, nous aborderons l'étude technique, avec à l'appui l'étude financière.

# **PARTIE A : PRESENTATION DE L'EXISTANT**

# I. GENERALITE

## Introduction

Dans ce chapitre après avoir jeté un regard sur la structure d'accueil et expliquer de façon brève le système de production d'énergie en Côte d'Ivoire. Nous allons décrire la turbine utilisée à la centrale de production puis son principe de fonctionnement.

### 1. Cadre institutionnel

Le secteur ivoirien de l'électricité a enregistré, en 2014, un événement majeur à travers la promulgation de la Loi n° 2014-132 du 24 mars 2014 portant code de l'électricité. Cette loi vise les objectifs suivants :

- Garantir l'indépendance énergétique et la sécurité de l'approvisionnement en énergie électrique.
- Promouvoir le développement des énergies nouvelles et renouvelables.
- Développer l'énergie électrique et favoriser l'accès à cette énergie.
- Promouvoir la maîtrise de l'énergie.

### 2. Les acteurs majeurs du secteur de l'électricité en Côte d'Ivoire

Les acteurs prévus par le cadre institutionnel actuel du secteur de l'électricité sont représentés et interagissent comme il est indiqué dans *la Figure 1* :

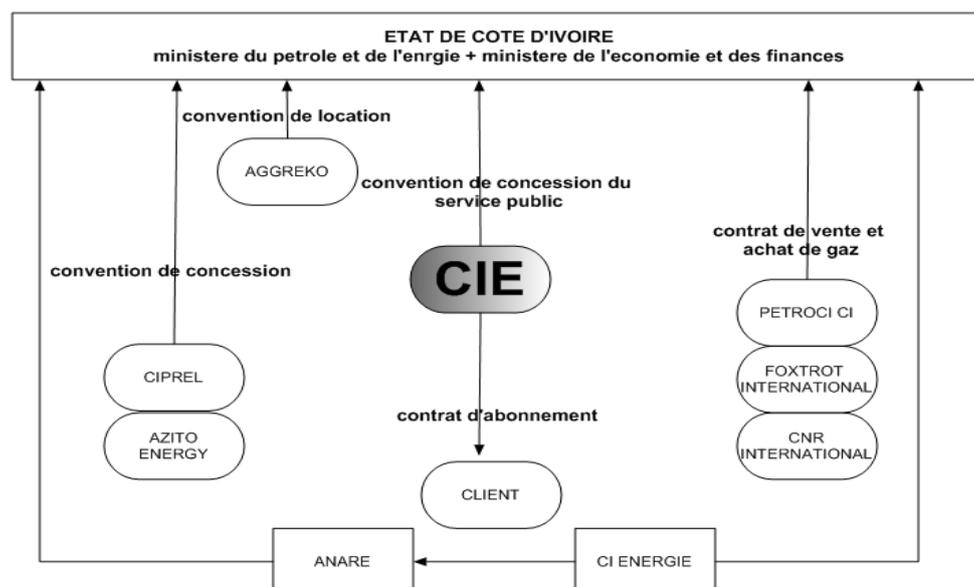


Figure 1: cadre institutionnel du secteur électrique en côte d'ivoire

### 3. Synoptique de production d'électricité en Côte d'Ivoire

La production d'électricité en Côte d'Ivoire est assurée grâce aux actions simultanées des différents acteurs majeurs. En effet, son potentiel en énergie solaire et biomasse l'ont conduit à la construction de nouvelles centrales d'énergies renouvelables (photovoltaïque et à biomasse) pour renforcer sa capacité de production. La Figure 2 permet de mieux comprendre et visualiser le jeu d'interconnexion.

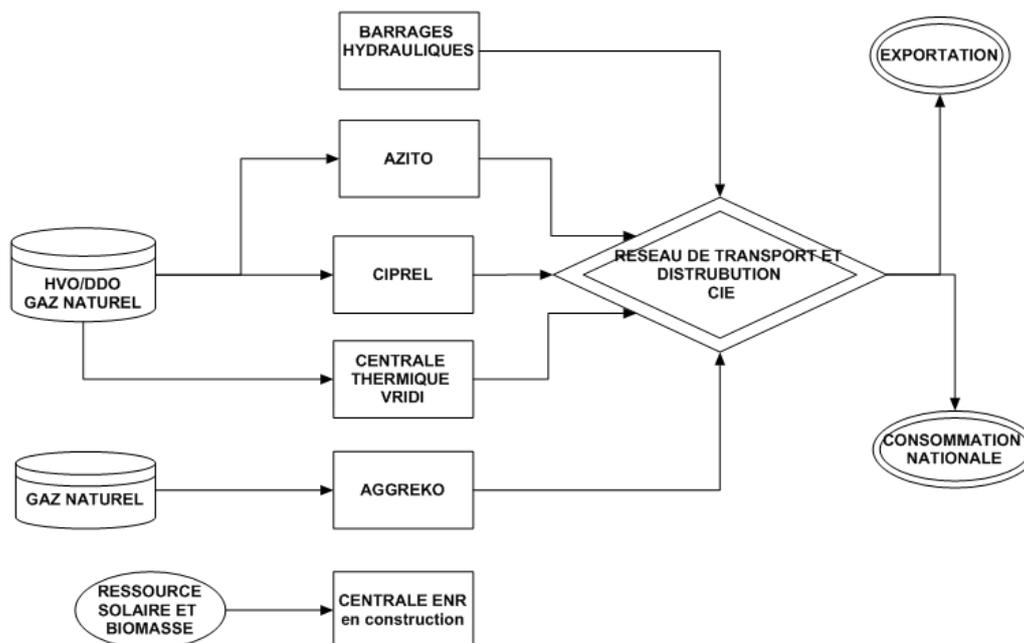


Figure 2 : Synoptique de production d'électricité en côte d'ivoire

### 4. Présentation de la structure d'accueil

La compagnie ivoirienne d'électricité (CIE) est une Société Anonyme (SA) gérée par un conseil d'administration. La compagnie ivoirienne d'électricité (CIE), est une société de transport, d'exportation, d'importation, de distribution et de commercialisation de l'énergie électrique sur l'ensemble du territoire ivoirien et de l'Afrique de l'ouest. La CIE est un des leaders de son secteur sur le continent africain. Elle a pris le relais de l'ancienne compagnie nationale EECI.

La CIE exporte de l'électricité vers le Benin, le Burkina Faso, le Ghana, le Togo, le Mali et bientôt la Guinée.

## 5. Organisation de la CIE

Afin de mener à bien sa mission, la C.I.E est divisée en deux grands groupes de directions : les directions fonctionnelles et les directions opérationnelles.

### a. Direction fonctionnelle

Ces directions gèrent les moyens et ressources nécessaires au bon fonctionnement des directions opérationnelles. Il s'agit de la :

- **DG** : Direction Générale
- **DRH** : Direction des Ressources Humaines
- **DL** : Direction de la Logistique
- **DFC** : Direction Financière Comptable
- **DI** : Direction Informatique
- **DCG** : Direction Contrôle de Gestion

### b. Direction opérationnelle

Elles sont liées à l'activité principale de l'entreprise et opèrent dans la production, le transport et la distribution. Il s'agit de la :

- **DCD** : Direction Centrale de Distribution
- **DTET** : Direction du Transport de l'Energie et de la Télécommunication.
- **DME** : Direction des Mouvements d'Energie.
- **DPE** : Direction de la Production de l'Electricité.

C'est dans cette dernière direction que nous avons effectué notre stage.

### c. Présentation de la direction de la production d'électricité (DPE)

La direction de production d'électricité est chargée de l'exploitation de toutes les centrales qui produisent l'électricité. Afin d'être plus efficace, la DPE a créé deux sous-directions qui sont :

- La Sous-direction Appui Opérationnel (SDAO)
- La Sous-direction Ingénierie et Retour d'Expérience (SDIRE).

La DPE dispose de quatre centrales hydrauliques et une centrale thermique à savoir :

\* L'usine d'Ayamé 1 et 2 : 50 MW

\*L'usine de Buyo : 165 MW

\*L'usine de Kossou : 174 MW

\*L'usine de Taabo : 210 MW

\*L'usine de Fayé : 5 MW

Et une usine des turbines à gaz (UTAG) : 80MW.

## 6. Description de la TAG 5000 VRIDI (1)

La centrale thermique de VRIDI est constituée de quatre turbines à gaz de **type 5001P** du constructeur ALSTOM. Construites depuis 1984, ces quatre turbines installées, assurent une production maximale de **100MW** en conditions **ISO (15 °C)**. Les caractéristiques énergétiques de la TAG sont consignées dans *Annexe 5*.

### a. Description des compartiments de la turbine à gaz

Le groupe thermique turbine à gaz représenté par *la Figure 3*, se compose d'un système de contrôle, de commande et de quatre compartiments qui sont :

- Le compartiment des auxiliaires
- Le compartiment compresseur-turbine
- Le compartiment réducteur de vitesse
- Le compartiment alternateur

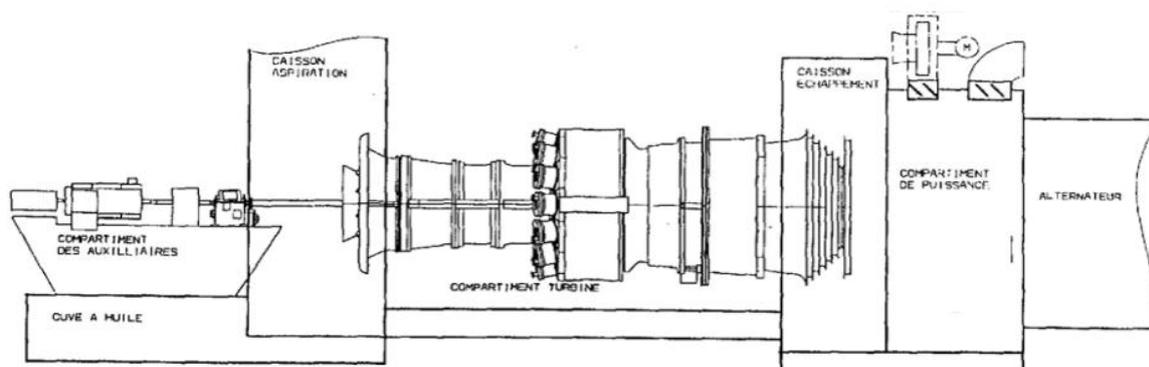


Figure 3: Vue schématique des compartiments de la TAG (1)

#### i. Le compartiment des auxiliaires

Il est situé avant le compartiment turbocompresseur et comprend tous les auxiliaires nécessaires au fonctionnement indépendant du groupe thermique turbine à gaz. Il est constitué de :

- **Moteur de lancement**

La turbine à gaz ne pouvant démarrer par elle-même, doit être entraînée par un dispositif de lancement pour atteindre sa vitesse d'auto-sustentation. Cette fonction est assurée par un moteur diesel à un convertisseur de couple afin d'assurer le couple de démarrage nécessaire au lancement de la turbine. Il sert à entraîner l'arbre du compresseur et de la turbine à une vitesse de rotation bien déterminée.

- **Convertisseur de couple**

C'est un élément qui convertit le couple donné par le moteur de lancement pour pouvoir faire tourner l'arbre de la turbine.

- **Réducteur des auxiliaires**

C'est un ensemble de roues dentées actionné par l'arbre turbine pour entraîner certains éléments tels que la pompe à huile haute pression, la pompe à huile principale, la pompe de combustible liquide, la pompe d'eau de refroidissement et le compresseur d'air d'atomisation.

- **Vireur**

C'est une motopompe qui aide le moteur de lancement pendant le moment de démarrage. Il fait tourner l'ensemble de **1 /4 de tour chaque 3mn**. Le vireur est utilisé pour le positionnement de la ligne d'arbre.

- ii. **Le compartiment compresseur-turbine**

- **Section compresseur**

La section compresseur à débit axial se compose d'un rotor et d'une série de corps. Les corps renferment les aubes orientables, **les 17 étages** du rotor et l'aubage du stator, ainsi que les deux rangées d'aubes fixes de guidage (appelées I.G.V.). Dans le compresseur, l'air est mis en rotation par une rangée circulaire d'aubes mobiles (rotor) et subit une augmentation de vitesse. En franchissant ensuite une rangée d'aubes fixes (stator), la vitesse de l'air diminue et sa pression augmente. Une partie de l'air du compresseur est utilisée pour le refroidissement de la turbine, l'étanchéité des paliers et la commande du dispositif anti-pompage.

- **Section chambre de combustion**

Le système de combustion est du type à flux inversé et se compose de 10 chambres de combustion équipées des composants suivants: Tubes de flamme, écrans de radiation (flow-sleeve), pièces de transition et tubes d'interconnexion. Bougies, détecteurs de flamme et injecteurs de combustible font également partie du système. Les gaz chauds issus de la combustion du fioul dans les chambres servent à entraîner la turbine.

Le combustible est introduit dans chaque chambre de combustion par un injecteur. La *Figure 4* nous donne de façon détaillée la composition de la chambre.

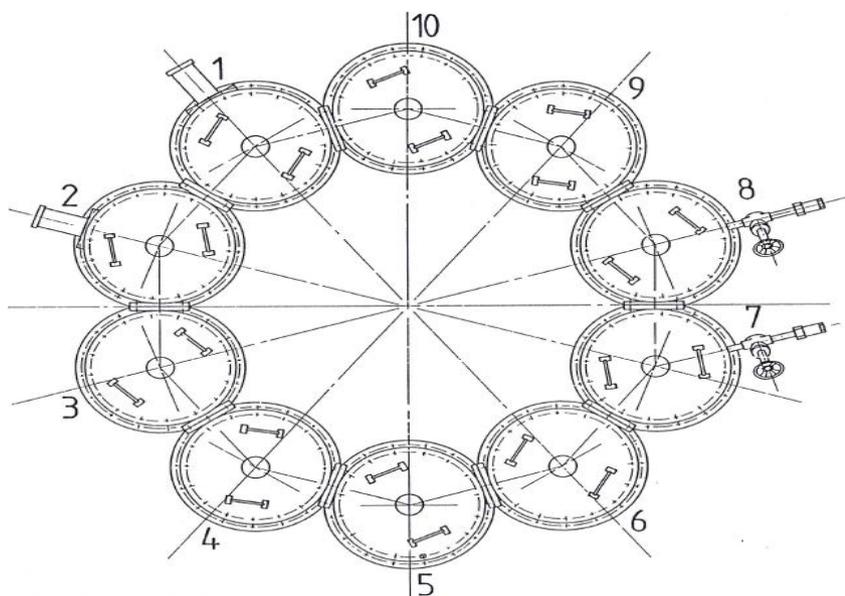


Figure 4: Coupe longitudinale des chambres de feu (1)

- **Section turbine**

C'est dans cette zone que l'énergie, sous forme de gaz sous pression produite par le compresseur et le système de combustion, est convertie en énergie mécanique. Chaque étage turbine se compose d'une directrice et d'une roue avec son aubage. La section turbine comprend le rotor, le corps, les directrices, les segments de protection, le cadre d'échappement et le diffuseur d'échappement.

- iii. **Le compartiment réducteur de vitesse**

C'est un ensemble de roues dentées qui sert à réduire la vitesse de rotation de **5100 tr/min** de la turbine pour communiquer une vitesse de rotation de **3000 tr/min** à l'alternateur.

- iv. **Le compartiment alternateur**

L'alternateur est un générateur à courant alternatif, entraîné par une turbine à gaz refroidi à l'air en circuit fermé et traversant deux réfrigérants air/eau. Les alternateurs se composent de trois parties essentielles : Stator ; Rotor ; Excitateur TKJ

v. Le compartiment de contrôle

C'est un ensemble d'appareils de commande et d'information nécessaires au fonctionnement de la machine. Il se compose de :

- L'armoire de contrôle centralisée des moteurs auxiliaires : CCM
- L'armoire alternateur
- L'armoire contrôle turbine
- Armoire excitation régulation
- Les batteries et chargeurs

**b. Equipements de protections et interfaces de synchronisation**

La synchronisation ou la fermeture du disjoncteur permet d'évacuer l'énergie produite par la turbine à gaz sur le réseau électrique. Ils sont repérés par le nombre 52. Le but de cette action est d'égaliser la tension et fréquence des disjoncteurs en amont et aval pour éviter d'endommager la machine.

i. Disjoncteur du générateur (52G)

Son rôle est d'assurer le raccordement de puissance entre l'alternateur et le transformateur principal de la TAG. La figure 5 nous donne un aperçu.



Figure 5: Disjoncteur général

Les interfaces des armoires de contrôle (alternateur et turbine) commandent la fermeture/déclenchement du disjoncteur et sa position. La position du disjoncteur est utilisée pour valider l'ordre de fermeture dans le système de synchronisation.

ii. Disjoncteur ligne (52L)

Il réalise le raccordement de puissance entre le transformateur de la TAG et le réseau électrique 225 kV.

### 7. Fonctionnement de la TAG 5000

La turbine à gaz est un moteur thermique réalisant différentes phases de son cycle thermodynamique dans une succession d'organes traversés par un fluide moteur gazeux en écoulement continu. Le compresseur (C) comprime l'air ambiant (E) filtré, du gaz (G) ou un combustible liquide atomisé est injecté dans la chambre de combustion (Ch). La figure 6 illustre au mieux le principe de fonctionnement.

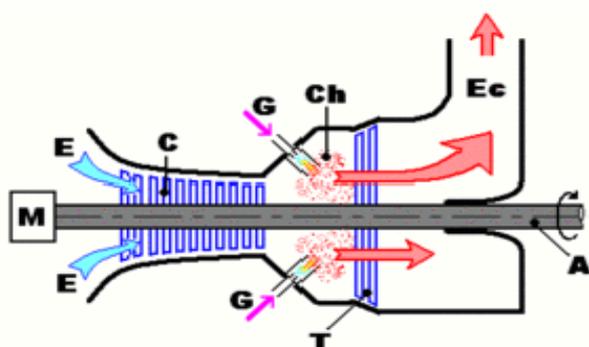


Figure 6: Coupe longitudinale de la TAG

Les gaz se détendent en traversant la turbine (T) ou l'énergie thermique des gaz est transformée en énergie mécanique et s'échappe par la cheminée (Ec). Le mouvement de rotation de la turbine est communiqué à l'arbre du compresseur en (A) d'une part et d'autre part les équipements annexes accouplés à elle (pompe...). Un moteur de lancement (M) est utilisé pour la mise en route.

## 8. Analyse énergétique de la TAG 5000

### a. Cycle thermodynamique

Les TAG suivent le cycle thermodynamique de brayton qui est un cycle idéal, au cours duquel le gaz subit des changements de compression de volume et de température. Ce cycle est représenté par la figure 7 dans le diagramme (T, S).

- 1-2s Compression adiabatique de l'air
- 2s-3 Combustion isobare du combustible utilisé
- 3-4s Détente adiabatique des gaz

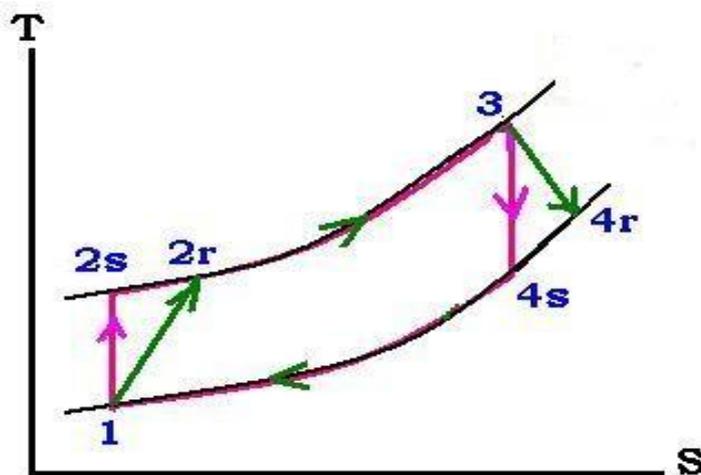


Figure 7: Cycle de brayton des TAG dans le diagramme TS

Ce cycle n'est que purement idéal car pendant le cycle réel, lors des compressions (1-2r) et détente (3-4r), on a des irréversibilités (frottement, choc sur les aubages) génératrices d'entropies et provoquant l'échauffement, plus élevé que prévu des gaz. A noter que les irréversibilités contribuent toujours à dégrader l'efficacité de la turbine.

### b. Limites technologiques des TAG (2)

Les moteurs thermiques sont conçus sur la base de deux principes thermodynamiques : le principe de conservation de l'énergie et celui de l'accroissement de l'entropie. Le premier a trait au processus de transformation de la chaleur libérée par la combustion en travail mécanique. Cette phase s'accompagne toujours par des pertes d'énergie dues d'abord au fait que la combustion n'est jamais totalement complète et ensuite, une partie de l'énergie sera prélevée pour le chauffage des annexes. Le reste de l'énergie va subir une détente qui aura pour effet de produire du travail mécanique et finalement, les produits de combustion (de l'énergie) sont rejetés au milieu extérieur.

En supposant que l'on puisse par quelques mécanismes, supprimer les autres pertes, il reste qu'il est absolument impossible de supprimer la chaleur rejetée dans l'environnement et de ce fait toute l'énergie thermique de départ ne peut être transformée en travail. Son corollaire ou sa formulation mathématique dit que le rendement d'un moteur thermique est toujours inférieur à un, ce qui se traduit par la relation suivante [1] :

$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_f}{Q_c} < 1 \quad [1]$$

$\eta_{th}$  : Rendement thermique

$Q_f$  : Chaleur rejetée au milieu extérieur

$Q_c$  : Chaleur libérée par le DDO et/ou le FUEL lors de la combustion

Le rendement global de la turbine appelé rendement thermique TAG est au maximum de 35 %. Ce faible rendement est la conséquence des irréversibilités citées par-dessus.

### Conclusion

Nous avons pu retenir à travers ce chapitre un peu de l'historique de la CIE, le principe de fonctionnement de la centrale et de façon brève les limites technologiques de la TAG 5000. Il est cependant possible d'améliorer le rendement des TAG :

- Injecter de l'eau évaporée par la chaleur des gaz d'échappement en amont de la chambre de combustion.
- Réduire les irréversibilités au compresseur et dans la turbine.
- Préchauffer l'air venant du compresseur par récupération de la chaleur des gaz d'échappement.

## II. SYSTEMES DE REFROIDISSEMENT DE LA TAG5000 (1)

### Introduction

Il s'agira pour nous dans cette partie de passer en revue toutes les différentes parties du système de refroidissement et évaluer les quantités d'eau utilisées pour le refroidissement. *La figure 8* nous donne une vue du système de refroidissement de la TAG.

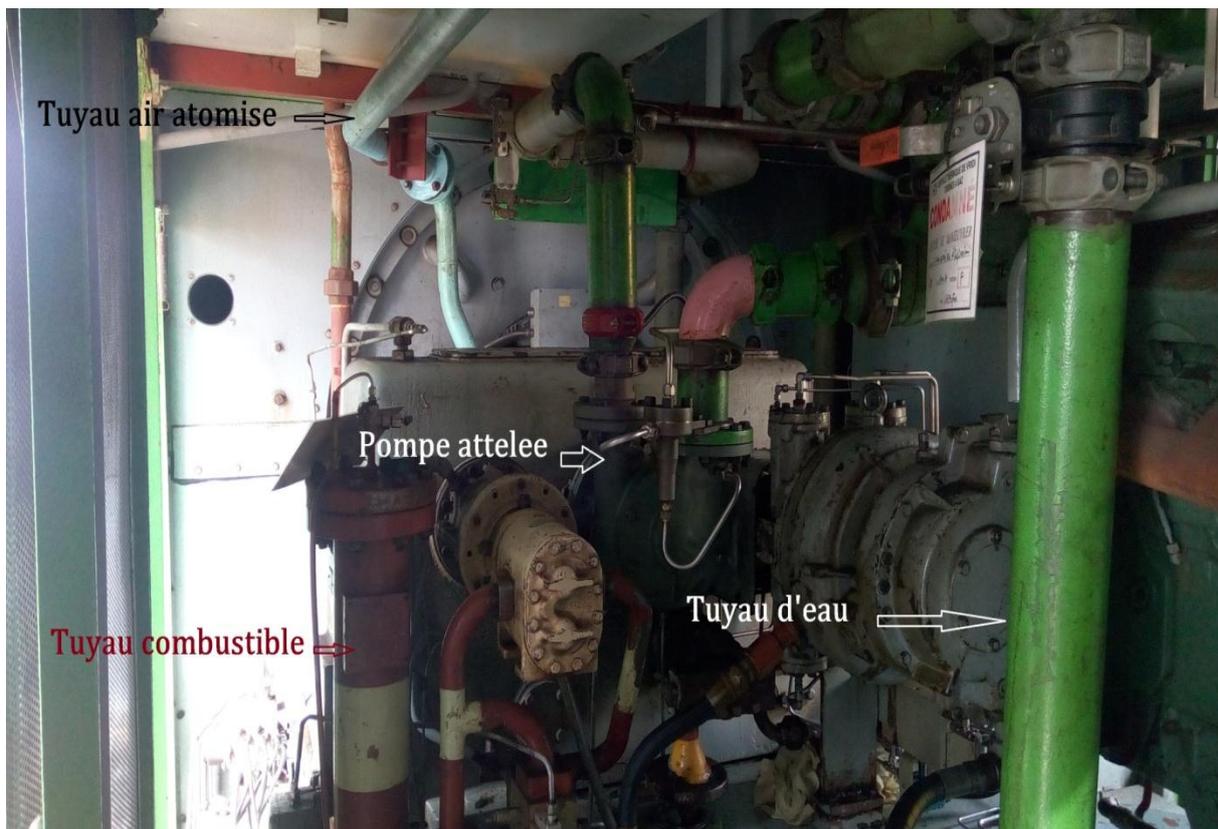


Figure 8: Circuit de refroidissement TAG

### 1. Système d'air d'atomisation

Les injecteurs utilisés ont des pressions insuffisantes pour pulvériser convenablement le combustible afin de provoquer l'allumage et la combustion dans les chambres. Avec l'air d'atomisation le combustible liquide se retrouve en fines gouttelettes assurant ainsi une combustion correcte diminuant les imbrulés.

L'air nécessaire est prélevé en sortie du compresseur axial de la machine il traverse successivement :

- Un séparateur centrifuge : qui le débarrasse l'air de ses impuretés.
- Un réfrigérant : qui abaisse les températures de l'air sortant du séparateur.
- Un compresseur : principal attelé au réducteur.
- Un répartiteur : d'air dans les chambres de combustion.
- Un compresseur auxiliaire entraîné par courroie, par le moteur de lancement.

Le réfrigérant d'air est un échangeur de chaleur de type **air- eau** composé d'un faisceau tubulaire en **U**. L'eau de refroidissement circule dans ces tubes et le débit est réglé par une vanne thermostatique. Le rôle du réfrigérant est de limiter la température de l'air à l'entrée du compresseur.

### 2. Système d'huile de lubrification et de refroidissement

La lubrification est réalisée au moyen d'un système qui force l'huile à circuler en circuit fermé. Ce système de lubrification est conçu pour fournir un fluide lubrifiant qui doit alimenter les convertisseurs de couple, réduire les frottements et évacuer la chaleur. Le circuit comprend les éléments suivants :

- Un réservoir à huile d'une capacité de **6500 Litres**
- Une pompe à huile principale entraînée par les réducteurs des auxiliaires
- Une pompe auxiliaire entraînée par un moteur à courant alternatif **88QC**
- Une pompe de secours entraînée par un moteur à courant continu **88QE**
- Un système de réfrigération de l'huile par un échangeur huile eau de refroidissement
- Un système de filtrage

#### *a. Les circulateurs de l'huile de lubrification*

Elles assurent la lubrification et créent un régime turbulent en permanence dans la cuve afin d'élever le coefficient de convection  $h_e$  pour obtenir un refroidissement ou un chauffage rapide et efficace pendant le service et même à l'arrêt de la turbine.

##### *i. La pompe principale*

La mise en activité de l'huile est due à la pompe principale. Cette pompe est attelée aux réducteurs des auxiliaires. Les caractéristiques de cette pompe sont les suivantes :

Débit : **1700L/mn**

Pression de refoulement : **4,5 Bars**

Une soupape **VR-1** est placée en aval de la pompe et s'ouvre dès que la pression de refoulement est supérieure à **4,5 Bars**.

##### *ii. Pompe auxiliaire à courant alternatif 88QC*

C'est une pompe centrifuge, son moteur est alimenté par un courant triphasé **380V**. Elle a un débit de **795L/mn** et une pression de refoulement de **1,5bars**. Si l'alimentation en courant alternative est possible, pendant l'arrêt turbine, le besoin en lubrification est assuré par cette pompe.

Elle continue sa marche jusqu'à ce que la vitesse de la turbine atteigne **95%** de sa vitesse nominale. Elle reçoit l'ordre arrêt tandis que la pompe principale assure le relais. L'ordre de redémarrage de cette motopompe est donné lorsque la vitesse de la turbine descend à **75%** de sa vitesse nominale.

##### *iii. Pompe de secours 88QE*

Entraîné par un moteur à courant continu de **125V**. Ce groupe permet d'assurer la continuité de service si l'alimentation alternative est rompue. Elle tire son alimentation continue des batteries utilisées pour le lancement du moteur diesel.

Un démarrage manuel sera mis en place pour actionner les pompes 88QE et 88QC afin de pouvoir obtenir un régime turbulent dans la cuve d'huile.

### *b. Dispositifs de contrôle de régulation et de protection*

#### *i. Contrôle du niveau de l'huile*

Une jauge de niveau indique le niveau de l'huile dans la cuve. Des détecteurs de niveau haut **71 QH** et de niveau bas **71 QL**, donnent l'alarme en cas de niveau bas ou haut.

#### *ii. Contrôle des températures*

Pendant les longues périodes d'arrêt, l'huile est maintenue à la viscosité nécessaire au démarrage par des résistances chauffantes **23QT** immergés dans la cuve.

Le thermostat **26QL** basse température met en marche la résistance chauffante **23QT** et la pompe auxiliaire **88QC** à **16°C**. Une fois les **21°C** atteint le thermostat **26QM** arrête la pompe **88QC** et résistances chauffantes **23QT**.

#### *iii. Contrôle de la pression*

À l'image des thermostats les manostats jouent un rôle important dans le circuit. Ils commandent l'allumage et l'arrêt des pompes secours. L'Annexe 2 nous montre le schéma complet.

### **3. Système d'eau de refroidissement de la TAG**

Le système d'eau est un circuit fermé conçu pour répondre aux exigences de dissipation de la chaleur du moteur de lancement, de l'huile de lubrification et de l'air d'atomisation.

Le circuit de refroidissement comprend les éléments suivants :

- Un échangeur air –eau
- Un échangeur huile –eau
- Six ventilateurs entraînés deux à deux par des moteurs à courant alternatif
- Deux réservoirs de stockage de l'eau d'une capacité de **1628l** chacun.
- Une pompe à eau attelée avec une pression de refoulement de **5,85 Bars**.

C'est un circuit fermé donc il présente les avantages d'une maîtrise parfaite de la quantité de l'eau utilisée. L'un des deux réservoirs possède un capteur de niveau électrique bas pour indiquer le niveau de l'eau afin d'y faire des appoints. Dans le circuit de refroidissement de la turbine se trouvent deux vannes thermostatiques qui régulent le débit des réfrigérants.

Le débit d'eau qui circule est réglé pour pouvoir maintenir la température de l'huile à **50°C** et celle de l'air à **107°C**. Voir *l'Annexe 1*.

#### 4. Production de l'eau déminéralisée

L'eau contient des minéraux qui sont le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium .... Ces minéraux sont responsables de l'entartrage et la corrosion qui dégradent la qualité des matériaux métalliques. Pour éliminer ces sérieux inconvénients, on doit procéder à un traitement chimique de l'eau.

##### a. Description et Principe de la déminéralisation

CIE dispose d'un poste de déminéralisation. La déminéralisation consiste à éliminer tous les ions présents dans l'eau par l'utilisation de résine échangeuses d'ions. Ce système est composé de :

- D'un échangeur cationique
- D'un éliminateur de CO<sub>2</sub> ou dégazeur atmosphérique
- D'un échangeur anionique

La figure 9 montre de façon synoptique le circuit de production de l'eau déminéralisée.

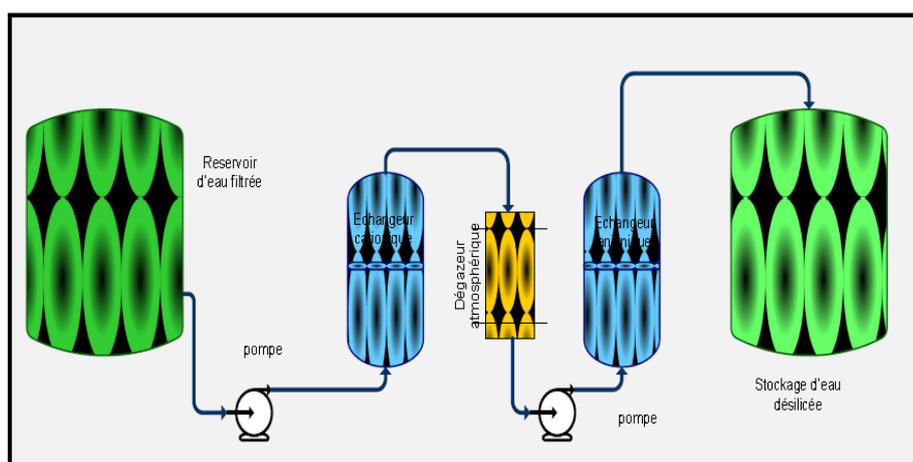


Figure 9:Chaîne de production de l'eau déminéralisée

##### b. Coût de production de l'eau déminéralisée

Le coût de l'eau déminéralisée est fonction de la matière première nécessaire pour produire cette eau. Pour la production de l'eau déminéralisée, la société utilise de la soude caustique et de l'acide chlorhydrique. Le coût de cette eau est évalué suivant la formule [2]:

$$\text{coût du m}^3 = \frac{\text{prix de l'eau de SODECI utilisée} + \text{prix de HCL} + \text{prix de NAOH}}{\text{La quantité de l'eau demineralisée produite}} \quad [2]$$

En moyenne le coût du mètre cube de l'eau s'élève à **2500Fcfa**. Ce prix est évalué sans tenir compte du prix de l'énergie utilisée et du salaire des deux agents de maîtrise.

### c. Evaluation de la quantité d'eau déminéralisée utilisée

Lors des arrêts, l'huile de graissage de la turbine est refroidie en faisant circuler l'eau de refroidissement en circuit ouvert. Ainsi donc, l'eau de refroidissement ne circule plus en circuit fermé. Ce système de **recirculation** de l'eau entraîne un gaspillage important de l'eau déminéralisée. L'absence de compteur sur le circuit de refroidissement rend difficile la quantification de l'eau déminéralisée utilisée pour la recirculation. Cette contrainte nous a conduit à estimer cette valeur en tenant compte du nombre de démarrages des machines à chaque arrêt.

Le nombre de vidange des cuves d'eau de refroidissement d'une capacité de **3200L** est estimé à deux vidanges au minimum, pour avoir un bon refroidissement de l'huile.

Sur ce principe *le tableau 1* nous donne la quantité d'eau gaspillée annuellement.

Tableau 1: Evaluation de l'eau perdue

ANNEE	NOMBRE DE DEMARRAGES	QUANTITE D'EAU(L)
2016	294	1 881 600
2015	333	2 131 200
2014	343	2 195 200

Ce tableau attire notre attention sur la quantité d'eau gaspillée. Il est donc important de trouver une solution adéquate pour pouvoir résoudre ce problème.

### Conclusion

Nous avons comme énoncé plus haut pu, passer en revue les parties essentielles du système de refroidissement de la TAG 5000. Mieux, cette analyse nous a permis de pouvoir quantifier l'eau utilisée pour le refroidissement.

### III. IMPACT SOCIO-ENVIRONNEMENTAL

#### Introduction

Dans cette partie nous analyserons les impacts du déversement de l'eau de refroidissement sur le site de la centrale d'une part et d'autre part sur la santé des agents.

#### 1. Raréfaction de la ressource en eau

*Le Erreur ! Source du renvoi introuvable.* nous informe de la quantité d'eau qui aurait été économisée lors du refroidissement de notre système. Selon l'OMS un africain utilise en moyenne annuellement 7,2 m<sup>3</sup>d'eau, tous calculs bien faits notre eau de refroidissement perdue, aurait pu servir à environ 273 personnes par an.

#### 2. Conséquences de l'indisponibilité des groupes sur le plan social

L'indisponibilité des groupes due au long temps de refroidissement de l'huile engendre des pertes énergétiques et économiques énormes. Nous estimons ces pertes à environ 11 500 MWh annuel. Ce résultat est obtenu par le produit du nombre d'arrêt annuel, du temps de refroidissement estimé à 2H (temps d'indisponibilité du groupe) et de la puissance du groupe.

#### 3. Potentiels accidents liées aux écoulements de l'eau dans la centrale de VRIDI

Lors de la recirculation de l'eau déminéralisée, nous observons de l'eau en stagnation sur le site de la centrale. *Les figures 10* ci-dessous en illustrent l'état.



Figure 10: Eau en écoulement sur le site de la centrale CIE

Ces eaux en stagnation pourraient avoir des conséquences sur la santé des agents de la centrale. Notamment les risques de présence de **légionellose**<sup>1</sup> dans ces eaux de refroidissement en stagnation et aussi des risques de glissade.

#### 4. Moyens déployés par la CIE pour lutter contre ces problèmes

La Compagnie Ivoirienne d'Electricité a pris de nombreuses mesures améliorant ainsi les conditions de travail de ses agents. Ces mesures sont de tous genres. Dans notre cadre d'étude, nous avons recensé. Les équipements de protection individuelle (EPI) contribuent à lutter efficacement contre les accidents de travail.

#### 5. CIE un site certifié ISO 14001

**ISO 14001** est une norme internationalement reconnue qui établit les exigences relatives à un système de management environnemental. Elle aide les organismes à améliorer leur performance environnementale grâce à une utilisation rationnelle des ressources et la réduction des déchets.

De ce fait il serait donc anormal d'utiliser l'eau déminéralisée de façon irrationnelle.

### Conclusion

Bien vrai que la **CIE** a mis en place des stratégies pour prévenir tous les impacts environnementaux indésirables, ces écoulements d'eaux imprévus pourraient rendre caduque tout ce système. Il est donc important de jeter un regard critique sur cette situation.

---

<sup>1</sup> La légionellose est une maladie infectieuse bactérienne, connue depuis l'épidémie de 1976 aux ETATS-UNIS. Cette bactérie se prolifère dans : Les réseaux d'eau chaude et les systèmes de refroidissement.

## IV. DIAGNOSTIC DU SYSTEME DE REFROIDISSEMENT DE LA TAG

### Introduction

Les essais sur les différents échangeurs et dans la tuyauterie ont été réalisés par la compagnie **ELITEAM** en collaboration avec notre structure d'accueil. Les données sont consignées dans l'Annexe 3.

### 1. Audit de la tuyauterie métallique

Le débit d'eau est réglé pour maintenir la température de l'huile dans le collecteur à **50°C**. Autrement dit, la température de l'eau de refroidissement dans son réservoir doit être impérativement inférieure à **50°C**. Vieille de plus de 30 ans, la tuyauterie de la TAG a subi plusieurs modifications. Ces changements opérés ont eu de nombreux impacts sur le fonctionnement du système de refroidissement de la turbine. Le plus important d'entre eux est la perte de son isolation thermique. En effet la tuyauterie évolue dans un environnement dont la température est supérieure à **30°C en marche**. La loi de Newton pour la convection permet de décrire le phénomène qui se produit : **la densité de chaleur transférée à un fluide au voisinage d'une paroi solide est proportionnelle à la différence de température entre l'objet et le fluide**.

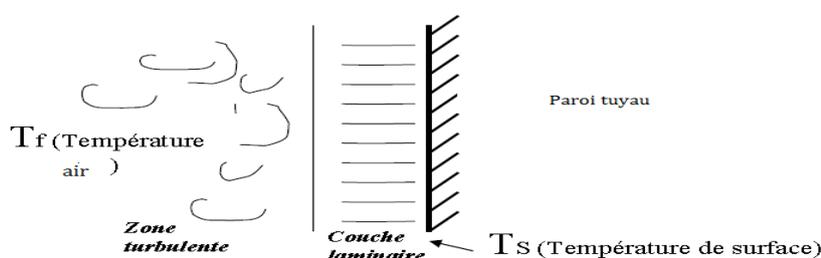


Figure 11: Echange de chaleur par convection

$$\varphi = h(T_p - T_f) \quad [3]$$

$\varphi$ : densité de flux de chaleur ( $W \cdot m^{-2}$ )

$T_p$ : température de la paroi °C

$T_f$ : température du fluide °C

$h$ : coefficient de convection ( $W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$ )

Au travers cette Figure 11, dans tout son trajet l'eau de refroidissement échange de la chaleur avec son environnement, ce qui conduit à une surchauffe additionnelle.

## 2. Audit des échangeurs de chaleur

L'échangeur utilisé est une calandre eau /huile. L'audit de cet échangeur de chaleur est un processus très complexe. Pour cela en plus des données dont nous disposons, nous avons posé certaines hypothèses :

- Le régime permanent est considéré
- L'échangeur est adiabatique pas d'échange avec le milieu extérieur
- Il n'y a pas de pertes de charge (pression) au cours de l'écoulement
- Les propriétés thermo physiques des fluides restent constantes dans les intervalles de températures envisagées
- Les températures ne varient que dans la seule direction de l'écoulement

Les figures 12 et 13 montrent l'état de l'échangeur avant et après la pose.



Figure 13: Echangeur à calandre



Figure 12: Pose d'échangeur

Les températures d'entrée et sortie de l'eau sont ( $T_{entr} = 50,84^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{sort} = 55,9^{\circ}\text{C}$ )

Les températures de l'huile ( $T_{entr} = 74^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{sort} = 61^{\circ}\text{C}$ )

Ce qui nous permettrait de déterminer l'efficacité de refroidissement de l'échangeur par la formule suivante [4] :

$$\varepsilon_{ref} = \frac{T_{eH} - T_{sH}}{T_{eH} - T_{eE}} \quad [4]$$

$$\varepsilon_{ref} = 0,57$$

La valeur trouvée après calcul, nous permet de confirmer l'expertise des exploitants : Selon eux, rares étaient les fois où des problèmes survenaient sur l'échangeur de chaleur. Nous ne constatons pas d'anomalies au niveau de l'échangeur de chaleur.

### 3. Audit des aeros-réfrigérants

À son arrivée au niveau des aéros-réfrigérants l'eau de refroidissement est à la température de  $80^{\circ}\text{C}$ . Le rôle des aéros-réfrigérants est de faire descendre cette température à une valeur inférieure à  $50^{\circ}\text{C}$  afin d'assurer le refroidissement de l'huile. L'eau circule avec un débit  $\dot{m} = 25,25\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$  dans la tuyauterie. La quantité minimale de chaleur à retirer de cette eau pour la maintenir à la température souhaitée s'évalue par la formule suivante [5] :

$$Q = \dot{m} \times C_{peau} \times \Delta T \quad [5]$$

$Q$ : chaleur minimale à retirer de l'eau  $W$

$\dot{m}$ : débit massique d'eau circulant  $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$

$C_{peau}$ : capacité calorifique de l'eau  $4,18\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$

$$Q = 3166,35\text{kW}_{th}$$

Pour avoir un bon refroidissement de l'huile, les aéros doivent être capable de retirer  $3166,35\text{kW}_{th}$  de chaleur minimale à l'eau. Sur le circuit de refroidissement de l'eau sont connectés six ventilateurs entraînés par trois moteurs d'une puissance individuelle de  $15\text{kW}$ , nommés 88FC1-88FC2- 88FC 3.

Le tableau 2 permet de déterminer le débit d'air soufflé par les moteur aéros.

Tableau 2:Ventilateurs à l'usage des techniciens et installateurs J.Lexis Ed parisiennes, 1991

Débit volume (m <sup>3</sup> /h)	Puissance nominale du moteur (kW)	Rendement du moteur	Rendement de transmission	Puissance sur l'arbre du ventilateur (kW)	Rendement du ventilateur	Rendement utile global
1 000	0,55	71 %	88 %	0,41	68 %	43 %
10 000	4,00	83 %	89 %	3,35	83 %	61 %
20 000	7,50	84 %	90 %	6,61	84 %	64 %
30 000	11,00	88 %	92 %	9,80	85 %	69 %
40 000	15,00	89 %	93 %	13,07	85 %	70 %
50 000	18,50	89 %	93 %	16,34	85 %	70 %
60 000	22,00	91 %	94 %	20,60	81 %	69 %
70 000	30,00	91 %	95 %	23,15	84 %	73 %
80 000	30,00	92 %	95 %	26,14	85 %	74 %
90 000	37,00	92 %	95 %	29,41	85 %	74 %
100 000	37,00	92 %	95 %	32,68	85 %	74 %

Le débit volumique d'air qui traverse chaque aéro-réfrigérant est  $\dot{V} = 40000m^3 \cdot h^{-1}$ .  
 Le débit massique est de  $\dot{m} = \rho \times \dot{V}$ .



Figure 14: Moteur aéro-réfrigérants

Le transfert de chaleur entre l'air et l'eau entraîne l'augmentation de la température de bulbe sec (température sèche) de l'air et décroît son humidité. Le changement d'état de l'air nécessite une quantité de chaleur sensible. Cette énergie est prise à l'eau de refroidissement.

La figure 15 illustre le trajet de l'air sur le diagramme de l'air humide.

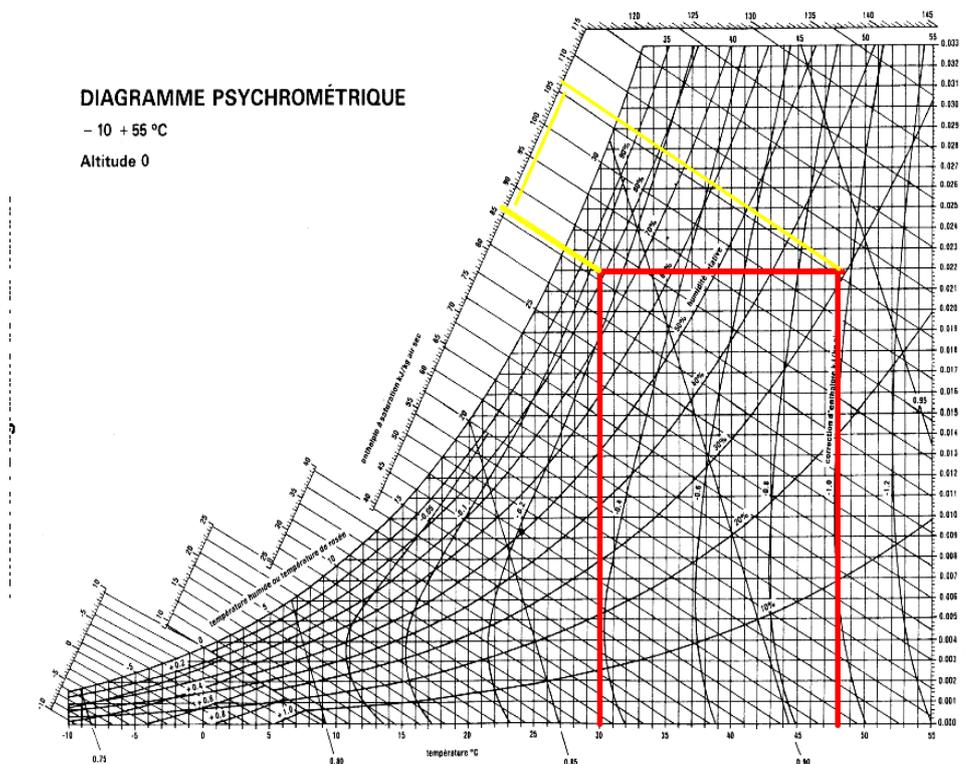


Figure 15: Evolution dans le diagramme de l'air humide d'un processus de chauffage (5)

Les données hygrométriques de l'air à l'entrée des aéros-réfrigérants sont de (30°C, 80%). Le thermomètre de mesure nous donne la température de l'air à la sortie (47°C, 50%) ce qui nous permet de déterminer la quantité de chaleur absorbée par l'air pour changer d'état au niveau de chaque aéro-réfrigérant.

$$q_1 = \dot{m} \times C_{pair} \times \Delta T \quad [6]$$

$q$ : chaleur a retirer de l'eau W

$\dot{m}$ : débit massique d'air circulant  $kg \cdot s^{-1}$

$C_{pair}$ : capacité calorifique de l'air  $1 kJ \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$

$$q_1 = 286kW_{th}$$

La chaleur totale extraite par les aéros-réfrigérants est donnée par la formule suivante :

$$Q = \sum_{i=1}^6 q_i \quad [7]$$

$$Q = 1716kW_{th}$$

Nous observons après les calculs menés que les aéros-réfrigérants n'arrivent pas à retirer toute la chaleur contenue dans l'eau. La quantité de chaleur présente dans l'eau est supérieure à la capacité d'extraction des aéros-réfrigérants. Á cela s'ajoute l'encrassement et le vieillissement des ailettes de refroidissement, qui par manque d'entretien empêchent le passage de l'air. La figure 16 en illustre l'état.



Figure 16: Ailettes de refroidissement

#### 4. Audit de l'installation électrique du système de refroidissement

La figure 17 nous présente de façon synoptique l'installation électrique du circuit de refroidissement. Nous observons que le câblage des moteurs aéros-réfrigérants a été réalisé pour fonctionner seulement avec l'électricité produite par l'alternateur. Autrement dit, aucune installation secours n'a été prévue pour assurer la continuité de service lorsque l'excitation de l'alternateur sera perdue.

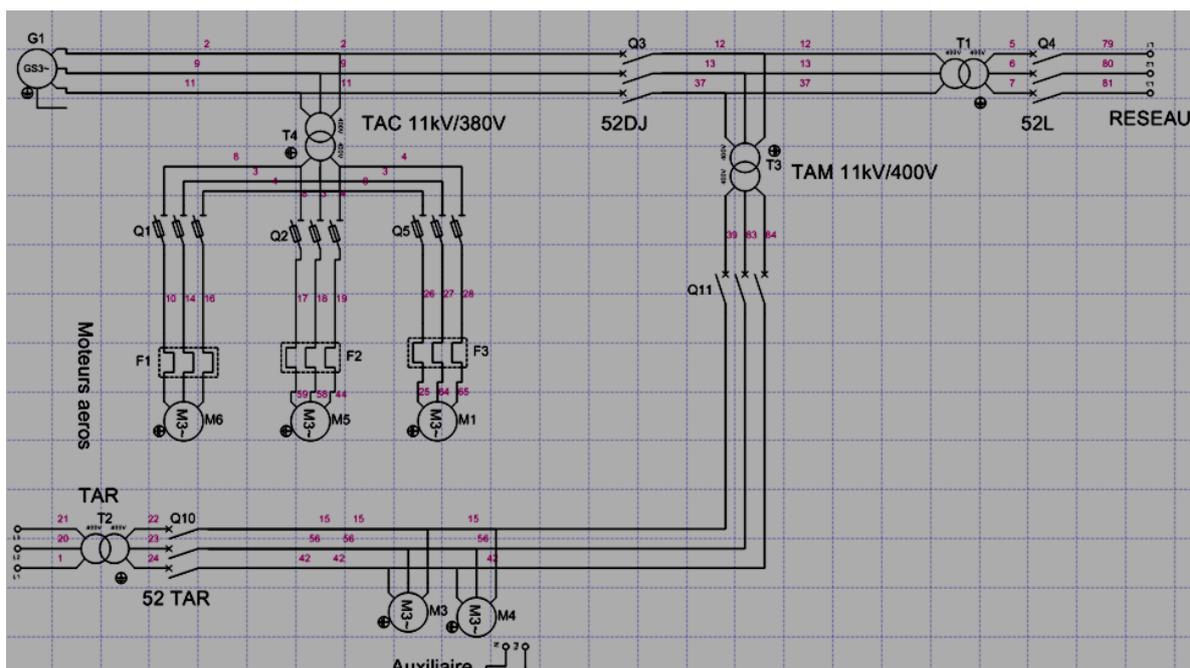


Figure 17: Modélisation du schéma électrique de l'installation

#### Conclusion

Cette partie nous a fait ressortir de façon plus claire les anomalies responsables de la surchauffe indésirable de l'huile de graissage et de ses conséquences. Nous retenons donc que les facteurs majeurs qui agissent sur le système de refroidissement sont :

- La tuyauterie métallique
- Les aéros-réfrigérant
- L'installation électrique

## V. DISCUSSION ET EXAMEN DES SOLUTIONS

Pour atteindre les objectifs fixés, nous avons recours à deux solutions techniques :

- Redimensionnement et délocalisation des moteurs aéros et échangeurs cas de CIPREL *figure 18*.

Moteurs  
aeros  
réfrigérants



Pompe  
électrique

Figure 18 : réfrigérants délocalisés CIPREL

- Optimisation et adaptation des paramètres importants du refroidissement

Nous avons procédé au choix selon des critères que nous avons jugé très importants :

- ❖ Le temps de réalisation
- ❖ Coût de réalisation
- ❖ Espace d'implantation

Tableau 3: Critères de choix des solutions

	Redimensionnement et délocalisation des moteurs aéros et échangeurs	Optimisation et adaptation des paramètres importants du refroidissement
Temps de réalisation	long	court
Coût de réalisation	cher	moins cher
Espace d'implantation	grand	petit

De l'analyse du *tableau 3* il ressort que la solution techniquement et économiquement viable est la modification des paramètres du système de refroidissement.

L'étude qui suivra sera faite sur une machine puis généralisé sur les trois autres.

# **PARTIE B : ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE**

# I. REDIMENSIONNEMENT DES MOTEURS AÉROS-RÉFRIGÉRANTS

## Introduction

L'audit réalisé dans le [chapitre III. 3](#), nous a clairement démontré que les ventilateurs n'arrivaient pas à retirer la chaleur minimale contenue dans l'eau pour assurer un bon refroidissement de l'huile. Il est donc important d'adapter les moteurs aéros-réfrigérants existants aux besoins. Ces nouveaux moteurs nous permettront d'avoir la température de l'eau dans son réservoir à **45°C**.

Dans ce qui suit, nous nous intéresserons au redimensionnement des moteurs aéros-réfrigérants et au temps mis à extraire la chaleur minimale admissible pour bon refroidissement.

### 1. Débit d'air admissible pour l'extraction de la chaleur de l'eau refroidissement

A travers les calculs menés au [chapitre III. 3](#), nous avons pu évaluer la quantité de chaleur à extraire de l'eau de refroidissement pour l'avoir à **50°C** minimum dans son réservoir. De cette chaleur nous estimerons le débit d'air nécessaire à ventiler pour la refroidir jusqu'à **45°C**.

La quantité de chaleur minimale à retirer de l'eau est de :  **$Q = 3166,35kW_{th}$**

Or de l'équation [6] on a :

$$Q = \dot{m} \times C_{pair} \times \Delta T$$

Donc

$$\dot{m} = \frac{Q}{C_{pair} \times \Delta T} \quad \text{Comme } \dot{m} = \rho \times \dot{V}$$

$$\dot{V} = 556\,560 \text{ m}^3/\text{h}$$

Cependant, la TAG dispose de six ventilateurs, ce débit sera divisé par **6** pour évaluer la quantité d'air à souffler par chaque ventilateur.

$$\dot{v}_1 \approx 90\,000 \text{ m}^3/\text{h}$$

## 2. Choix des moteurs aéros-réfrigérants

Le Tableau 2 nous donne une liste de moteurs aéros en fonction de leur puissance électrique et débit d'air. Notre choix se portera sur un moteur de :

Puissance électrique = **37 KW**

Débit de ventilation = **90 000 m<sup>3</sup>/h**

Puissance sur l'arbre de ventilateur = **29,41 KW**, Hauteur d'axe = **200mm**

Les trois moteurs à installer ont une puissance active totale de **P = 111KW**. Avec un **cos ρ = 0,8**, le transformateur capable de les alimenter doit avoir une puissance apparente **S = 140 KVA**. Le transformateur **TAC** qui alimente actuellement les moteurs aéros-réfrigérants a une puissance apparente **S = 50 KVA**. Nous allons donc les connecter directement sur le TGBT (puissance apparente **S = 1000 KVA**) capable de supporter les nouveaux moteurs à installer.

Ces moteurs seront disposés en lieu et place des anciens moteurs. L'espace disponible est suffisamment grand pour recevoir un moteur légèrement supérieur par rapport aux précédents.

Nous garderons la même configuration des moteurs, soient les mêmes hélices et deux ventilateurs sur un moteur.

## 3. Évaluation du temps mis pour refroidir l'huile à la température de 50°C

A l'arrêt turbine, l'eau de refroidissement est à la température de 80°C. Notre système servira à maintenir l'eau à la température maximale de 50°C. A l'arrêt turbine la température de l'huile est à 76°C, nous souhaiterons la maintenir à son tour à 46°C.

### a. Quantité de chaleur à retirer de l'huile pour la maintenir à 50°C

L'huile utilisée à la centrale thermique de VRIDI est l'huile minérale **PRESCILIA 32**. Les caractéristiques physico-chimiques sont renseignées dans le tableau 4 ci-dessous.

Tableau 4: Caractéristiques physico-chimique de l'huile PRESCILIA

Masse volumique à 30°C	Volume	Capacité calorifique	Viscosité
1500 kg · m <sup>-3</sup>	6,5m <sup>3</sup>	3 kJ · kg <sup>-1</sup> · °C <sup>-1</sup>	32

Au travers ces données, cette formule nous permet de calculer la chaleur à extraire de l'huile pour la ramener à 46°C.

$$E = \rho_{huile} \times V \times C_{phuille} \times \Delta T \quad [8]$$

$$E = 877\,500,95 \text{ kJ}$$

#### *b. Temps de refroidissement*

Le temps de refroidissement de l'huile sera évalué par la formule suivante :

$$E = Q_r \times t \quad [9]$$

*E*: énergie à retirer à l'huile pour l'abaisser à 46°C (**kJ**)

*Q<sub>r</sub>*: chaleur extraite à chaque instant par l'eau au niveau de l'échangeur de chaleur (**kW**)

*t*: temps de refroidissement(**s**)

Étant donné que nous avons les températures entrées et sorties de l'eau au niveau de l'échangeur, [chapitreIV.2](#). La formule [5] qui suit nous permet d'évaluer la chaleur prélevée à chaque instant à l'huile.

$$Q_r = \dot{m} \times C_{peau} \times \Delta T$$

$$Q_r = 527 \text{ kW}_{th}$$

Le temps de refroidissement est donné par la formule [9]:

$$t = \frac{E}{Q_r}$$

$$t \approx 1865,08 \text{ s} = 30 \text{ min}$$

#### **Conclusion**

Le système de refroidissement qui sera installé nous permettra une réduction importante du temps de refroidissement lors des arrêts. Ce qui permettra de faire des économies importantes.

## II. EXECUTION AUTOMATIQUE

### Introduction

Dans ce chapitre nous allons apporter des modifications sur l'installation électrique comme vu au [chapitre III.4](#). Nous nous focaliserons sur la technologie à mettre en place pour assurer la continuité de service ce, par réduction de la quantité d'eau déminéralisée rejetée. Pour ce faire, l'accent sera porté sur les différents cas de figure caractérisant le fonctionnement automatique. Ensuite, nous esquisserons le pupitre de commande représentant l'interface homme machine (IHM).

### 1. Sources d'alimentation

#### a. Le transformateur principal

La transmission de l'énergie électrique sur le réseau se fait par l'intermédiaire d'un transformateur élévateur. Ce transformateur est raccordé, du côté primaire au groupe turbo-alternateur, et côté secondaire au jeu de barres haute tension du poste CIE. Ce transformateur triphasé, a une fréquence de 50Hz et un rapport de transformation 11/225 kV avec un couplage triangle/étoile.



Figure 19: Transformateur principal

#### b. Le transformateur auxiliaire réseau (TAR)

Avant et pendant le démarrage de la turbine les auxiliaires sont alimentés par un transformateur lié au réseau et qui transforme la moyenne tension du réseau.

#### c. Le transformateur auxiliaire machine (TAM)

Ce transformateur assure l'alimentation des auxiliaires à la fin de la séquence de démarrage de la turbine (environ 95% de la vitesse nominale). Le TAM est lié à la sortie de l'alternateur par son primaire et aux auxiliaires par son secondaire. C'est un transformateur abaisseur de tension.

## 2. Mise en œuvre

La partie mise en œuvre de notre système, demande une maîtrise parfaite de toutes les éventualités. Nous avons donc subdivisé plusieurs scenarios.

### SCENARIO N°1 :

L'alternateur est excité, les moteurs aéros-réfrigérants sont connectés sur le TGBT. La pompe attelée assure la circulation de l'eau de refroidissement.

### SCENARIO N° 2 :

L'alternateur est déexcité, les moteurs aéros-réfrigérants sont toujours connectés sur le TGBT. La pompe attelée est hors service. La pompe électrique secours se met en marche et connectée sur le TGBT. L'ordre d'arrêt des moteurs et de la pompe secours est donné par le thermostat lorsque la température de l'huile est inférieure à 50°C.

La figure 20 montre le modèle de toutes les solutions.

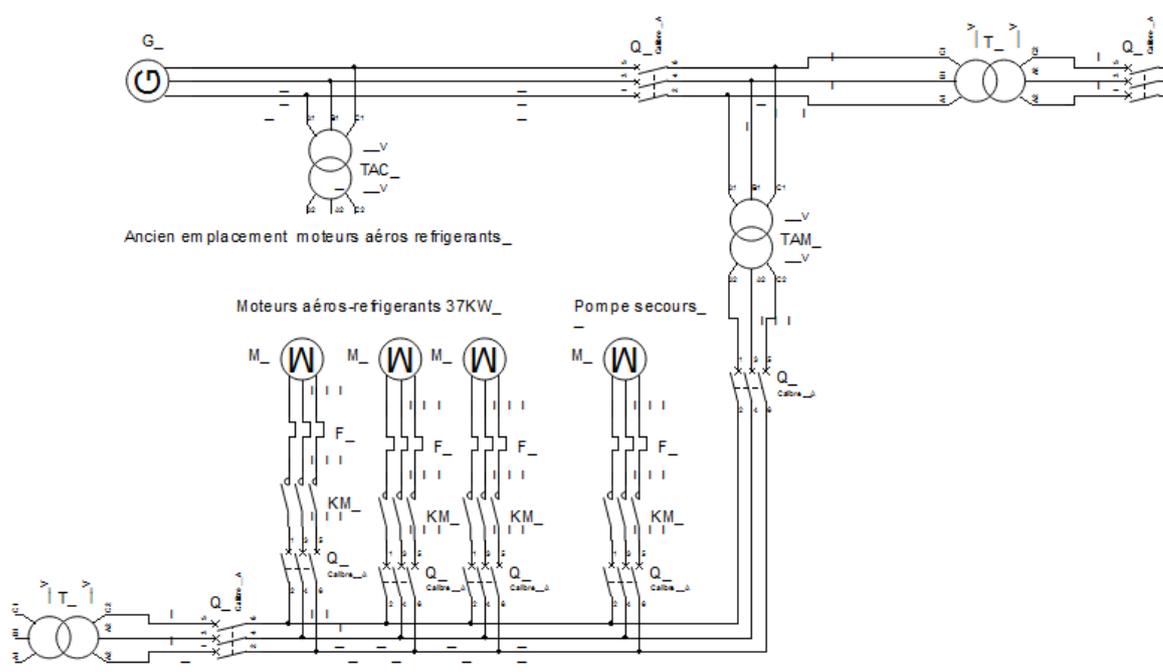


Figure 20: Schéma de fonctionnement des solutions

### 3. Automatisation du système

L'automatisation d'un système est l'ensemble des modifications apportées à ce système de sorte que l'exécution des tâches techniques se fasse par des équipements de diverses natures (mécaniques, électriques, pneumatiques ou hydrauliques...) fonctionnant sans une intervention humaine (3). Pour fonctionner tout système automatisé est constitué de trois parties distinctes qui échangent des informations. Il s'agit :

- De la partie opérative
- De la partie commande
- Du pupitre

#### a. Modélisation de la partie opérative.

Pour assurer son fonctionnement automatique, le système a besoin de certains équipements. Ces équipements sont des composantes de la partie opérative. Ainsi nous portons notre choix sur **des capteurs, une motopompe.**

##### ➤ Capteurs

Notre système automatisé doit posséder des capteurs électriques et des détecteurs pour transmettre les différents états du système au pupitre de commande. Ainsi nous portons le choix sur :

- 01 Détecteur de présence tension électrique

Informera sur l'état excité ou non excité de l'alternateur à l'automate.

- 01 Thermostat

Transmettra la température de l'huile de lubrification dans la cuve à l'automate.

- 01 Détecteur de circulateur de débit d'eau.

Transmettra les données sur le débit de l'eau en circulation dans les tuyaux à l'automate

- 01 Détecteur de courant

Donnera l'état de fonctionnement des moteurs aéros-réfrigérants à l'automate.

- 01 Compteur de tours

Transmettra le nombre de tours de la pompe attelée à l'automate.

##### ➤ Motopompe

Nous utiliserons dans notre système automatisé une **motopompe secours PS** pour assurer la continuité de service lorsque la **pompe attelée PA** sera perdue.

➤ **Grafcet de production normal GPN point de vue procédé**

La figure 21 illustre le grafcet fonctionnel qui présente une vue des différentes séquences de permutations de l'installation.

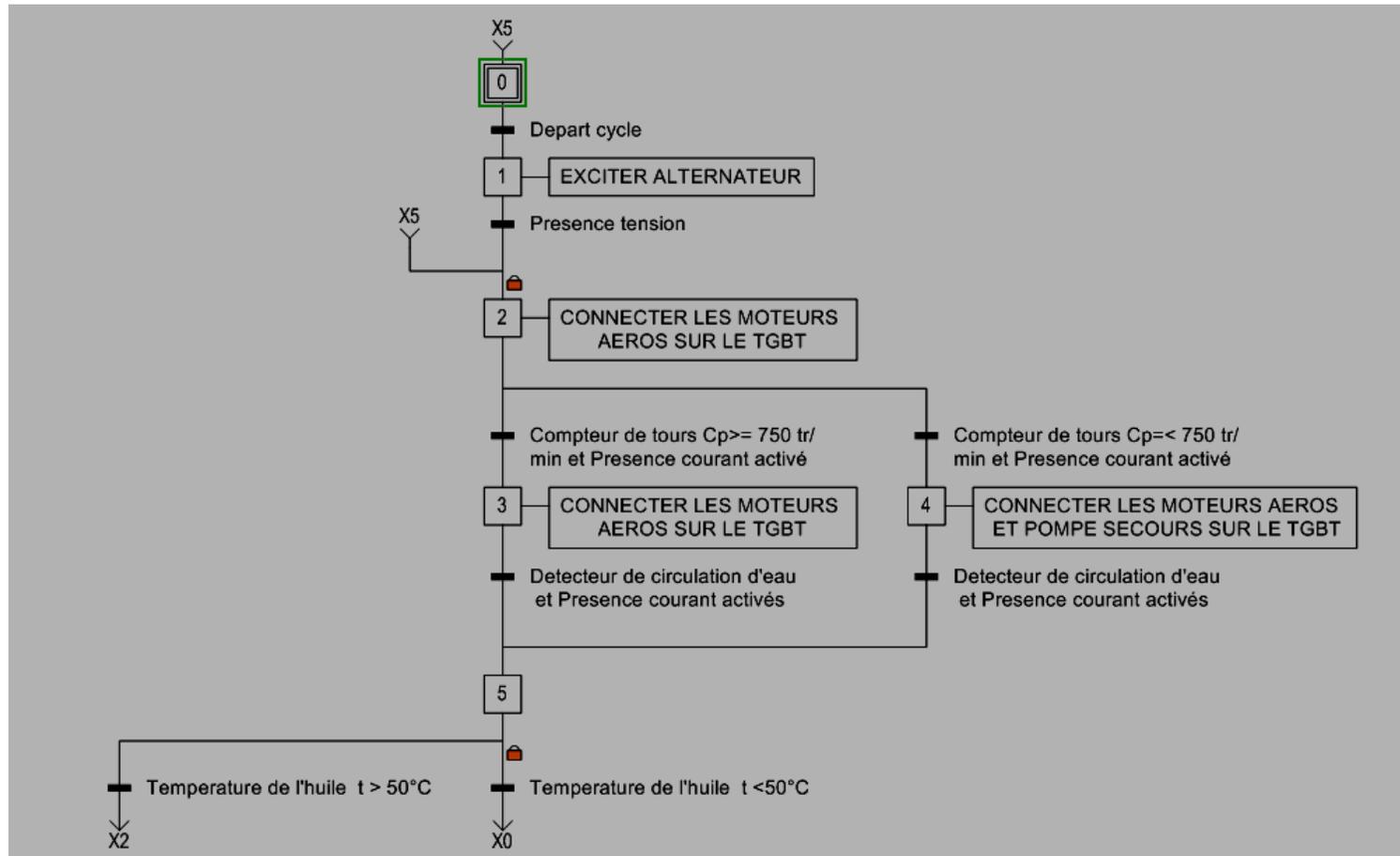
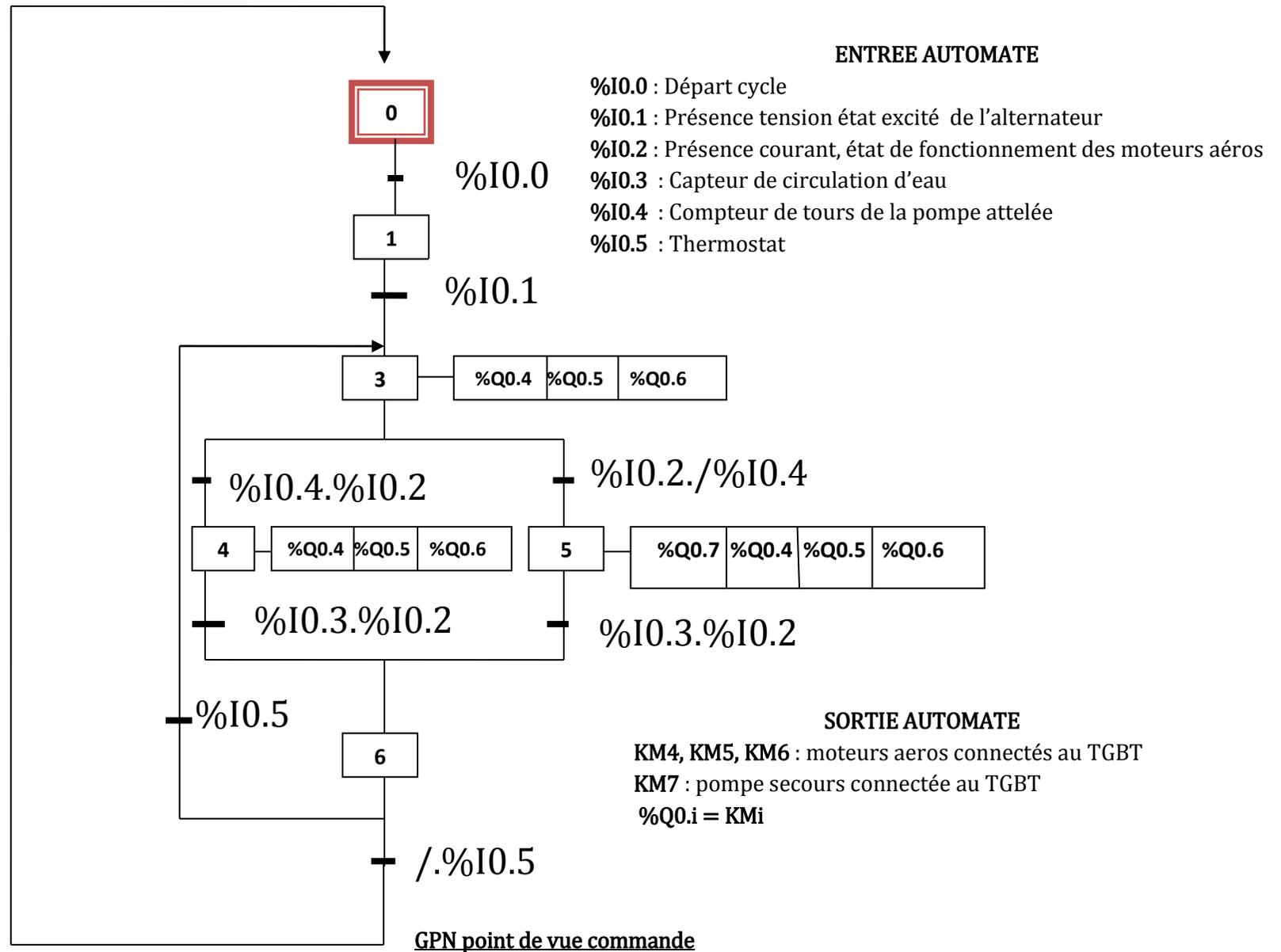


Figure 21: Grafcet de production normale point de vue procédé



### *b. Modélisation de la partie commande*

La modélisation de la partie commande donne à l'opérateur plusieurs options afin d'échanger avec la partie opérative en fonction des imprévus (les arrêts en fin de journée, défaillances, coupures d'électricité,...) qui pourraient subvenir. Ces différentes options sont les modes de marches et d'arrêts du système.

#### *i. Guide d'étude des modes de marches et d'arrêts : GEMMA*

Le GEMMA (Guide d'Etude des Modes de Marches et d'Arrêts) est un document qui permet d'aider à réfléchir aux modes qui seraient utilisés pour la machine en étude, ainsi qu'aux conditions qui permettent de passer d'un mode à l'autre (4).

Nous avons pu dégager les trois cycles suivants :

- Cycle de marche-arrêt automatique
- Cycle de marche manuelle
- Cycle de défaillance

#### **Cycle de marche-arrêt automatique**

Les rectangles d'états du GEMMA **A1 - F1 - A2 - A1** forme le cycle de marche-arrêt automatique de notre système. Notre système de refroidissement en **A1** se trouve à l'arrêt à l'état initial, la température de l'huile dans le bac est inférieure à **50°C**. Lorsque l'opérateur sélectionne « **auto** » et appuie sur le bouton « **marche** » du pupitre, alors notre système entre dans l'état **F1** et le fonctionnement automatique du système se met en marche.

Lorsque l'opérateur voudra arrêter ce fonctionnement, il appuiera sur « **arrêt** » du pupitre, alors le système passera de l'état **F1** à l'état **A2** à ce niveau le cycle continu jusqu'à atteindre **50°C**. C'est alors que le système repassera à l'état **A1**.

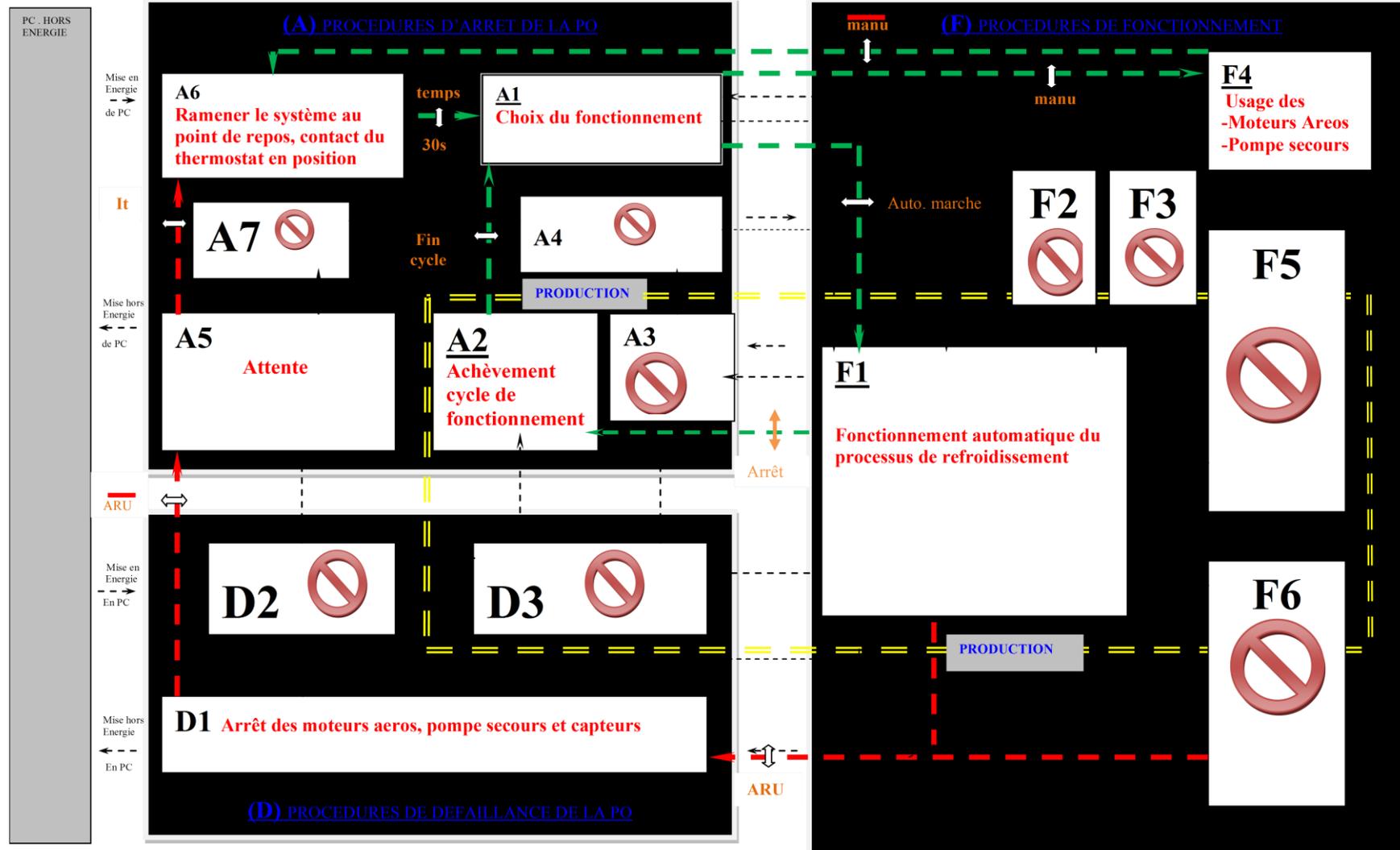
#### **Cycle de marche manuelle**

C'est le cycle **A1 - F4 - A6 - A1** de la feuille GEMMA. Quand le système de refroidissement est à l'état initiale **A1**. L'opérateur peut choisir « **manu** ». Le système est contraint à passer à l'état **F4** où l'opérateur peut démarrer les moteurs aéros-réfrigérants et la pompe secours à sa guise. Lorsque l'opérateur quitte l'option « **manu** », le système passe à l'état **A6** où le système de refroidissement est remis en état initiale et s'arrête 30 secondes après en **A1**. L'état **F4** permet de vérifier certaines fonctions ou certains mouvements sur machine sans forcément respecter l'ordre du cycle.

# GEMMA

Guide d'Etudes des Modes de Marches et d'Arrêts

Références de l'équipement :



### Cycle de défaillance

Le cycle **F1 - D1 - A5 - A6 - A1 - F1** représente le cycle des défaillances. C'est dans cet état que l'opérateur enclenche l'Arrêt d'urgence : « **ARU** ». Le système de refroidissement passe de **F1** à **D1**. En **D1**, les moteurs aéros-réfrigérants et la pompe secours sont à l'arrêt, avec ouverture immédiate de tous les disjoncteurs.

Lorsque l'arrêt d'urgence est réarmé après maintenance corrective, le système passe à l'état d'attente **A5** où l'opérateur ferme les disjoncteurs. Et lorsque l'opérateur actionne « **It** » (initialisation) alors le système passe à **A6** où les conditions initiales de fonctionnement sont restaurées. 30 secondes après, le système passe à l'état **A1**. De cet état **A1**, si l'opérateur active « **auto** » et « **marche** », le système reprend son fonctionnement automatique normal en **F1**.

#### ii. Grafcet issu du GEMMA

L'analyse précédente, nous donne les grafkets suivants :

- Grafket de sécurité (**GS**) relatif au cycle de défaillance
- Grafket de conduite (**GC**) relatif aux cycles marche-arrêt automatique et marche manuelle.

Nommons par :

**AUTO** : choix de fonctionnement « automatique » fait par l'opérateur

**MANU**: choix de fonctionnement « manuel » fait par l'opérateur

**ARU** : « arrêt d'urgence» choisi par l'opérateur

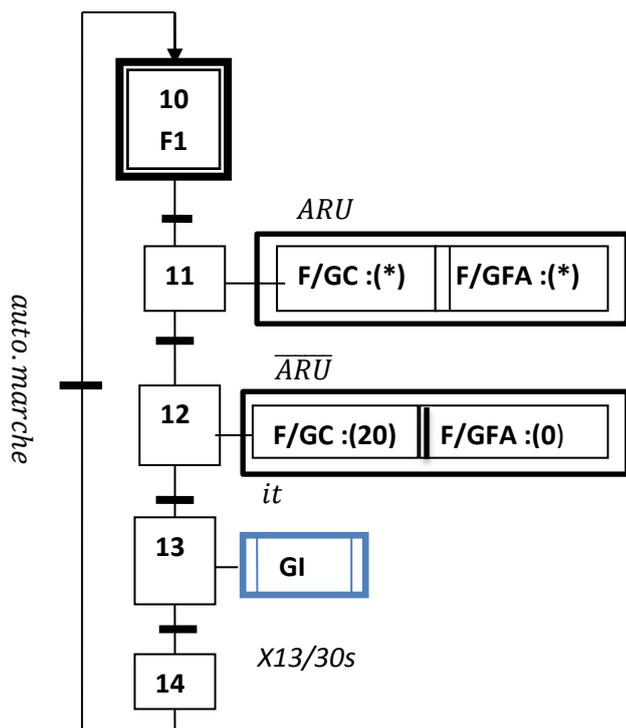
**It** : « initialisation » du système demandé par l'opérateur

**Marche** : démarrer le fonctionnement automatique du système refroidissement

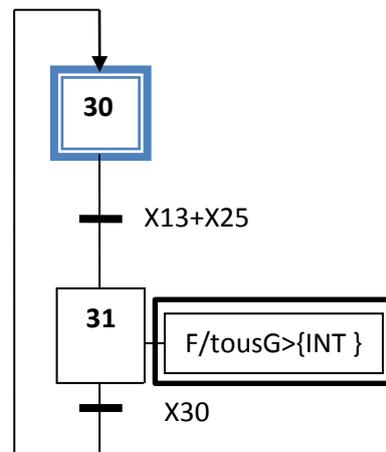
**Arrêt** : stopper le fonctionnement automatique du système refroidissement

**DEMARRER:** }  
**ARRETER :** } Piloter manuellement les moteurs aeros et pompe secours

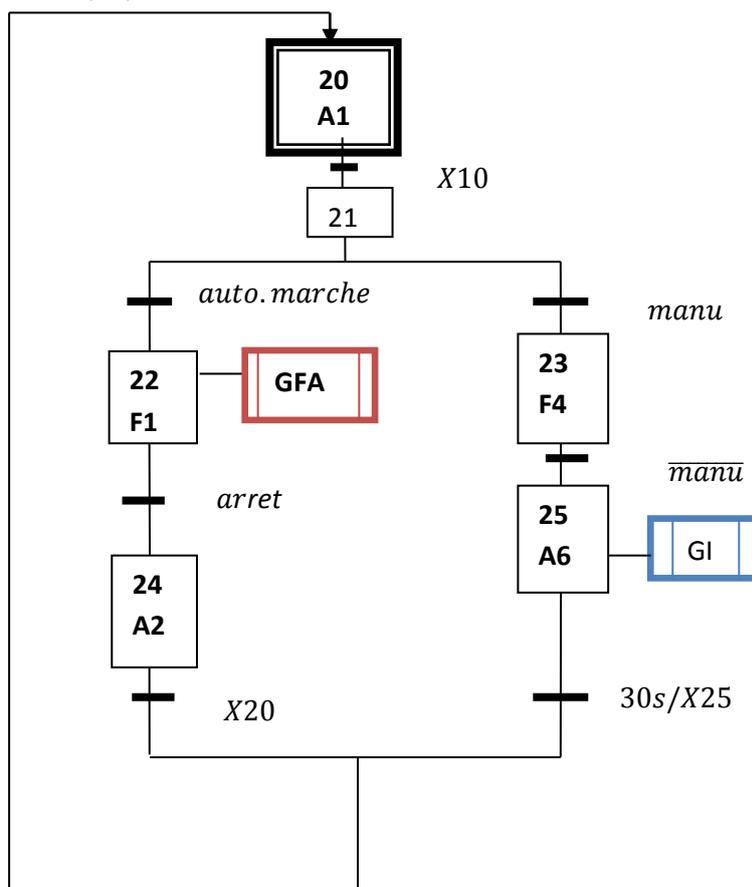
### Grafcet de sécurité (GS)



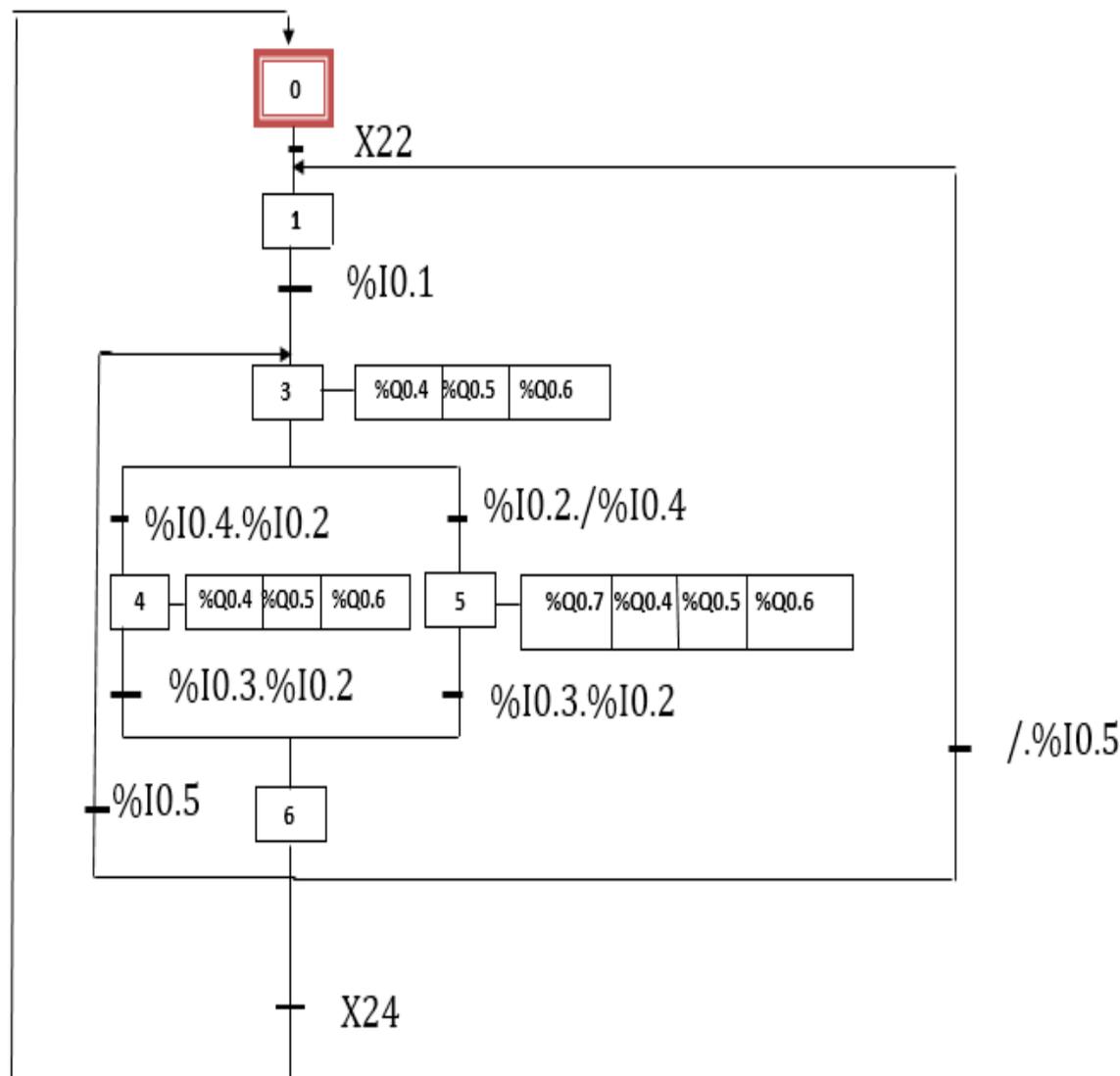
### Grafcet d'Initialisation (GI)



### Grafcet de conduite (GC)



## Grafset de fonctionnement automatisé GFA

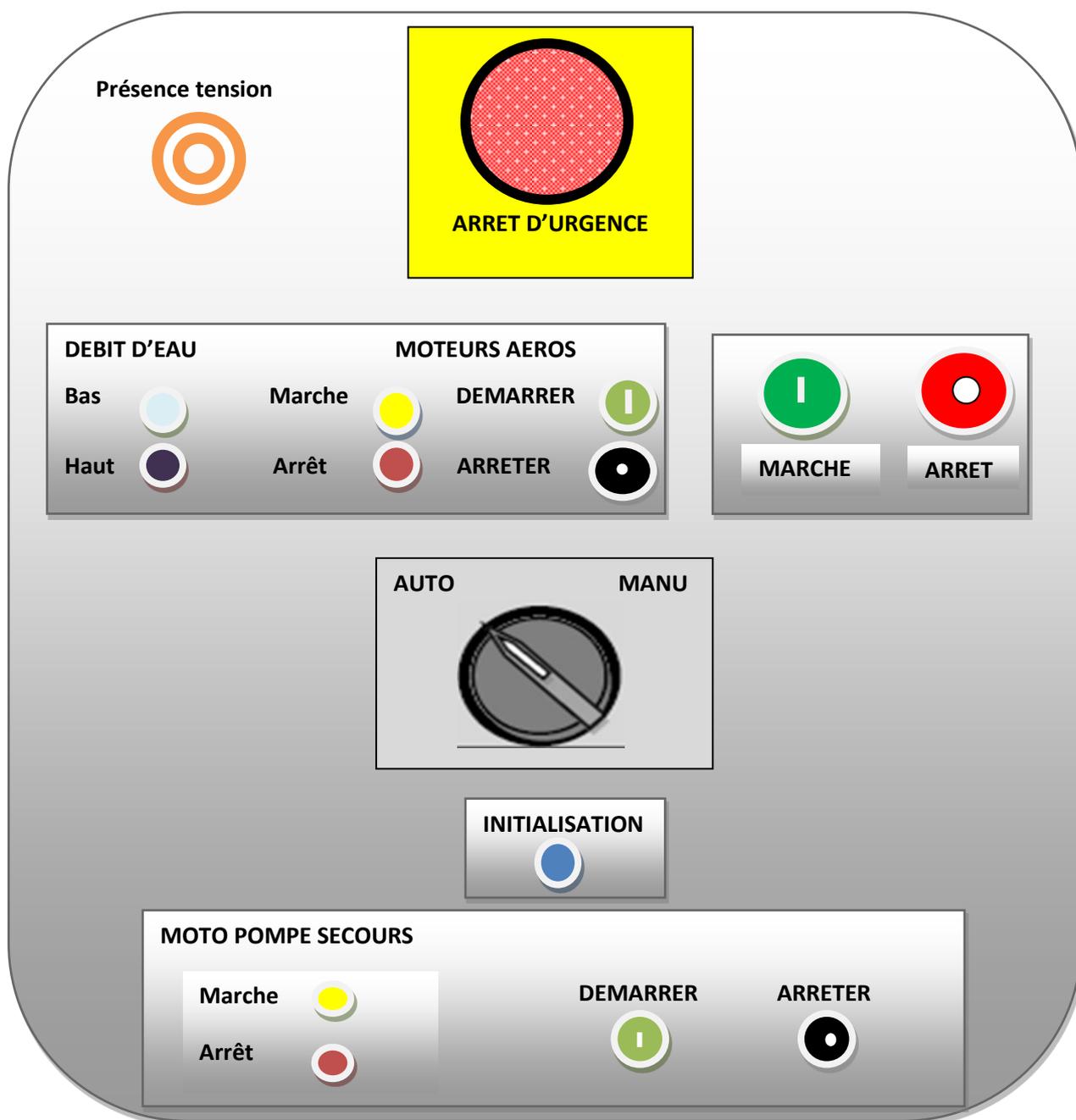


### c. Modélisation du pupitre

L'élaboration du GEMMA rend possible la conception du pupitre de commande (action de l'opérateur). Notre pupitre devra donc avoir les options suivantes : « **auto** », « **manu** », « **marche** », « **arrêt** », « **It** » et « **AU** ». L'utilisateur devra être aussi informé du :

- Du niveau d'eau circulant dans la tuyauterie
- De l'état de fonctionnement des moteurs aéros-réfrigérants
- Du fonctionnement de la moto pompe secours

Ce qui nous conduit à l'ajout d'autres voyants sur le pupitre.



### Conclusion

Contrairement à la logique câblée, la logique programmée offre :

- Un pilotage et un paramétrage facile de notre installation, via une supervision ou un terminal de dialogue.
- Une installation évolutive car facilement modifiable.

Cette conception automatique permettra donc de suivre en temps réel les différentes évolutions. Aussi à travers ce pupitre les exploitants auront la possibilité de piloter le système à leur aise.

### III. INSTRUMENTATION ET PROGRAMMATION

#### Introduction

Nous mettrons l'accent sur le choix des équipements qui permettront d'échanger les informations entre les différents états du système et dans un second temps sur le choix et la programmation de l'automate.

#### 1. Choix des équipements principaux de l'automatisme

L'automatisation du système conçu au chapitre précédent nous conduit à faire des choix par rapport aux équipements principaux qui régissent le fonctionnement automatique. Il s'agit des capteurs, des moteurs et de l'automate.

##### a. Capteurs

Nombreux facteurs interviennent dans le choix des capteurs notamment les conditions d'exploitations, la nature de l'ambiance et la place disponible pour fixer le détecteur.

##### i. Détecteur de présence tension

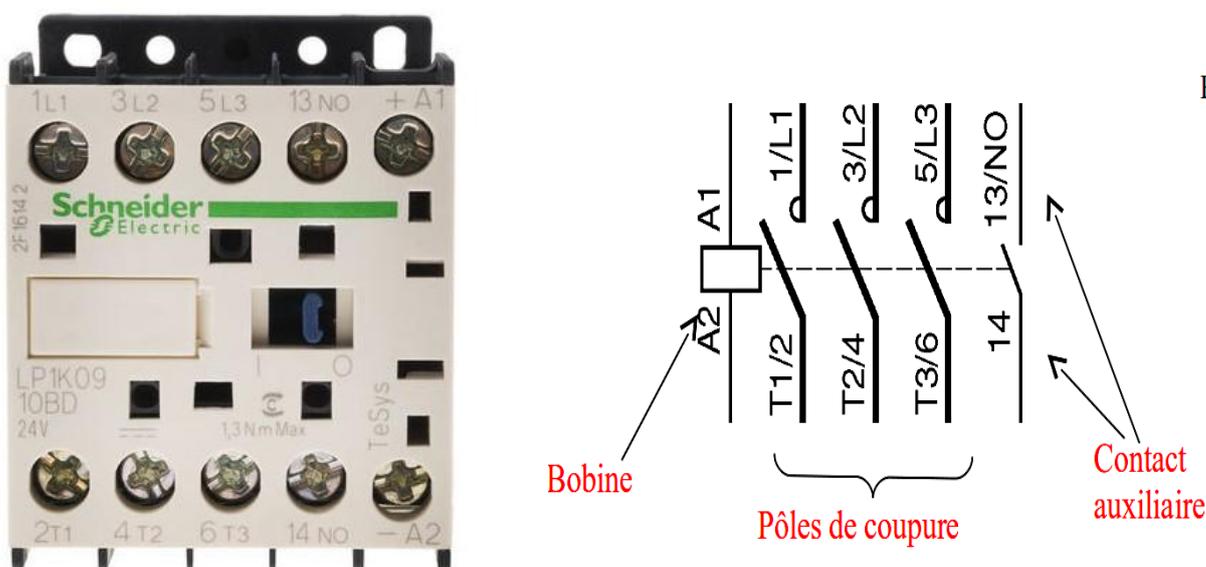


Figure 22: Contacteur, capteur de présence tension

Référence	Sortie	Tension bobine	Qte
LC1F115	TOR	380VAC	01

Le contact auxiliaire du capteur sera connecté sur l'entrée de l'automate, afin de transmettre le signal de la présence tension état alternateur excité.

ii. Thermostat



Figure 223: thermostat

Ce thermostat capillaire est en acier inoxydable. Les calibrages sont réglables à l'aide d'un tournevis pour empêcher toutes manipulations non autorisées. Cet équipement est normalement fermé **NF** et ouvre **NO** sur une élévation de température.

Référence	Sortie	Plage de mesure
FENWAL 17000	TOR	-73 à 316°C

Notre thermostat sera calibré sur 50°C en **NO** (lorsque l'huile sera à 50°C le contact s'ouvrira).

iii. Détecteur de circulateur de débit d'eau

Référence	Sortie	Etendue de mesure	Plage température
SM5000	4-20mA	0,5-900 L/min	-10 à 70°C



Figure 24: capteur de circulateur eau

L'appareil surveille et détecte le débit.

La sortie est normalement fermée **NF** si le fluide est en débit, (dans la plage de vitesse calibrée) /s'ouvre si le fluide n'est pas en débit **NO**.

Pendant le montage le bout de la sonde doit être complètement couvert par le fluide. L'information récupérée par le capteur est transmise à l'automate.

L'eau en circulation dans la tuyauterie est à 1515L /min, notre capteur sera programmé à 800L /min en **NF**. Ainsi dès que l'eau dans la tuyauterie aura un débit faible à celui enregistré par le capteur, le contact sera en **NO** et l'information sera transmise à l'automate.

On notera aussi que ce capteur a déjà été utilisé à la centrale hydroélectrique de TAABO.



Figure 25: Pose de capteur de circulateur d'eau à TAABO

iv. Détecteur de courant

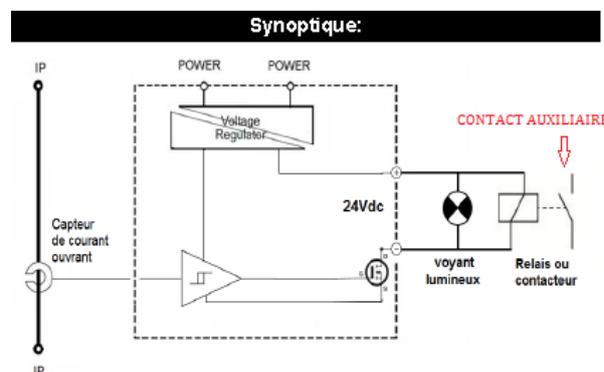


Figure 26: détecteur de courant

Référence	Etendue de mesure entrée	Sortie	Alimentation	Température
LOREME DIL36	0,1A-100A	24VDC	220V AC	20-60°C

Le contacteur associé servira à convertir les 24VDC de sortie du capteur en un signal TOR exploitable par notre automate.

v. **Compteur de tours**

Le capteur est constitué d'une bobine enroulée autour d'un noyau magnétique ainsi que d'un aimant permanent. Ce Capteur angulaire analogique est conçu pour environnement sévère. Il comptera le nombre de tours de la pompe initialement en fonctionnement normal à **3000trs/min**.



Figure 27: Compte tour

Référence	Sortie	Plage de mesure
AWSX-90-420A	4-20mA	0-10000trs /min

*b. Pompe électrique*

Notre pompe attelée principale refoule l'eau à une pression de **5bars** soit à **50mCE**. La nouvelle pompe électrique à installer devra en plus d'avoir un débit acceptable pouvoir vaincre cette perte de charge.

Cette pompe sera installée sur la conduite d'amenée de l'eau.



Figure 28: Pompe électrique secours

Référence	Débit	HMT	Puissance	tension
LS80-65-200L	90 m <sup>3</sup> /h	50 mCE	22 KW	400V

## 2. Choix de l'automate programmable industriel A.P.I



Figure 29:Automate zelio

AUTOMATE PROGRAMMABLE INDUSTRIEL	
FABRICANT	: ZELIO DE SCHNEIDER
TYPE	: SR3B 261 BD
ALIMENTATION	: 24VDC
ENTREE	: 10 TOR +6(0-10V)
SORTIE	: 10
HORLOGE	: OUI
LANGAGE	: LD /FDB
CORDON	: SR2 CBL01

Nous disposons en permanence d'une source de tension continue de **125 V**. Elle sera utilisée via un convertisseur pour être traduire à **24VDC** afin d'alimenter l'automate.

*a. Equation des grafjets*

**GRAFJET DE SECURITE GS**

$$Y_{10} = X_{10}.ARU$$

$$Y_{11} = X_{11}. / ARU$$

$$Y_{12} = X_{12}.It$$

$$Y_{13} = X_{13}.(\text{tempo } 30s)$$

$$Y_{14} = X_{14}. \text{Auto. Marche}$$

$$X_{10} = Y_{13} + X_{10}. / Y_{10} + \text{Init}$$

$$X_{11} = (Y_{10} + X_{11}. / Y_{11}). / \text{Init}$$

$$X_{12} = (Y_{11} + X_{12}. / Y_{12}). / \text{Init}$$

$$X_{13} = (Y_{12} + X_{13}. / Y_{13}). / \text{Init}$$

$$X_{14} = (Y_{13} + X_{14}. / Y_{14}). / \text{Init}$$

$$X_{20} = X_{12}$$

$$X_0 = X_{12}$$

**GRAFJET DE CONDUITE GC**

$$Y_{20} = X_{20}.X_{10}$$

$$Y_{21} = X_{21}.Manu + X_{21}.Auto. Marche$$

$$Y_{22} = X_{22}.Arret$$

$$Y_{23} = X_{23}. / Manu$$

$$Y_{24} = X_{24}.X_{20}$$

$$Y_{25} = X_{25}. (\text{tempo } 30s)$$

$$X_{20} = Y_{25} + Y_{24} + X_{20}. / Y_{20} + \text{Init}$$

$$X_{21} = (Y_{20} + X_{21}. / Y_{23}. / Y_{22}). / \text{Init}$$

$$X_{22} = (Y_{21} + X_{22}. / Y_{22}). / \text{Init}$$

$$X_{23} = (Y_{21} + X_{23}. / Y_{23}). / \text{Init}$$

**GRAFJET D'INITIALISATION GI**

$$Y_{30} = X_{30}.(X_{13} + X_{25})$$

$$Y_{31} = X_{31}.X_{30}$$

$$X_{30} = Y_{31} + X_{30}. / Y_{31} + \text{Init}$$

$$X_{31} = (Y_{30} + X_{31}. / Y_{31}). / \text{Init}$$

$$X_0 = X_{31}$$

$$X_{20} = X_{31}$$

$$X_{10} = X_{31}$$

$$X_{24} = (Y_{22} + X_{24}. / Y_{24}). / \text{Init}$$

$$X_{25} = (Y_{23} + X_{25}. / Y_{25}). / \text{Init}$$

$$X_0 = X_{22}$$

$$X_{30} = X_{25}$$

## GRAFCET DE FONCTIONNEMENT AUTOMATIQUE

$$Y0 = X0. X22$$

$$Y1 = X1. \%I0.1$$

$$Y3 = X3. \%I0.4.\%I0.2 + X3.\%I0.2./\%I0.4$$

$$Y4 = X4. \%I0.3.\%I0.2$$

$$Y5 = X5. \%I0.3.\%I0.2$$

$$Y6 = X6. (\%I0.5 + /\%I0.5 + X24)$$

$$X0 = Y6+X0./Y0 +Init$$

$$X1 = (Y0+ X1./Y1 )./Init.$$

$$X3 = (Y1+ Y6+X3./Y3)./Init.$$

$$X4 = (Y3+X4./Y4)./Init.$$

$$X5 = (Y3+X5./Y5)./Init.$$

$$X6 = (Y5+ Y4+X6./Y6)./Init$$

$$\%Q0.4 = X4 + X5 + X3$$

$$\%Q0.5 = X4 + X5 + X3$$

$$\%Q0.6 = X4 + X5 + X3$$

$$\%Q0.7 = X5$$

### *b. Câblage*

Dans le but de ne pas détériorer (liées à la chute de tension au niveau des câbles) le signal de sortie des capteurs, nous utiliserons des câbles spéciaux à très faibles chute de tension (3). Notre automate ne possède que des entrées **TOR** et analogique **0-10V**, or nous avons parmi nos capteurs deux capteurs sorties courant **4-20mA**. Pour pallier à ce problème, l'ajout d'un convertisseur signal serait un atout. Nous choisirons à cet effet le convertisseur **ISCOON**.

### **Conclusion**

Nous avons au travers de ce qui a suivi pu, déterminer les équipements principaux caractéristiques de notre système automatisé. Notre système automatisé, pourra donc fonctionner en toute aisance en tenant compte de toutes les éventualités prévues dans la conception de son grafcet.

## IV. ETUDE ECONOMIQUE

### Introduction

Après avoir évalué les gains en termes d'économie d'eau et de pression sur l'environnement réalisable après installation notre système de refroidissement à la centrale thermique de VRIDI. Cette partie, nous éclairera sur le coût du système et la durée du retour sur investissement d'un tel projet.

#### 1. Evaluation financière de l'eau déminée gaspillée

Comme expliqué au chapitre II.4.b, nous avons évalué le coût d'un mètre cube d'eau à 2500 F/m<sup>3</sup>. En plus des données recueillies nous avons pu monter la matrice ci-dessous. *Le tableau 5* nous donne les coûts en FCFA des quantités d'eau gaspillée.

Tableau 5: Coûts annuels en FCFA des quantités d'eau

ANNEE	QUANTITE D'EAU(L)	COÛT DE L'EAU (FCFA)
2016	1 881 600	4 704 000
2015	2 131 200	5 328 000
2014	2 195 200	5 488 000

#### 2. Coût d'investissement

Le coût d'investissement regroupe le coût d'acquisition des appareils qui seront installés pour mettre en œuvre notre système de refroidissement et aussi le coût d'exploitation. Ce dernier comprend essentiellement les coûts de maintenance.

Les principaux appareils de base de notre projet sont listés dans *le tableau 6*:

Tableau 6: Coût d'acquisition du matériel

MATERIELS PRINCIPAUX			
Désignation	Nombre	Prix unitaire	Prix total
Relais thermique	04	35 100	140 400
Contacteurs triphasés	05	60 000	300 000
Disjoncteur	04	150 800	603 200
Thermostat	01	141 050	141 050

Circulateur d'eau	01	152 100	152 100
Détecteur de courant	01	90 000	90 000
Compte tours	01	140 400	140 400
Motopompe	01	1 170 000	1 170 000
Automate	01	175 000	175 000
Moto ventilateur	03	1 690 000	5 070 000
<b>MATERIELS SECONDAIRES</b>			
<b>Désignation</b>	<b>Nombre</b>	<b>Prix unitaire</b>	<b>Prix total</b>
Boutons poussoirs	03	7800	23400
Voyants	09	—	60 000
Convertisseur de signal	02	97 500	195 000
Commutateur à 2 positions	01	7800	7800
Bouton poussoir coup de point pour arrêt d'urgent	01	60 450	60 450

Nous allons récapituler tous ces coûts dans *le tableau 7* ci-dessous afin d'en présenter le coût d'investissement de notre projet.

**Tableau 7: coût total d'investissement**

Coût d'acquisition	8 268 809
Coût de maintenance	700 000
<b>Coût d'investissement<sup>2</sup></b>	<b>8 968 809</b>

<sup>2</sup> Tous les prix et coûts sont en FCFA HT

### 3. Temps de retour sur investissement (TRI)

Le temps de retour sur investissement est l'intervalle de temps durant lequel les gains financiers réalisés jusque-là égaliseront les investissements faits.

La mise en équation mathématique permet d'avoir la formule suivante :

$$TRI = \frac{\text{Coût d'acquisition}}{\text{Coût financier/an} - \text{Coût d'exploitation/an}} \quad [10]$$

$$TRI = \frac{8\,768\,809}{4\,704\,000 - 700\,000}$$

$$TRI = 1,93$$

Le temps de retour sur investissement est de **2 ans**.

#### Conclusion

Cette étude financière nous fait ressortir de façon plus claire les avantages à utiliser ce système. Avec un temps de retour sur investissement de 2ans, la Compagnie Ivoirienne d'Electricité sera capable d'amortir son investissement en deux ans. Ce qui est économiquement rentable.

## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Nous avons au terme de notre stage pu concevoir un système de refroidissement capable de pouvoir en même temps réduire les rejets d'eau et réduire le temps de refroidissement de l'huile de lubrification. Aussi, nous avons pu faire une ébauche sur la sécurité de l'installation et des agents de maintenance. Ce qui, répond effectivement à la problématique évoquée plus haut.

Notons à toutes fins utiles que cette étude n'est pas exhaustive, elle peut être sujette à plusieurs améliorations notamment sur la partie économique. Un choix plus économique pourrait être fait sur les équipements principaux de l'automatisme proposés.

Cependant pour suivre et assurer une maintenance plus aisée et régulière du système installé, nous recommandons à notre structure d'accueil :

- Une augmentation de l'espace prévu pour les moteurs aéros-réfrigérants.



Figure 30: Espace prévu pour les moteurs aéros-réfrigérants

- Vu les changements au niveau du climat, il serait intéressant de faire une étude approfondie sur les propriétés physico-chimiques de l'huile utilisée.
- Faire une isolation de la tuyauterie.

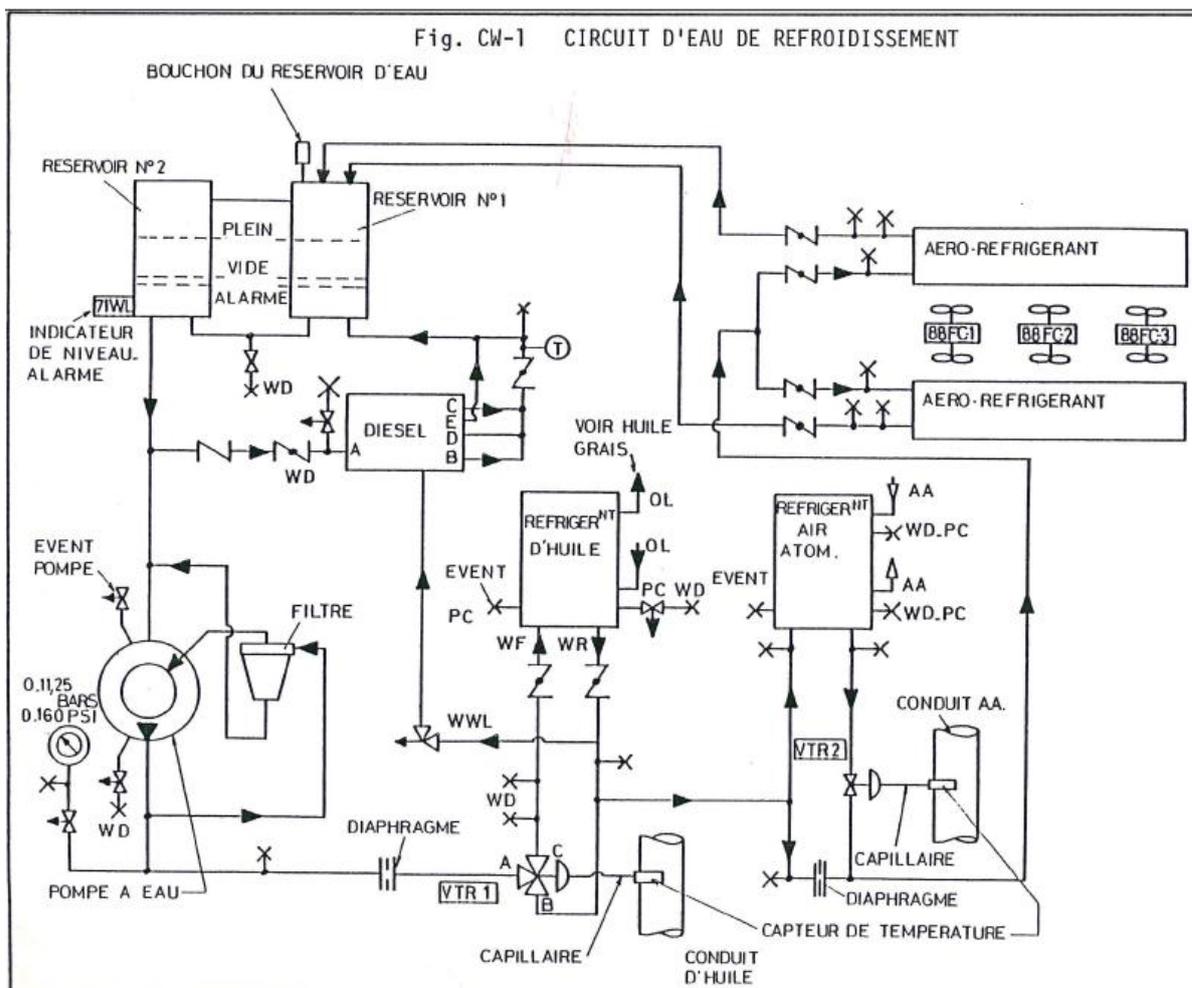
## BIBLIOGRAPHIE

- (1). **ATLANTIQUE, ALSTHOM.** *guide de l'exploitation et entretien.* 1984.
- (2). **sani, lawan.** *Etude pour l'amélioration des performances des turbines à gaz par injection de la vapeur d'eau en amont de la chambre de combustion ; adaptation à la turbine Niamey II.* 2015.
- (3). **Sore, Abdoulaye Ouedraogo et Armand.** *PUBLICATION INTERNE DE L'UNIVERSITÉ DE OUAGADOUGOU.* OUAGADOUGOU : s.n., 2006. p. 78, memoire master.
- (4). **HONORAT, DIE.** *AUTOMATISATION DU SYSTEME DE DECANTATION DE LA CENTRALE THERMIQUE DE VRIDI AVEC.* ABIDJAN : Memoire de fin d'etude, 2012. p. 63.
- (5). **H.SANKARA.** *GRAFSETS HIERARCHISES ET GEMMA.*
- (6). **Francis, SEMPORE Jean.** *TECHNIQUES FRIGORIFIQUES.* OUAGADOUGOU BURKINA FASO : EIER ETSHER, 2005.
- (7). **AZOUMAH, Dr YAO.** *TRANSFERT THERMIQUE.* s.l. : Institut international d'ingenierie de l'eau et environnement, 2008.
- (8). **peulot, Edmond.** [En ligne] <http://perso.wanadoo.fr/edmond.peulot>.
- (9). **C.ROBERT.** *Technique de l'ingénieur. Machine hydraulique et Thermique.* 2000.
- (10). **M, BROUST Jacques.** *Appareillages et Installations Electriques Industriels.* s.l. : DUNOD, 2008.
- (11). **J..Petit, J.Taine et.** *Transfert Thermique, Mécaniques de fluides anisothermes.* s.l. : DUNOD, 1989.
- (12). **O., BAGRE Ahmed.** *Installation électrique.* s.l. : Institut International d'Ingénierie de l'eau et de l'Environnement (2iE), 2012.

## ANNEXES

Annexe 1: Schéma du circuit d'eau de refroidissement de la TAG .....	56
Annexe 2: Schéma de l'huile de lubrification .....	57
Annexe 3: Essais sur l'échangeur de chaleur.....	58
Annexe 4: Efficacité des échangeurs de chaleur .....	58
Annexe 5: Caractéristiques énergétique de la TAG.....	60
Annexe 6: Schéma multifilaire de l'excitation.....	61
Annexe 7: Schéma unifilaire de la distribution d'électricité .....	62

Annexe 1: Schéma du circuit d'eau de refroidissement de la TAG





### Annexe 3: Essais sur l'échangeur de chaleur



Réf: NT-ELT17-02-YDU-001 Ind: A

Date : 15/02/2017

Page: 6/9

#### 2.2. Relevés en fonctionnement

Ci-dessous les relevés, unité en fonctionnement. La colonne de droite est à considérer, l'unité fonctionnant à charge nominale.

En gris, instrumentation existante (indicateurs locaux)

En bleu instrumentation additionnelle.

PARAMETRES MACHINE							
P active		MW	SDC	5	9.8	15	20.5
P reactive		MVAR	SDC	4.4	4.8	5.8	5.6
U stator		KV	SDC	10.85	10.87	10.88	
PARAMETRES MOTEURS VENTILATEUR							
U12		V	Mesure	380	-	-	-
U15		V	Mesure	381	-	-	-
U23		V	Mesure	381	-	-	-
Moteur 1 I1		A	Mesure	16.3	-	-	-
Moteur 1 I2		A	Mesure	16.8	-	-	-
Moteur 1 I3		A	Mesure	16.6	-	-	-
Moteur 2 I1		A	Mesure	14.5	-	-	-
Moteur 2 I2		A	Mesure	14.5	-	-	-
Moteur 2 I3		A	Mesure	14.5	-	-	-
Moteur 3 I1		A	Mesure	16.3	-	-	-
Moteur 3 I2		A	Mesure	16.4	-	-	-
Moteur 3 I3		A	Mesure	16.7	-	-	-
F		Hz	Mesure	50.01	50.08	50.2	49.82
PARAMETRES AUXILIAIRES MACHINE							
T huile chaude Caisse	I1	°C	Instr. Locale	74	78	79	80
T huile froide collecteur	I6	°C	Instr. Locale	61	62	63	64
Teau Sortie caisse huile (eau chaude)	I5	°C	Instr. Locale	56	57	-	59
Teau Entrée caisse huile (eau froide)	I6	°C	Instr. Locale	52	52.8	-	54.5
Teau froide échangeur eau / Huile	T4	°C	Instr. Sup.	50.84	52.13	53.28	53.95
Teau chaude échangeur eau / Huile	T5	°C	Instr. Sup.	54.2	55.94	57.08	57.98
Teau chaude échangeur Eau / Air Gauche	T6	°C	Instr. Sup.	56.2	57.9	58.9	60
Teau chaude échangeur Eau / Air Droit	T7	°C	Instr. Sup.	55.5	57.4	58.5	59.6
Teau froide échangeur Eau / Air Gauche	T8	°C	Instr. Sup.	51.4	52.6	53.7	54.7
Teau froide échangeur Eau / Air Droit	T9	°C	Instr. Sup.	51.6	53.2	54	54.8
Tair chaud échangeur Eau / Air Droit	T10	°C	Instr. Sup.	52.5	53.9	54.2	55
Tair froid échangeur Eau / Air Droit	T11	°C	Instr. Sup.	-	31.8	30.8	30.8

#### Annexe 4: Efficacité des échangeurs de chaleur

L'efficacité d'un échangeur est le rapport de la puissance thermique réellement échangée à la puissance d'échange maximum théoriquement possible, avec les mêmes conditions d'entrées des fluides (nature, débit,...) dans l'échangeur :

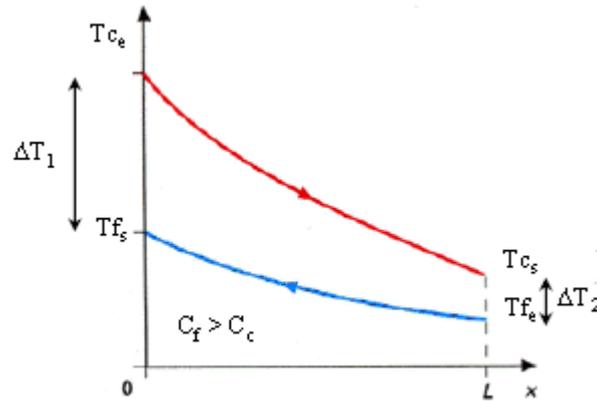
$$\varepsilon = \frac{\Phi_{prel}}{\Phi_{max}}$$

$\Phi_{max}$ : Un des deux fluides subit un changement de température égal au gradient de température maximum existant dans l'appareil. Ce flux de chaleur maximum de transfert est obtenu lorsqu'un des fluides (capacité thermique la plus faible) sort à la

température d'entrée de l'autre. Du point de vue économique, un échangeur est souvent dimensionné pour avoir une efficacité comprise entre 0,5 et 0,6.

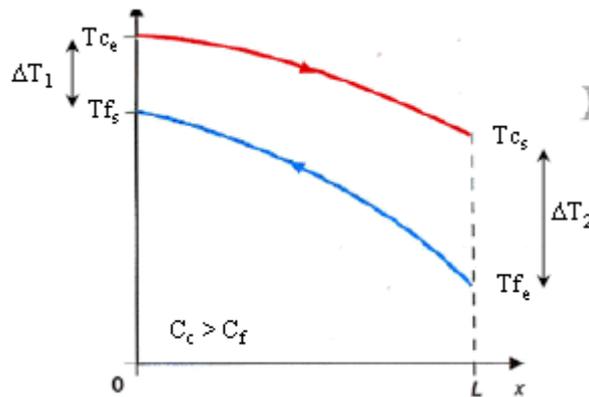
### Efficacité de refroidissement

$$\varepsilon = \frac{T_{ce} - T_{cs}}{T_{ce} - T_{fe}}$$



### Efficacité de chauffage

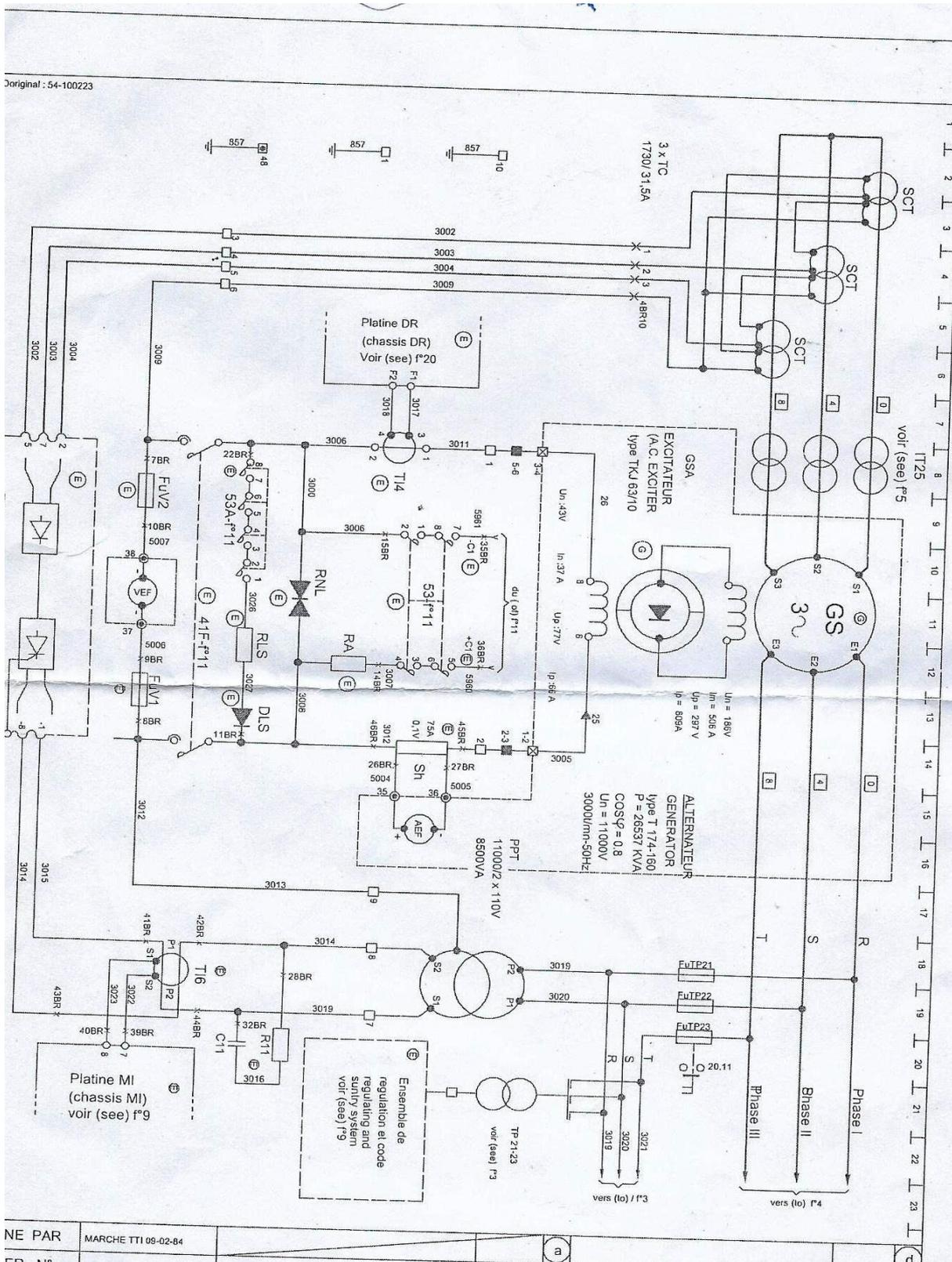
$$\varepsilon = \frac{T_{fs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fe}}$$



**Annexe 5: Caractéristiques énergétique de la TAG**

<b>DESIGNATION</b>	<b>GAZ NATUREL</b>	<b>DDO</b>	<b>HVO</b>
<b>Puissance KW</b>	25 240	24 690	24 690
<b>Consommation spécifique Kcal /KWh</b>	13 060	13 190	13 190
<b>Type de compresseur</b>	Compresseur axial		
<b>Type aube directrice du compresseur</b>	Axial		
<b>Turbine</b>	PG 5361 P		
<b>Nombre d'étages Turbine de compresseur</b>	17		
<b>Nombre d'étages Turbine de puissance</b>	2		
<b>Vitesse arbre turbine de puissance</b>	3000t/mn		
<b>Tension Alternateur kV</b>	11		
<b>Puissance alternateur KW</b>	21 230		
<b>Facteur de puissance</b>	0,8		
<b>Température gaz échappement</b>	500°C		

Annexe 6: Schéma multifilaire de l'excitation



Annexe 7: Schéma unifilaire de la distribution d'électricité

Jeu de barre  
380V :  
Seconde source  
d'électricité pour  
moteurs aéros  
réfrigérants

Moteurs  
Aéros  
réfrigérants

