



Réalisation d'une analyse des modes de défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) du système DC des turbines de la Centrale Electrique à du Congo

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE MASTER

SPECIALITE : GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE INDUSTRIEL

Présenté et soutenu publiquement le 21/01/2019 par

Clif Orfé Ficaeli POUATHY CERINAUD (20150010)

**Encadrant 2iE : Mr. Souleymane BARRO, enseignant en Maintenance Industrielle
Département Sciences et Technique de l'Ingénieur**

Maître de stage : Mr Réda KARIM, Superviseur Electricité CEC/Dietsmann

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Marie SAWADOGO

Membres et correcteurs : Justin BASSOLE
Souleymane BARRO

Promotion

2017/2018

REMERCIEMENTS

Il m'a été particulièrement difficile d'écrire cette partie du mémoire par peur d'oublier les personnes qui ont de façon directe ou indirecte participés au travail effectué par leur aide, leur accueil, leur soutien,... Qu'elles soient toutes assurées de ma plus profonde reconnaissance même si leur nom n'y figure pas.

Tout d'abord je tiens à remercier notre cher institut, l'Institut International de l'Eau et de l'Environnement « 2IE » pour les différentes bases qu'elle nous a transmises tout au long de notre formation d'ingénieur.

Mes vifs remerciements au Docteur Marie SAWADOGO, responsable du laboratoire LabEREE et enseignante à 2IE qui a accepté de diriger ce travail. Trouvez ici l'expression de ma gratitude, ainsi que mes remerciements. Merci pour votre disponibilité.

Je remercie Monsieur Justin BASSOLE, enseignant à 2IE qui a accepté de disposer de son temps afin d'apporter son appréciation et ses corrections à ce travail.

Mon encadrant Monsieur Souleymane BARRO, enseignant en Maintenance à 2IE qui a assuré le suivi de mes travaux et m'a apporté son expertise dans le domaine de la maintenance.

Je tiens à remercier la société Dietsmann au Congo pour m'avoir ouvert ses portes et permis d'effectuer ce stage si important pour ma formation en son sein.

Je remercie mon maître de stage en entreprise Monsieur Reda KARIM pour m'avoir accueilli et permit d'apprendre au sein de son équipe dans laquelle j'ai pu bénéficier de sa grande expérience dans la gestion des systèmes électriques ainsi que celle des membres de son équipes : André LOEMBA, Ghislain KIPAKOU, Ngobali ONGOUALA, Francis FOUTY et Fred IKOLO.

Je remercie Mr Francis BAKALA, responsable planning et IT à la CEC pour ses conseils et ses orientations.

Tout ce travail n'aurait pas pu se faire sans l'aide de l'Eternel qui en tout temps m'a fortifié.

Enfin, je remercie ma famille et mes amis. Je remercie encore mes parents pour m'avoir toujours laissé libre de faire ce qui me plaisait et encouragé et soutenu dans mes choix.

RESUME

Les systèmes de production d'énergie actuels sont très performants et possèdent des systèmes de sécurité hors-pairs. Cependant ils demandent beaucoup d'entretien et une attention particulière en ce qui concerne leur gestion et la politique de maintenance qui leur est appliquée. Le présent document est un mémoire de fin d'études dans lequel nous présentons un travail d'analyse effectué sur les systèmes de stockage d'énergie en courant continu des turbines à gaz de la Centrale Electrique du Congo. Cette analyse a eu pour but de vérifier la disponibilité dudit système, censée être permanente en cas de besoin (volontaire ou urgent) et a permis de trouver une faille dans le système. Il s'agit d'une perte d'alimentation possible de certaines charges du système étudié en cas de défaillance sur certains éléments clés constitutifs du système alors que ces charges sont supposées rester alimentées en permanence car devant assurer la sécurité et le contrôle en continus des turbines de la centrale. De plus nous avons évalué à 3.750.000 Frs CFA/h le coût d'un tel problème et nous avons par la suite proposé une solution technique permettant de pallier au problème, estimée à 46.780.000 Frs CFA/h.

Mots Clés :

- 1 - AMDEC**
- 2 - Maintenance**
- 3 - Fiabilité**
- 4 - Disponibilité**
- 5 - Modes de défaillances**
- 6 - Analyse fonctionnelle**
- 7 - Criticité**

ABSTRACT

Current energy profusion systems are very powerful and have unparalleled security systems. However, they require a lot of maintenance and attention with regard to their management and the maintenance policy applied to them. This document is a final dissertation in which we present an analysis work carried out on the DC energy storage systems of gas turbines of Centrale Electrique du Congo. The purpose of this analysis was to check the availability of the said system, supposed to be permanent in case of need (voluntarily or urgent) and made it possible to find a loophole in system. It's a possible loss of supply of certain loads of the studied system in case of failures of certain key elements constituting the system whereas these loads are supposed to remain fed continuously because to ensure the safety and the continuous control of the turbines of the power plant. In addition, we evaluated at 3.750.000 Frs CFA/h the cost of such a problem and then proposed a technical solution estimated at 46.780.000 Frs CFA/h to overcome the problem.

Keywords :

- 1 - FMECA (Failure Modes, Effects and Criticity Analysis)**
- 2 - Maintenance**
- 3 - Reliability**
- 4 - Availability**
- 5 - Failure modes**
- 6 - Functional analysis**
- 7 - Criticity**

LISTE DES ABBREVIATIONS

A	Ampère
AC	Alternative Courant / Courant Alternatif
Ah	Ampère heure
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leur Criticité
CEC	Centrale Electrique du Congo
DC	Direct Courant /Courant Continu
ENI	Ente Nazionale Idrocarburi (société nationale italienne des hydrocarbures)
GMAO	Gestion de Maintenance Assisté par Ordinateur
HS	Hors Service
JDB	Jeu De Barre
MSF	MOSFET
MW	MégaWatt
PWM	Pulse Width Modulation
S.A.	Société Anonyme
SNE	Société Nationale d'Electricité
TAG	Turbine A Gaz
TC	Transformateur de Courant
TT	Transformateur de Tension
UPS	Uninterruptible Power Supply
V	Volt
VAC	Tension en Courant Alternatif

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
RESUME.....	ii
ABSTRACT	iii
LISTE DES ABBREVIATIONS	iv
TABLE DES MATIERES	v
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	vii
I. INTRODUCTION	1
II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL	1
III. PRESENTATION DU PROJET	3
1. Contexte.....	3
2. Problématique	4
3. Objectifs de l'étude	4
IV. METHODOLOGIE DE TRAVAIL	4
1. Introduction à la Maintenance Industrielle	5
1.1. Généralités.....	5
1.2. Objectifs de la maintenance	6
1.3. Les différents types de maintenance	7
1.4. La maintenance corrective	7
1.5. La maintenance préventive.....	8
1.6. La maintenance préventive systématique.....	9
1.7. La maintenance préventive conditionnelle.....	9
1.8. Maintenance préventive prévisionnelle.....	10
1.9. Les caractéristiques de la maintenance en milieu industriel	10
2. Notion de Fiabilité et de Disponibilité	10

2.1.	La Disponibilité	10
2.2.	La Fiabilité	11
3.	Les coûts en maintenances	13
3.1.	Les coûts directs de maintenance	14
3.2.	Les coûts d'indisponibilité	15
4.	L'AMDEC	15
4.1.	La décomposition fonctionnelle	16
4.2.	Le mode de défaillance	16
4.3.	Causes de défaillance	17
4.4.	Effet de la défaillance	18
4.5.	Mode de détection	18
4.6.	La criticité	19
V.	Présentation de l'étude réalisée	20
1.	Analyse Fonctionnelle du système	20
1.1.	Principaux éléments du système	23
2.	Analyse des défaillances potentielles	31
2.1.	Impact des défaillances sur le système	34
3.	Analyse de la criticité des éléments du système	37
4.	Conséquences économiques de la défaillance	38
VI.	Proposition de solutions techniques	39
1.	Dimensionnement des câbles	40
2.	Dispositifs de protection	41
3.	Devis estimatif	41
4.	La seconde solution	42
VII.	Prise de recul sur le travail effectué	42
VIII.	Conclusion	42
IX.	Bibliographie	44

LISTE DES TABLEAUX

Table 1. Fiche signalétique de l'entreprise	3
Table 2. Exemple de modes de défaillances AMDEC [13].....	17
Table 3. Exemple de causes de défaillances [13]	18
Table 4. Exemple de critères d'évaluation de la Criticité [14],[12].....	19
Table 5. Fiche signalétique des redresseurs [15]	24
Table 6. Fiche signalétique lots de batteries	26
Table 7. Fiche signalétique des onduleurs	28
Table 8. Défaillances potentielles sur l'onduleur.....	31
Table 9. Défaillance potentielles sur les redresseurs	32
Table 10. Caractéristiques des batteries [23].....	33
Table 11. Défaillances potentielles sur le switch static	33
Table 12. Valeurs de la Criticité	38
Table 13. Sections de conducteurs 1	41
Table 14. Sections de conducteurs	41
Table 15. Dévis estimatif des lignes d'interconnexion	41

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Les activités de la Maintenance Industrielle	6
Figure 2. Schématisation des objectifs de la Maintenance Industrielle [4].....	7
Figure 3. Courbe de la variation du taux de défaillance [10]	13
Figure 4. Schéma de comparaison des coûts de	14
Figure 5. Schéma de Principe de l'AMDEC [12]	16
Figure 6. Schéma électrique du système de stockage DC étudié. Source [15]	21
Figure 7. Schéma de principe du redresseur.....	23
Figure 8. Schéma électrique du redresseur (Annexe II)	24
Figure 9. Image des redresseurs	25
Figure 10. Tableau de représentation des données des redresseurs [20].....	26
Figure 11. Schéma de principe de l'onduleur	27
Figure 12. Schéma électrique de l'onduleur.[17] (ANNEXE V).....	27

Figure 13. Principe de fonctionnement des MOFSETs	28
Figure 14. Image de l'onduleur	29
Figure 15. Tableau de représentation des données de l'onduleur [22]	30
Figure 16. Schéma de principe de l'interrupteur statique	30
Figure 17. Partie redressement du système	34
Figure 18. Conséquences de la mise à l'arrêt des deux redresseurs	35
Figure 19. Partie onduleur et switch static du système [17].....	36
Figure 21. Schéma représentant les points de liaison des lignes d'interconnexion [15]	40

I. INTRODUCTION

De nos jours, la concurrence est devenue fréquente chez les industriels au point où elle les pousse à toujours se surpasser et améliorer la qualité de leurs services et ou de leurs produits. Et pour ça, les industriels misent sur l'amélioration des rendements de leurs installations. Du fait de son action directe sur les équipements de production, la maintenance est devenue un levier de performance incontournable qui conditionne les résultats d'une organisation. Bien que très coûteuse, les coûts liés à un arrêt de production ou à la destruction d'un élément important ont un impact encore plus considérable pour les industriels.

L'analyse du mode de défaillance d'un système permet de mieux comprendre le système et de savoir les défaillances auxquelles est exposé ce dernier, dans le but de proposer si possible des solutions d'amélioration sur le système pouvant éviter à l'entreprise des pertes économiques considérables.

C'est donc dans ce cadre que s'intègre la réalisation d'une telle analyse pour une Centrale Electrique. En effet, pour satisfaire ses clients avec un service de qualité, l'entreprise doit s'assurer qu'elle dispose d'outils de production fiables et disponibles en cas de besoin.

II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

La zone de notre étude est la CEC. C'est une Centrale ayant pour missions :

- La réalisation comme Maître d'Ouvrage d'une centrale électrique à proximité de Côte Matève.
- La Production de l'énergie électrique à partir du gaz naturel du Congo.
- La Vente de cette énergie électrique aux sociétés de distribution et de commercialisation de l'électricité et aux autres sociétés qui en feront demande.
- Et généralement, toutes opérations commerciales, industrielles, financières, mobilières ou immobilières inhérentes à l'objet.

L'usine de production de la CEC est située à Cote Matève, à 25km de Pointe-Noire.

La CEC compte deux turbines à gaz d'une capacité de 150MW chacune et fonctionnant à cycle ouvert.

Elle a donc une capacité actuelle de 300MW avec de possibles expansions futures (deux turbines de 150MW dont l'une est actuellement en cours d'installation), ainsi qu'une possible utilisation du cycle combiné pour chaque turbine.

Principale producteur électrique du Congo, la CEC contribue largement au boulevard énergétique du pays en produisant :

- Une énergie abondante
- Une énergie fiable
- Une énergie de qualité répondant aux standards internationaux.

La CEC a donc un impact positif sur les activités économiques et sociales (productivité industrielle, emploi, réduction de la pauvreté).[1]

Afin de maintenir un tel niveau d'excellence une maintenance de qualité se doit d'être appliquée sur les différents équipements de la centrale.

L'entreprise en charge d'assurer cette maintenance est **Dietsmann**, notre structure d'accueil.

Dietsmann est une société fondée aux Pays-Bas en 1977 par Peter KUTEMANN. Depuis sa création, l'attention constante de Dietsmann sur ses activités principales et sur la qualité de ses services a permis à Dietsmann de devenir la plus grande société indépendante spécialisée dans les services d'exploitation et de maintenance pour les installations de production continue dans les secteurs du pétrole et du gaz, des technologies conventionnelles et nucléaires, de la production d'énergie et les industries minières. Dietsmann est bien positionné pour conserver sa position de leader grâce à sa base inégalée de clients satisfaits, à son expérience et à son expertise et à l'utilisation optimale de ressources locales. Cette combinaison garantit la mise en place d'un système d'exploitation et de maintenance d'usine de classe mondiale, ainsi que la création de bonnes relations de travail et le développement local.

Dietsmann sert non seulement de nombreuses sociétés énergétiques internationales et nationales dans le monde entier, mais exploite et entretient également des usines de production dans les industries du pétrole et du gaz, de l'énergie et des mines. Au total, Dietsmann exploite des centrales d'une puissance installée combinée de plus de 12 gigawatts de groupes électrogènes à turbine à gaz et à vapeur. Dietsmann emploie actuellement plus de 6 000 personnes et est présent dans plus de pays d'Europe, d'Afrique, d'Asie et d'Amérique du Sud que n'importe lequel de ses concurrents.

Dietsmann est indépendant, une société privée et n'a pas l'intention de changer cela. Dietsmann n'est affilié à aucun fabricant ni à aucune firme d'ingénierie de construction et, contrairement à certains autres prestataires de services de maintenance «indépendants», n'utilise pas ses services en tant qu'avant-poste pour la vente de pièces détachées ou de mises à niveau.

Après deux années consécutives de chiffre d'affaires supérieur à 400 millions d'euros (2013: 414,1 millions d'euros; 2014: 424,6 millions d'euros), le chiffre d'affaires total de Dietsmann a diminué de 15% à 361,1 millions d'euros. Cette baisse des revenus est due à la pression sur les prix de l'industrie du pétrole et du gaz résultant de la baisse substantielle du prix du baril de pétrole.

Trois éléments distinguent Dietsmann de ses concurrents. Tout d'abord, la réputation de Dietsmann d'être la référence en matière de production de pétrole et de gaz, de production d'énergie classique et nucléaire et de maintenance d'usines minières.

Deuxièmement, et probablement plus important en ces temps difficiles, Dietsmann n'a aucune dette à son bilan et, par conséquent, sa stabilité et sa continuité ne sont pas remises en cause. Troisièmement, et le plus important, Dietsmann a toujours mis et mettra toujours au premier rang de ses clients et de leurs objectifs, sans jamais compromettre la sécurité des personnes et de l'environnement, ni la qualité de ses services.[2]

Table 1. Fiche signalétique de l'entreprise

Société	Dietsmann
Statut Juridique	Société Anonyme
Activités	Exploitation, Maintenance des systèmes Industriels
Secteur	Pétrole, Mines, Energie
Clients	Total, Eni, CEC S.A.,...
Pays	France, Congo, Gabon,...

III. PRESENTATION DU PROJET

1. Contexte

La CEC (Centrale Electrique du Congo) est une entreprise au Congo Brazzaville chargée de la production de l'électricité. C'est une centrale électrique à gaz d'une capacité de 300MW et dont la maintenance des installations est assurée par la société Dietsmann Maintainig Energy. C'est la principale source de production électrique du Congo. L'ampleur de ce site ainsi que des installations de production lui imposent une politique de maintenance très stricte afin d'assurer une production continue et sans faille. Afin de pouvoir prédire les pannes susceptibles d'affecter le fonctionnement de ce système nous avons décidé de réaliser une étude AMDEC de ce système.

2. Problématique

La centrale dispose de plusieurs sources de stockage DC destinées à assurer la sécurité des personnes et des biens en cas de perte d'énergie au sein même de la centrale. En effet, ces systèmes de stockage DC existent pour les différents grands systèmes de la centrale allant des traitements de données (système informatique salle de contrôle) au fonctionnement même de la turbine (système de lubrification). Une maintenance régulière des systèmes en mécanique, électricité et en instrumentation gérée par un système de GMAO et ayant pour principaux acteurs les agents de maintenance de Dietsmann est appliquée au sein de la centrale et assure le bon fonctionnement de ces éléments. Cependant, il est important de réaliser des analyses sur les différents systèmes au sein de la centrale. En effet, ces analyses peuvent permettre d'en savoir long sur les différentes défaillances susceptibles d'altérer le bon fonctionnement de nos systèmes par exemple ou tout simplement de pouvoir évaluer la fiabilité ou la disponibilité d'un système. C'est donc dans cette optique qu'il nous a été donné pour mission de réaliser une analyse des modes de défaillances de leurs effets et de leur criticité des systèmes de stockage DC des deux turbines à gaz de la centrale électrique. Nous allons réaliser l'étude pour le système d'une seule turbine, en considérant que l'étude est valable pour l'autre sachant que les deux systèmes sont identiques.

3. Objectifs de l'étude

L'objectif général de cette analyse est de s'assurer de la fiabilité et de la disponibilité de notre système de stockage DC en imaginant tous les scénarios de défaillances possible.

Les objectifs spécifiques que vise notre travail sont les suivants :

- Une analyse fonctionnelle du système ;
- Une identification des défaillances potentielle pouvant affectée le système ;
- Une évaluation de ces défaillances et la détermination de leur criticité.

IV. METHODOLOGIE DE TRAVAIL

Avant de présenter les méthodes de Maintenance qui ont été utilisées pour l'atteinte de nos objectifs spécifiques:

- Analyse fonctionnelle
- Identification des défaillances
- Evaluation et Analyse de la criticité

Nous allons tout d'abord introduire certaines notions importantes de Maintenance, fondamentale à la compréhension de notre étude et qui seront abordées tout le long de notre travail.

1. Introduction à la Maintenance Industrielle

1.1. Généralités

D'après la norme française NF EN 13306 X 60-319, la maintenance peut-être définie par: "l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise".[3]

Un service de maintenance a pour rôle principale d'éviter toute dégradation d'un bien et la valeur patrimoniale de ce dernier en maintenant ses capacités opérationnelles. Ces capacités opérationnelles sont nécessaires pour servir une commande non pas lorsque l'entreprise peut l'honorer, mais au moment où le client la demande c'est-à-dire à n'importe quel moment. La valeur patrimoniale peut s'envisager comme l'allongement de la durée de vie utile des machines et équipements, ce qui repousse ou annule la nécessité d'un nouvel investissement, ou en facilite la revente. Vu de cette manière, il apparait évident que ce rôle ne peut s'envisager que de manière dynamique et proactive. En effet :

- Si l'on attend une panne pour réagir, la capacité opérationnelle n'est plus maintenue.
- Si l'on attend une dégradation pour réagir, la valeur patrimoniale est déjà amoindrie.

La fonction maintenance peut être présentée comme un ensemble d'activités regroupées en deux sous-ensembles : les activités à dominante technique et les activités à dominante gestion. Ces différentes activités sont représentées dans la suivante : contenu de la fonction maintenance.

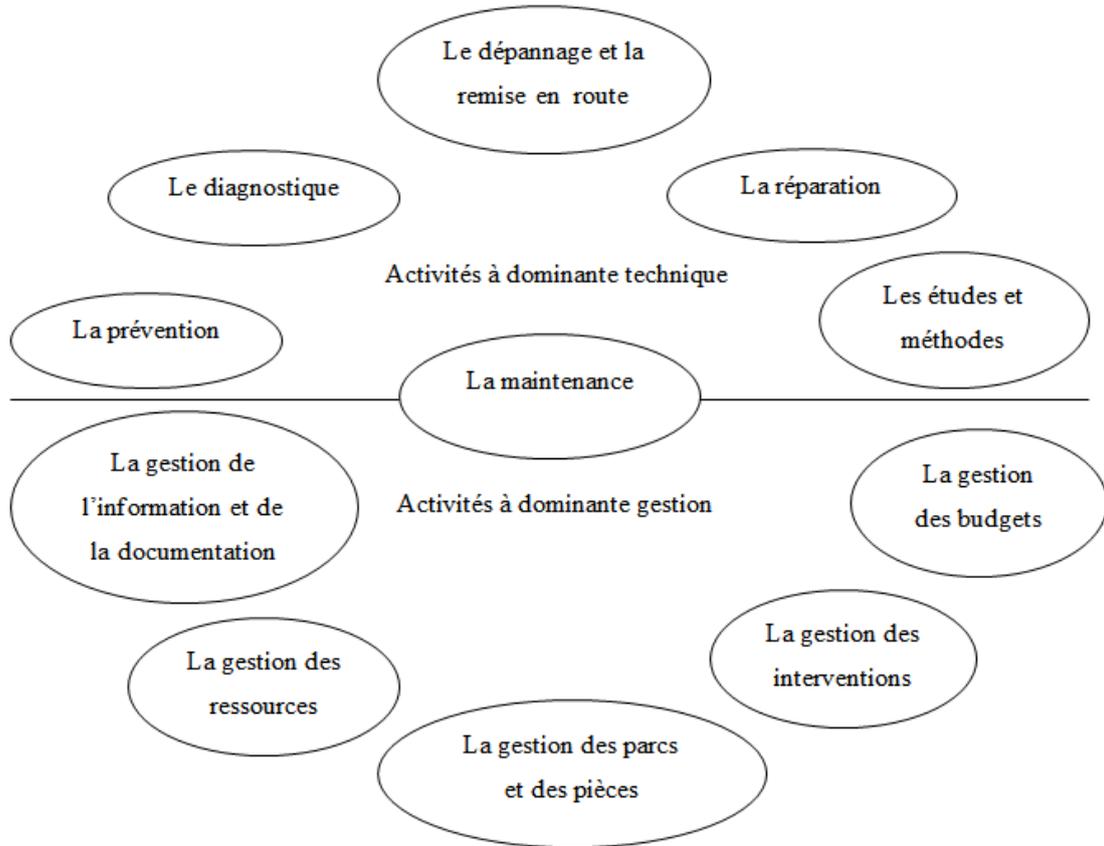


Figure 1. Les activités de la Maintenance Industrielle

1.2. Objectifs de la maintenance

Les objectifs de la maintenance sont :

- Assurer la qualité et la quantité des produits fabriqués ou des services vendus
- Optimiser la fréquence de maintenance
- Contribuer à la création et au maintien de la sécurité au travail
- Consolider la productivité de l'entreprise

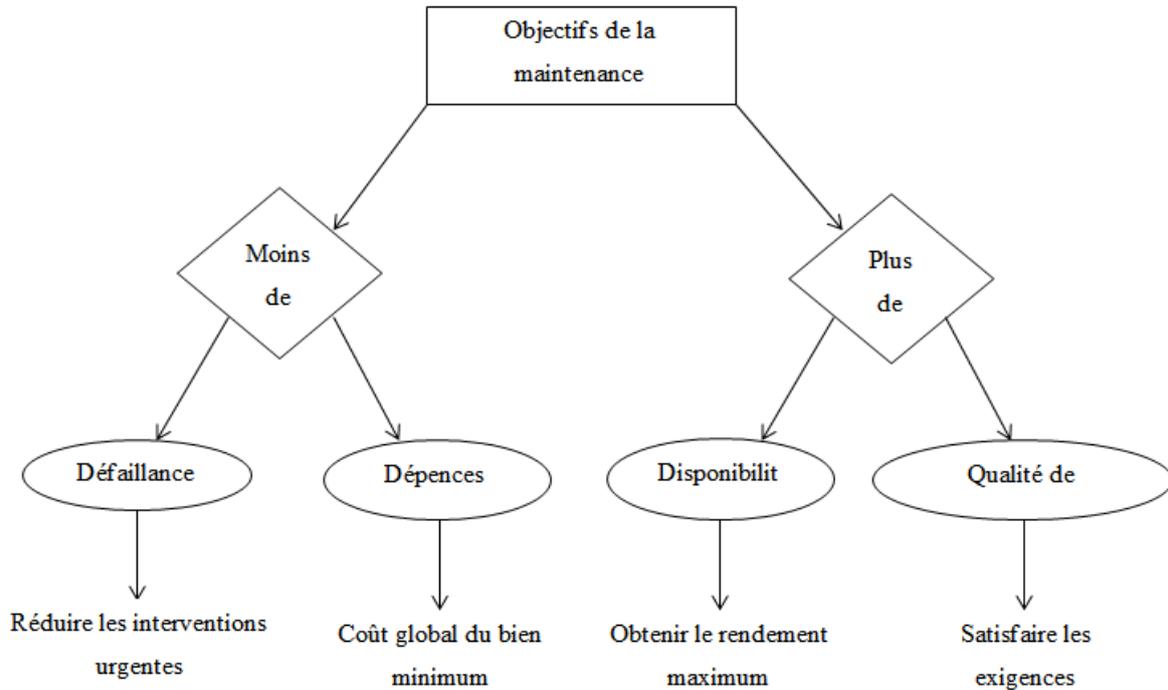


Figure 2. Schématisation des objectifs de la Maintenance Industrielle [4]

1.3. Les différents types de maintenance

Il existe deux principales familles de maintenance: la maintenance corrective et la maintenance préventive. La maintenance corrective est celle appliquée sur le système lorsque la défaillance est déjà présente et qu'il faut réparer. La maintenance préventive est celle qui permet d'anticiper et de prévenir les défaillances.[4]

1.4. La maintenance corrective

«Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.» [3]

La maintenance corrective est souvent perçue comme la forme primaire de la maintenance car l'intervention a lieu en urgence une fois la défaillance survenue [5]. En effet, la logique de cette politique de maintenance est assez simple : lorsqu'une machine est défectueuse, il faut la réparer, ce qui sous-entend que si elle fonctionne, on n'y touche pas. Les défauts, pannes ou avaries diverses exigeant une maintenance corrective entraînent une indisponibilité immédiate ou à très brève échéance des matériels affectés et/ou une dépréciation en quantité et/ou qualité des services rendus.

Il existe deux types de maintenance corrective : la maintenance curative et la maintenance palliative.[5]

- Maintenance curative ou réparation: ce type de maintenance permet de remettre définitivement en état le système après l'apparition d'une défaillance. Elle se caractérise par la recherche des causes initiales d'une défaillance en vue de réparer l'équipement. Cette remise en état du système est une réparation durable.
- Maintenance palliative ou le dépannage : opération destinée à remettre un équipement dans un état provisoire de fonctionnement de manière à ce qu'il puisse assurer une partie des fonctions requises. L'intervention a un caractère provisoire dans le sens où elle nécessitera forcément une intervention ultérieure.

La défaillance est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonction(s) requise(s) avec les performances définies dans les spécifications techniques [6]. La défaillance d'un bien provoque une indisponibilité mesurée par le temps d'indisponibilité après défaillance. Le temps d'indisponibilité après défaillance correspond au temps entre l'apparition de la défaillance sur un équipement et la remise en condition de cet équipement en production normale.

Le but de la maintenance corrective est de remettre le système en état de disponibilité et ce en un temps minimum (optimiser le temps d'indisponibilité après défaillance) tout en respectant les règles de sécurité [5]. Ce type de maintenance est réservé aux matériels peu coûteux, non stratégiques pour la production et dont la panne aurait peu d'influence sur la sécurité.

1.5. La maintenance préventive

« Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien. ».[3]

La maintenance préventive vise à réduire les coûts des pannes et de maintenance en prenant pour base le constat que la plupart des réparations et immobilisations coûteuses auraient pu être réduites ou évitées par un entretien constant et préventif [7]. En effet elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation et l'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter.

Il existe trois types de maintenances préventives [7] :

- La maintenance préventive systématique
- La maintenance préventive conditionnelle
- La maintenance préventive prévisionnelle

1.6. La maintenance préventive systématique

« Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien. ». [3]

Cette méthode nécessite de connaître : le comportement des équipements, les usures et les modes de dégradation. Elle intervient à intervalles fixés sur la base du minimum de vie des composants, donné par l'expérience et/ou par le constructeur [7]. C'est pourquoi ce type de maintenance est aussi appelé maintenance préventive fondée sur la durée de fonctionnement.

La maintenance préventive systématique se traduit donc par des interventions planifiées qui consistent à nettoyer, réparer ou remplacer périodiquement un organe sans contrôle préalable de l'équipement.

1.7. La maintenance préventive conditionnelle

« Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. La surveillance du fonctionnement et des paramètres peut être exécutée selon un calendrier, ou à la demande, ou de façon continue.». [3]

La maintenance préventive conditionnelle se traduit par des visites préventives qui consistent à suivre les paramètres significatifs de la dégradation du bien [7]. Lorsque le paramètre suivi dépasse le seuil d'alarme il faut prévoir une intervention pour remettre en condition normale l'équipement. En effet, la détection d'un dépassement d'un seuil d'alerte affecté à l'évolution du paramètre étudié déclenche le diagnostic des causes de la défaillance. Les conclusions de ce diagnostic permettent de définir l'intervention de maintenance. La maintenance préventive conditionnelle est donc subordonnée à des mesures et à des diagnostics précis de l'état de dégradation de la machine. La nature de ces mesures dépend de la machine à suivre. Cela peut être des mesures de vibration, des analyses d'huile, des thermographies infrarouges ... Lorsque le seuil admissible de ces défauts est dépassé, il devient nécessaire de programmer l'arrêt de la machine. Ceci doit être fait en perturbant au minimum le cycle de production, c'est à dire entre deux séries ou lors d'un arrêt programmé. En résumé, la maintenance préventive systématique suit le schéma suivant :



1.8. Maintenance préventive prévisionnelle

«Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation des paramètres significatifs de la dégradation du bien. ». [3]

La maintenance préventive prévisionnelle, consiste à extrapolé la courbe de dégradation d'un organe pour prévoir une intervention [7]



Une courbe de défaillance du bien peut être établie. Cette courbe étant définie, il est alors possible d'extrapoler sa tendance et de ce fait de prévoir les périodes de défaillance. A partir de là, les périodes de déclenchement des interventions sont donc programmées.

1.9. Les caractéristiques de la maintenance en milieu industriel

En le milieu industriel, une maintenance mixte est en général appliquée aux systèmes. En effet, la maintenance préventive est destinée à réduire la probabilité de défaillance, mais il subsiste une part de maintenance corrective incompressible. Il est donc nécessaire de considérer des stratégies qui combinent les deux : maintenance corrective et maintenance préventive.

De plus l'optimisation de la maintenance consiste à trouver la balance optimale entre maintenance préventive et corrective tout en respectant les objectifs fixés. L'entreprise doit rechercher un compromis afin d'optimiser les relations entre les coûts de maintenance liés à l'investissement humain et matériel, et les pertes consécutives aux arrêts de la production.

2. Notion de Fiabilité et de Disponibilité

Le but de notre étude étant de se rassurer de la fiabilité et de la disponibilité de notre système, nous allons donc introduire ces deux notions qui seront évoquées dans notre étude.

2.1. La Disponibilité

La disponibilité est définie comme « l'aptitude d'un dispositif, sous les aspects combinés de sa fiabilité, de sa maintenabilité et de la logistique de maintenance, à remplir ou à être en état de remplir une fonction à un instant donné ou dans un intervalle de temps donné». [3]

Le dispositif doit être opérationnel, c'est-à-dire soit en état de marche, soit prêt à fonctionner mais non utilisé [8]. En effet, un dispositif peut être disponible (opérationnel) sans être en état de fonctionnement: c'est le cas, par exemple d'un équipement de production en attente de produits (matières premières, articles de conditionnement...). Par contre, le dispositif est indisponible lorsqu'il fait l'objet d'opération de maintenance nécessitant son arrêt ou bien lorsqu'il est à l'arrêt pour cause de défaillance. C'est pourquoi trop de maintenance préventive peut conduire à une diminution de la disponibilité.

La disponibilité est exprimée par un pourcentage [8], mais il y a lieu de distinguer la disponibilité instantanée et la disponibilité stationnaire. On parlera de disponibilité instantanée lorsque l'on s'intéresse à l'état d'un dispositif à un instant donné. La disponibilité instantanée est alors définie comme la probabilité que le dispositif soit opérationnel à cet instant donné. On parlera de disponibilité stationnaire lorsque l'on s'intéresse à l'état « moyen » d'un dispositif dans un intervalle de temps donné. La disponibilité stationnaire est alors définie comme la proportion du temps durant lequel le dispositif reste opérationnel. Dans une organisation en flux tendus (juste à temps), le dispositif doit être disponible à l'heure prévue pour le lancement du lot de fabrication. Il s'agit alors d'une préoccupation de disponibilité instantanée. Dans une organisation en flux poussés (production sur stocks), le dispositif doit être disponible, par exemple, pendant 90 ou 95 % du temps possible de production. Les stocks permettent alors de rendre transparents pour les clients les 5 ou 10 % d'indisponibilité. Il s'agit ici d'une préoccupation de disponibilité stationnaire.

2.2. La Fiabilité

L'évaluation de l'état de dégradation des équipements industriels s'avère un élément indispensable à la définition des opérations de maintenance destinées à garantir, pour un coût maîtrisé et préétabli, un niveau maximum de disponibilité et de sécurité de ces équipements.

En termes de statistique, la fiabilité est une fonction du temps $R(t)$, qui représente la probabilité de bon fonctionnement d'un matériel.[9]

En termes de qualité, la fiabilité d'un matériel est définie comme l'aptitude à maintenir l'entité identique à sa spécification d'origine.

Il existe deux types de fiabilité :

- la fiabilité intrinsèque, qui est propre à un matériel, selon un environnement donné ; elle ne dépend que de la qualité de ce matériel.

- La fiabilité extrinsèque, qui résulte des conditions d'exploitation et de la qualité de la maintenance; elle est relative à l'intervention humaine.

La fiabilité peut être estimée par le taux de défaillance $\lambda(t)$ (exprimé en pannes par heure). Il est présenté par le rapport :

$$\lambda = \text{Nombre de défaillances} / \text{Durée d'usage}$$

Ainsi, liée aux risques de défaillance, la vie des équipements se présente en trois phases :

- Phase de jeunesse: $\lambda(t)$ décroît rapidement. C'est la période de mise en service et de rodage de l'installation. Les défaillances sont dues à des anomalies ou des imperfections de montage. Dans cette phase, seule la maintenance corrective est applicable.
- Phase de maturité: $\lambda(t)$ est pratiquement constant. C'est la période de vie utile où les défaillances apparaissent sans dégradation préalable visible, pour des causes diverses. Le taux de défaillance est constant ou légèrement croissant, correspondant au rendement optimal de l'équipement. Dans cette phase une maintenance préventive est applicable.
- Phase de vieillesse : $\lambda(t)$ croît rapidement. Un mode de défaillance prédomine et entraîne une dégradation accélérée: c'est la période d'obsolescence, souvent due à l'usure mécanique, la fatigue, l'érosion ou la corrosion. A un certain point de $\lambda(t)$ le matériel est hors service. Une maintenance préventive conditionnelle peut éventuellement être mise en place.[9] ; [10]

Dans la première phase, seule la maintenance corrective est pratiquée. C'est seulement dans la seconde phase (phase de maturité) qu'intervient la maintenance préventive.

La figure suivante, représentant la variation du taux de défaillance en fonction du temps, est appelée « courbe en baignoire ». [10]

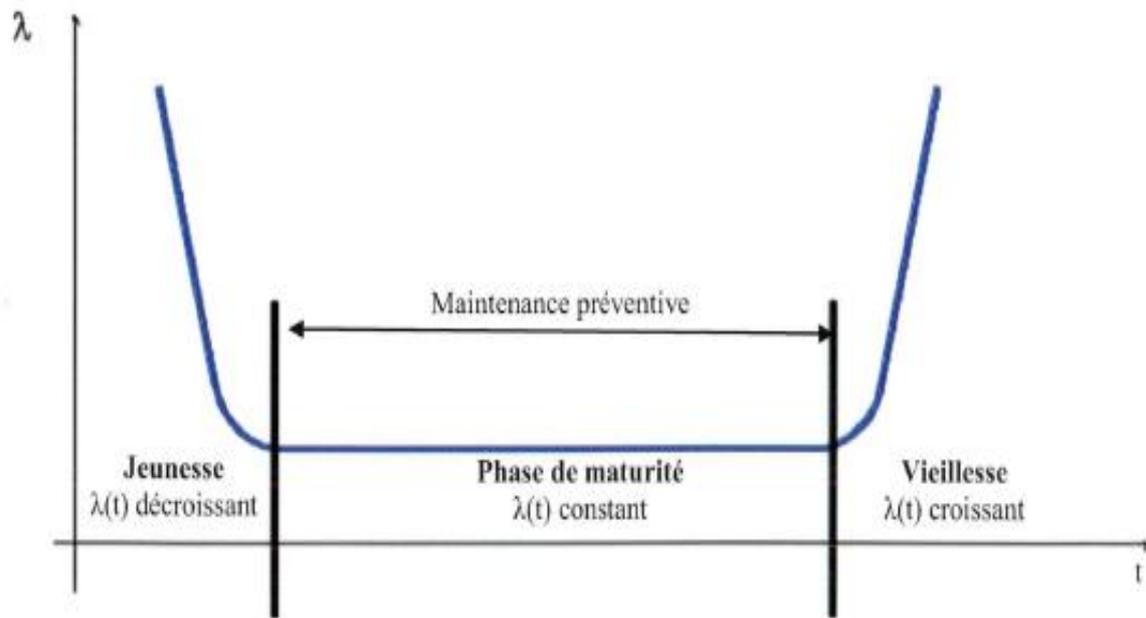


Figure 3. Courbe de la variation du taux de défaillance [10]

3. Les coûts en maintenances

Lors de notre étude, des coûts de défaillances ont été déterminés. En effet, qui dit défaillance dit coûts générés par cette dernière de façon directe ou indirecte. Ces coûts sont évalués sur la base du système d'évaluation des coûts, des normes de maintenance. Les coûts de maintenance correspondent aux coûts directement liées à la maintenance et imputés soit en exploitation soit en investissement. [11]

Le problème majeur est celui de la justification d'une politique de maintenance préventive ; ce qui suppose au préalable de pouvoir apporter une réponse à cette question : « **que coûte la défaillance d'un équipement à l'entreprise ?** ». L'objectif du préventif est alors d'anticiper cette défaillance et de la traiter. Les problématiques des coûts de maintenance est donc celle de la justification du coût des mesures préventives.



Figure 4. Schéma de comparaison des coûts de

En gros nous avons deux types de coûts comme les deux types de maintenance :

- Le coût de maintenance préventive
- Et le coût de maintenance corrective.

Etant donné que l'entreprise mère (la CEC S.A.) et la société de service (Dietsmann) sont directement liées par un contrat permanent de maintenance et que la défaillance est virtuelle, on s'intéressera juste aux coûts de maintenance corrective, plus précisément aux coûts d'indisponibilité. En effet, les coûts liés à la maintenance corrective sont de deux types :

- Les coûts directs de maintenance
- Les coûts d'indisponibilité

Et liés par la formule :

$$Cd = Cm + Ci \quad (1)$$

Cd : coûts directs de maintenance

Ci : coûts d'indisponibilité

3.1. Les coûts directs de maintenance

Ils peuvent être liés à une intervention de maintenance corrective, préventive ou encore externalisée (faisant appel à un sous-traitant). Les coûts directs de maintenance sont constitués des coûts de main d'œuvre, les frais généraux du service de maintenance, les coûts de possession de stocks, la consommation de matière, de fournitures, de produits utilisés, les

coûts de pièces de rechanges, les coûts de contrat de maintenance et des travaux sous-traités.[11]

3.2. Les coûts d'indisponibilité

Les coûts d'indisponibilité représentent les coûts indirects d'arrêt de production. Ils intègrent toutes les conséquences économiques induites par un arrêt propre d'un équipement requis. Ces conséquences peuvent influencer sur les éléments suivant :

- La perte de production Cp. Il est évident que, pendant un arrêt en fin de ligne de production (montage ou emballage par exemple) les produits non-fabriqués ne sont pas vendus, mais vendu par la concurrence. Il est possible de l'exprimer par « **temps d'indisponibilité x taux horaire de non-production** ». le temps d'indisponibilité est celui pendant une période où l'équipement défaillant est requis. A défaut, le temps d'arrêt de production peut être utilisé. Le taux horaire, exprimé en Monnaie/h, est déterminé par l'équipement considéré. Il dépend de la criticité de l'équipement à l'intérieur de l'ensemble du système de production.
- Les coûts d'amortissement du matériel. En effet, pendant un arrêt le matériel ne travaille et donc la durée d'amortissement augmente.
- Les coûts des arrêts induits. L'arrêt d'une unité d'une ligne de production, perturbe rapidement les unités amont (saturation) et aval (pénurie). Les systèmes actuels sont à la fois très performants et très sensible à la panne.
- Les coûts de rebuts, de la non-qualité et des délais non tenus. Ils sont souvent difficilement chiffrables car on ne peut définir le coût d'une perte d'image de marque.
- Les frais de démarrage de production. Souvent le démarrage d'un process induit une période de perte de matière ou de qualité qui oblige à éliminer des produits fabriqués.

Les coûts induits en cas d'accident corporel. Une panne fortuite traitée dans l'urgence est malheureusement parfois génératrice d'accidents du travail en interne ou de dommages corporels au niveau des usagers.[11]

4. L'AMDEC

L'Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité est une méthode d'analyse utilisée en maintenance qui permet de considérer pour un système les causes réelles de défaillance ayant pour conséquence l'altération de la performance du dispositif de production [12]. Cette altération de performance se mesure par une disponibilité faible du

moyen de production. Cette analyse a pour objectif d'identifier de façon inductive et systématique les risques de dysfonctionnement des machines, puis à en rechercher les origines et leurs conséquences. Elle suit le schéma suivant :

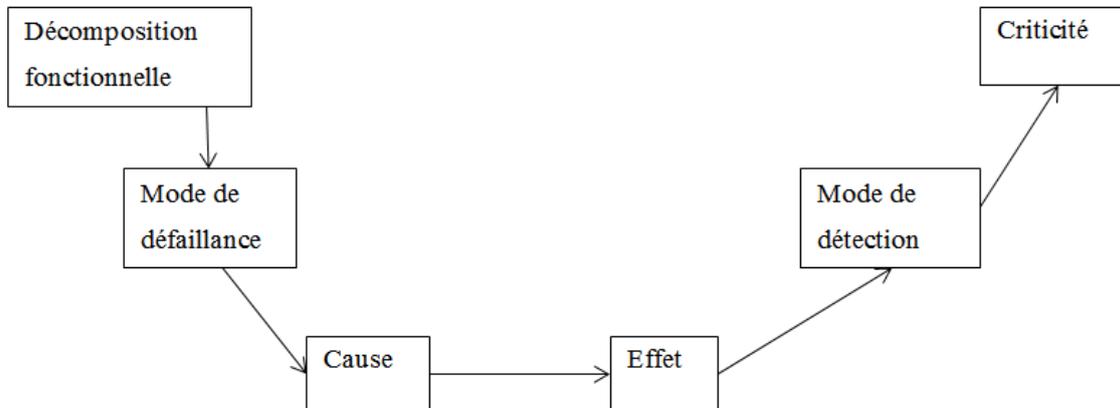


Figure 5. Schéma de Principe de l'AMDEC [12]

4.1. La décomposition fonctionnelle

Il s'agit d'identifier clairement les éléments à étudier et les fonctions à assurer. C'est une étape indispensable car il est nécessaire de bien connaître les fonctions de la machine pour en analyser ensuite les risques de dysfonctionnement [13]. Après cette décomposition il devient alors facile de réaliser une analyse fonctionnelle du système en analysant chacun des éléments clés repéré du système et en déterminant le rôle de ces éléments dans le système étudié.

4.2. Le mode de défaillance

Un mode de défaillance est la manière par laquelle un dispositif peut venir à être défaillant, c'est-à-dire à ne plus remplir sa fonction [13], [6]. Ceci peut intervenir de quatre manières différentes:

- Plus de fonction : la fonction cesse de se réaliser.
- Pas de fonction : la fonction ne se réalise pas lorsqu'on la sollicite.
- Fonction dégradée : la fonction ne se réalise pas parfaitement : altération des performances.
- Fonction intempestive: la fonction se réalise alors qu'elle n'est pas sollicitée.

Le tableau suivant présente un exemple des différents modes de défaillance électrique, hydraulique et mécanique :

Table 2. Exemple de modes de défaillances AMDEC [13]

Modes de défaillance	Composants électriques	Composants hydrauliques	Composants mécaniques
Plus de fonction	- composant défectueux	- composant défectueux - circuit coupé ou bouché	- rupture / - blocage / grippage
Pas de fonction	- composant ne répondant pas à la sollicitation dont il est l'objet - connexions débranchées - fils desserrés	- connexions / raccords débranchés	
Fonction dégradée	- dérive des caractéristiques	- mauvaise étanchéité - usure	- désolidarisation - Jeu
Fonction intempestive	- perturbations (parasites)	- perturbations (coups de bélier)	

4.3. Causes de défaillance

Une cause de défaillance est l'événement initial pouvant conduire à la défaillance d'un dispositif par l'intermédiaire de son mode de défaillance.

Il existe trois types de causes conduisant à une défaillance [13] :

- Causes internes au matériel.
- Causes externes dues à l'environnement, au milieu, à l'exploitation.
- Causes externes dues à la main d'œuvre.

Le tableau suivant donne des exemples de causes de défaillances pour les différents types de composants (électrique, hydraulique et mécanique)

Table 3. Exemple de causes de défaillances [13]

<i>Causes de défaillance</i>	<i>Composants électriques</i>	<i>Composants hydrauliques</i>	<i>Composants mécaniques</i>
<i>Causes internes : Matériel</i>	- vieillissement - composant HS	- vieillissement - composant HS - colmatage - fuites	- contraintes mécaniques - fatigue mécanique - états de surface
<i>Causes externes : Milieu d'exploitation</i>	- pollution (poussières, huile, eau) - vibrations - chocs - échauffement local - parasites, etc.	- pollution (poussières, huile, eau) - vibrations - chocs, coups de bélier - échauffement local	- pollution (poussières, huile, eau) - vibrations - chocs - échauffement local
<i>Causes externes : Main d'œuvre</i>	- montage - réglages - mise en œuvre - utilisation	- montage - réglages - mise en œuvre - utilisation	- conception - montage - réglages - mise en œuvre - utilisation

4.4. Effet de la défaillance

L'effet d'une défaillance est, par définition, la conséquence subie par l'utilisateur. Il est associé au couple mode-cause de la défaillance et correspond à la perception finale de celle-ci. [13]

Exemple: arrêt de production, détérioration d'équipement, pollution, etc.

4.5. Mode de détection

Le mode de détection est la manière par laquelle un utilisateur est susceptible de détecter la présence d'une défaillance.[13]

Exemple : détection visuelle, élévation de température, odeurs, bruits, ...

4.6. La criticité

La criticité est une évaluation quantitative du risque constitué par l'analyse du scénario mode-cause-effet-détection de défaillance [12], [13]. La criticité est en général évaluée à partir de la combinaison de trois facteurs que sont :

- La gravité de l'effet
- La fréquence d'apparition de la défaillance
- Le facteur de non-détection ou possibilité d'utiliser des signes de détection

Le tableau ci-dessous présente un exemple de critères pour l'évaluation des facteurs de criticité.

Table 4. Exemple de critères d'évaluation de la Criticité [14],[12]

Gravité G: Impact des défaillances sur le produit ou l'outil de production			
1	<u>Sans dommage</u> : défaillance mineure ne provoquant pas d'arrêt de production et aucune dégradation notable du matériel.	3	<u>Important</u> : défaillance provoquant un arrêt significatif et nécessitant une intervention importante.
2	<u>Moyenne</u> : défaillance provoquant un arrêt de la production et nécessitant une intervention mineure.	4	<u>Catastrophique</u> : défaillance provoquant un arrêt impliquant des problèmes majeurs.
Fréquence d'occurrence F: Probabilité d'apparition d'une cause ou d'une défaillance.			
1	<u>Exceptionnelle</u> : la possibilité d'une défaillance est pratiquement inexistante.	3	<u>Certaine</u> : il y a eu traditionnellement des défaillances dans le passé.
2	<u>Rare</u> : une défaillance occasionnelle s'est déjà	4	<u>Très fréquente</u> : il est presque certain que la défaillance se produira souvent
Non-détection D : Probabilité de la non-perception de l'existence d'une cause ou d'une défaillance.			
1	<u>Signes avant-coureurs</u> : l'opérateur pourra détecter facilement la défaillance.	3	<u>Aucun signe</u> : la recherche de la défaillance n'est pas facile
2	<u>Peu de signes</u> : la défaillance est décelable avec une certaine recherche.	4	<u>Expertise nécessaire</u> : la défaillance n'est pas décelable ou encore sa localisation nécessite une expertise approfondie.

NB : On peut définir plusieurs autres critères judicieux en fonction bien entendu du problème traité.

V. Présentation de l'étude réalisée

1. Analyse Fonctionnelle du système

Le système dont on réalise l'étude les défaillances doit d'abord être "décortiqué". Il s'agit de montrer à quoi il sert, de présenter les fonctions qu'il doit remplir, de montrer comment il fonctionne.[13]

L'analyse fonctionnelle doit répondre à ces questions de façon rigoureuse. Le système est analysé sous ses aspects :

- externes: relations avec le milieu extérieur (qu'est ce qui rentre, qu'est ce qui sort, ...),
- internes: analyse des flux et des activités au sein du procédé ou de la machine.

Le système étudié est le système de stockage DC de la TAG. Son schéma est présenté sur la figure 6.

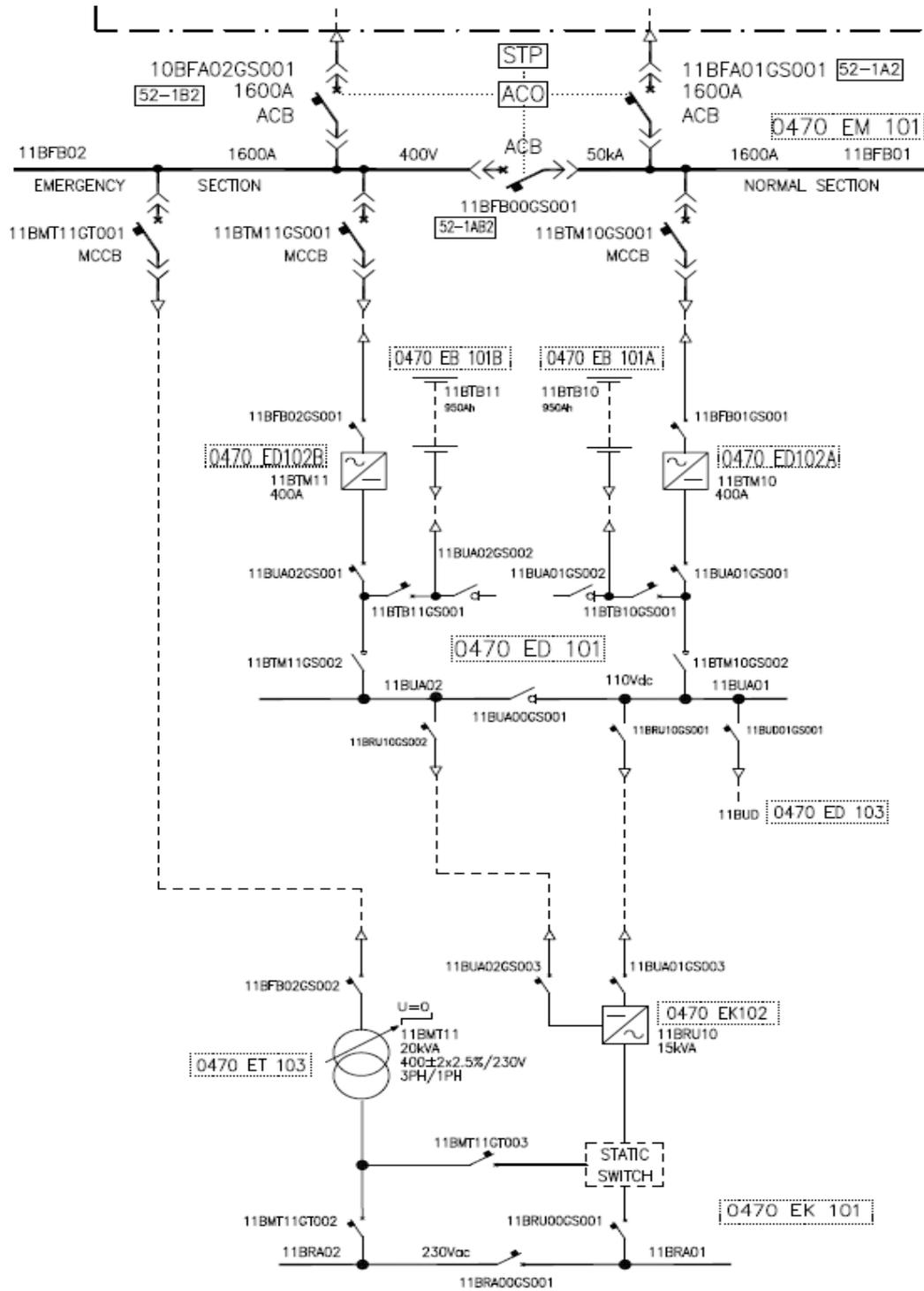


Figure 6. Schéma électrique du système de stockage DC étudié. Source [15]

Le système est principalement constitué pour chaque turbine : de deux lots de batteries, deux redresseurs, un onduleur et un interrupteur statique [15].

Son rôle est d'assurer la continuité de service aux niveaux des unités de contrôle de la TAG en cas de mise hors service volontaire ou shutdown des TAG. Une partie de ces unités est alimentée en DC directement à partir du jeu de barre 110Vdc lié à la sortie du redresseur et l'autre est alimentée en AC et reliée au système au travers jeu de barre 230Vac. [15]

Les unités liées directement au jeu de barre 110 Vdc [16] sont :

- l'onduleur de 15kVA qui est l'onduleur principal du système
- La pompe d'urgence de l'huile lubrifiante de la turbine
- Le système de contrôle des disjoncteurs des turbines
- Les systèmes de contrôles des vannes motorisées
- Le panneau de protection des turbines
- Les systèmes de synchronisation des turbines aux
- Le système de comptage de l'énergie produite par le générateur de la turbine

Pompe d'urgence de l'huile lubrifiante

Le système de l'huile lubrifiante alimente l'huile aux paliers de la turbine à gaz et du générateur. L'huile lubrifiante a plusieurs fonctions:

- elle forme une pellicule d'huile dans les paliers, qui sépare les arbres en rotation des coquilles des paliers et minimise le frottement des paliers
- elle absorbe la chaleur produite dans les paliers et donc les refroidie
- elle enlève les contaminations et les particules qui sont raclées des paliers par l'usure; ces particules sont ensuite filtrées et séparées du circuit de l'huile.

Le système de l'huile de lubrification inclut tous les composants comme les pompes, les filtres, les vannes et l'instrumentation qui sont nécessaires pour assurer une alimentation régulière d'huile. Trois pompes de l'huile lubrifiante sont disponibles: la pompe principale de l'huile lubrifiante, alimente l'huile aux paliers pendant la marche normale. La pompe auxiliaire est identique à la pompe principale de l'huile lubrifiante et la pompe d'urgence de l'huile lubrifiante, est légèrement plus petite. La pompe principale et la pompe auxiliaire de l'huile lubrifiante sont entraînées par un moteur électrique à trois phases, et la pompe d'urgence de l'huile lubrifiante est entraînée par un moteur à courant continu alimenté par le JDB 110V DC. La marche de la pompe principale et de la pompe auxiliaire de l'huile ne peut pas être choisie: la pompe principale doit être toujours considérée comme pompe principale et la pompe auxiliaire comme pompe de secours.

La marche de la pompe d'urgence est très importante pour assurer l'alimentation d'huile lubrifiante pendant les conditions avec problèmes ou d'urgence. Par conséquent, **elle ne doit pas être désactivée.**

Les unités alimentées par le jeu de barre 230Vac [17] sont :

- Le système de contrôle de l'excitatrice de la génératrice, dont le rôle est d'assurer le contrôle de l'excitation statorique de la génératrice
- GTCMPS distribution supply cabinet, pour le système de contrôle au niveau de la salle de contrôle
- Le système de protection anti-incendie du local de la turbine, qui a pour rôle d'assurer la protection incendie dans le local turbine

1.1. Principaux éléments du système

Le système de stockage DC est pour chaque turbine constitué : de deux redresseurs reliés chacun à un lot de batteries de stockage et alimentant le jeu de barre 110Vdc, d'un onduleur et d'un interrupteur statique.

❖ Les redresseurs AC/DC

Ce sont des convertisseurs statiques. Ils permettent la conversion du courant alternatif en courant continu.

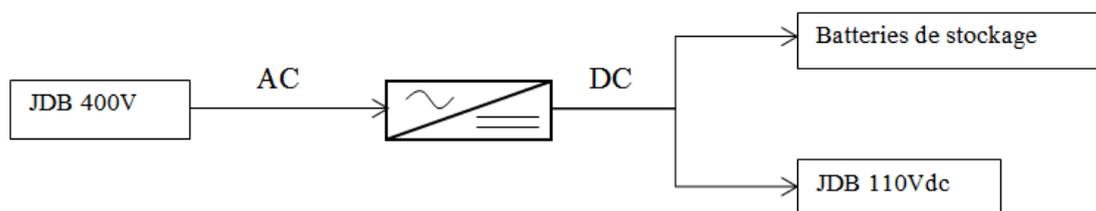


Figure 7. Schéma de principe du redresseur

Les redresseurs (AC/DC) utilisés pour notre système sont de type triphasé et réalisés à l'aide de thyristors permettant de commander le redressement [18]. La figure ci-dessous est le schéma du circuit électronique du redresseur ; il est le même pour chaque redresseur.

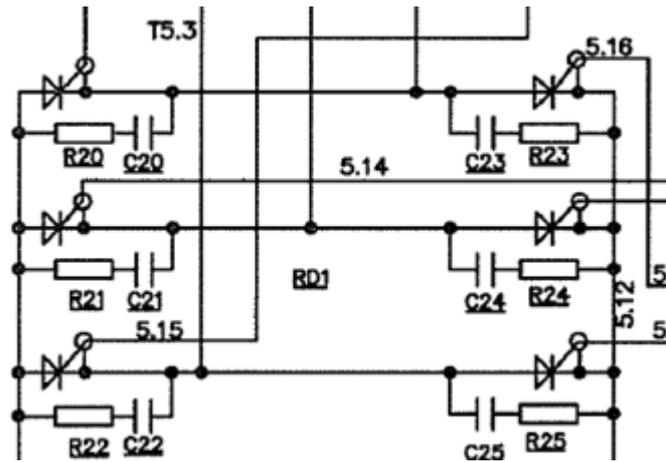


Figure 8. Schéma électrique du redresseur (Annexe II)

Le redressement à l'aide des thyristors permet d'avoir à la sortie une valeur moyenne de la tension réglable. Les condensateurs permettent le lissage de la tension en réduisant le dv/dt sur les thyristors et les résistances limitent le courant de décharge de ces condensateurs dans les thyristors à l'amorçage. [19]

Ils reçoivent du courant alternatif de la section normale du jeu de barre BT (400V) et le redresse en courant continu qui servira à recharger les batteries de stockage et à alimenter en DC le jeu de barre 110Vdc.[15]

Table 5. Fiche signalétique des redresseurs [15]

<i>Courant</i>	<i>Input voltage</i>	<i>Output voltage</i>
400A	400 V	110 V

La figure ci-dessous présente en image les deux redresseurs ainsi que leur distribution.



Figure 9. Image des redresseurs

En condition normale, les deux redresseurs (Rectifier 1 et Rectifier 2) alimentent la charge automatique des batteries et alimentent en même temps la charge du courant continu. Les redresseurs sont munis de tableaux descriptifs sur lesquels on retrouve toutes les signalisations de fonctionnement, alarmes et appareils de mesure.[15]

Les redresseurs sont équipés d'outils de contrôle de données d'entrée et de sortie (TC, TT...) et capable de suivre le fonctionnement de chaque redresseur.[20]

La figure ci-dessous présente pour le Rectifier 1 les données recensées par les outils de contrôle.

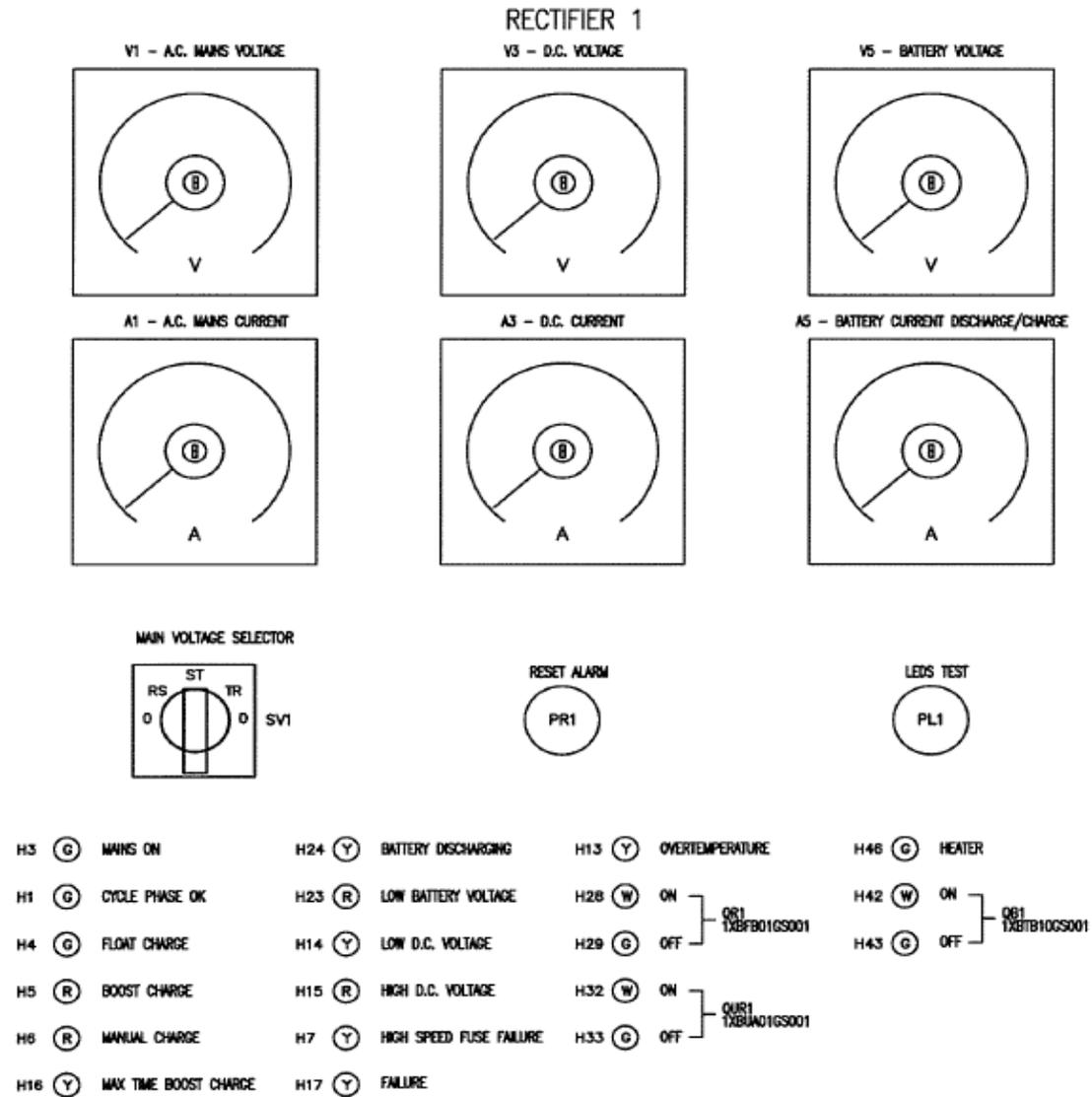


Figure 10. Tableau de représentation des données des redresseurs [20]

❖ Les batteries de stockage

Table 6. Fiche signalétique lots de batteries

Constructeur	FIAMM
Tension nominale	2Volt/batterie
Tension maximale admissible	2,4 Volt/batterie
Tension minimale admissible	1,65 Volt/batterie
Nombre de batteries	54
Capacité	950 Ah
Température min/max	15°C/ 34°C
Température prescrite par le constructeur	20°C

❖ L'onduleur

Tout comme le redresseur, l'onduleur est lui aussi un convertisseur statique. Mais contrairement au redresseur, l'onduleur reçoit une tension continue qu'il transforme en tension alternative.

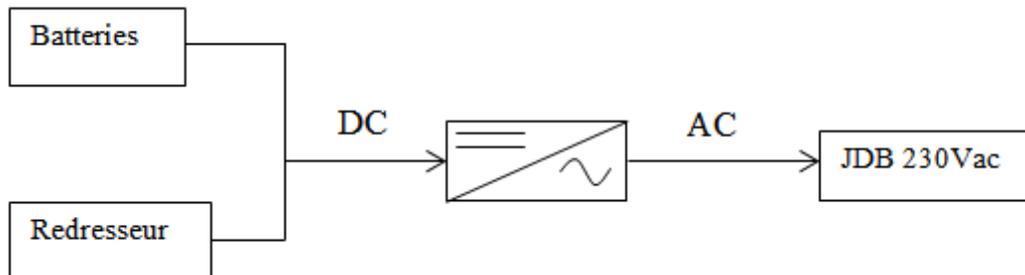


Figure 11. Schéma de principe de l'onduleur

L'onduleur utilisé pour notre système est réalisé à l'aide de transistors de type MOFSETs. La figure ci-dessous est le schéma du circuit électronique de notre onduleur.

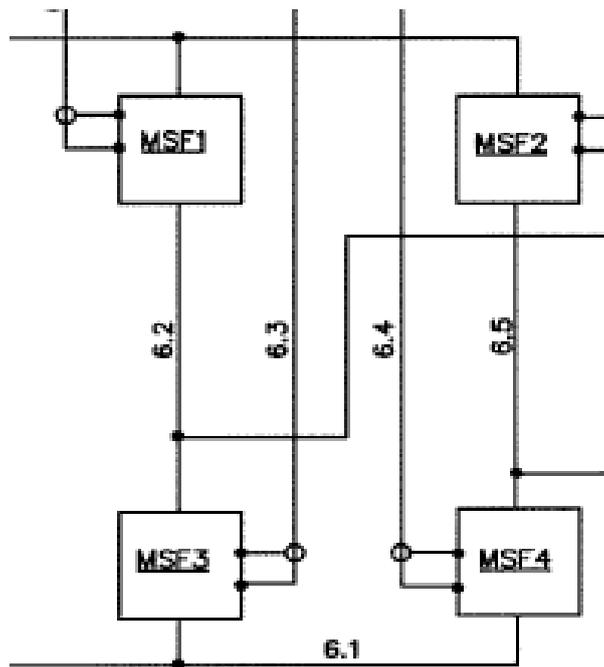


Figure 12. Schéma électrique de l'onduleur.[17] (ANNEXE V)

Les MOSFETs sont des composants commandés en tension [21]. Le schéma ci-dessous est un schéma de principe du MOSFET.

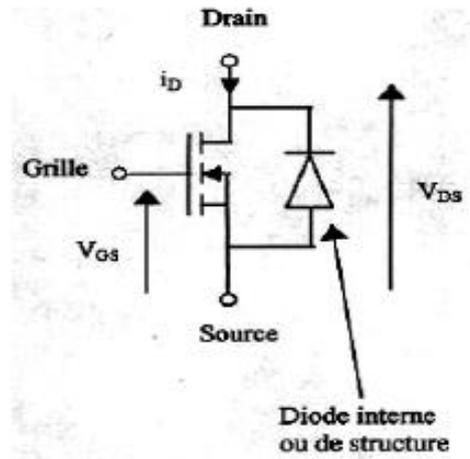


Figure 13. Principe de fonctionnement des MOFSETs

Les MOFSETs sont en position ON lorsque la tension Grille-Source est inférieure à la tension seuil $V_{GS(th)}$. Une tension Grille-Source appropriée doit être maintenue pour que le MOFSET demeure à l'état on. Aucun courant de grille ne circule, excepté durant les commutations lorsque la capacité de grille est chargée puis déchargée. Ils sont utilisés pour des tensions $> 1000V$ pour les faibles courants, ou à des courants $> 100A$ pour des faibles tensions.[21]

Le maintien de cette tension est assuré dans le cas présent par un générateur de signal PWM.

L'onduleur permet la conversion du courant continu issu du jeu de barre 110Vdc en courant alternatif qui servira à alimenter le JDB 230Vac.[15]

Table 7. Fiche signalétique des onduleurs

Puissance de l'UPS	Input voltage	Output voltage	Régime
15 kVA	110V	230V	monophasé

La figure ci-dessous présente en image l'onduleur et sa distribution.



Figure 14. Image de l'onduleur

L'UPS comprend un tableau de contrôle sur lequel on retrouve tous les voyants du système d'alarme ainsi que ceux du système de mesure. De plus, on peut lire sur ce tableau la tension de la source principale d'alimentation, la tension de la batterie, la charge ou la décharge des batteries, la tension de sortie de l'UPS, le courant de sortie, la fréquence de sortie.

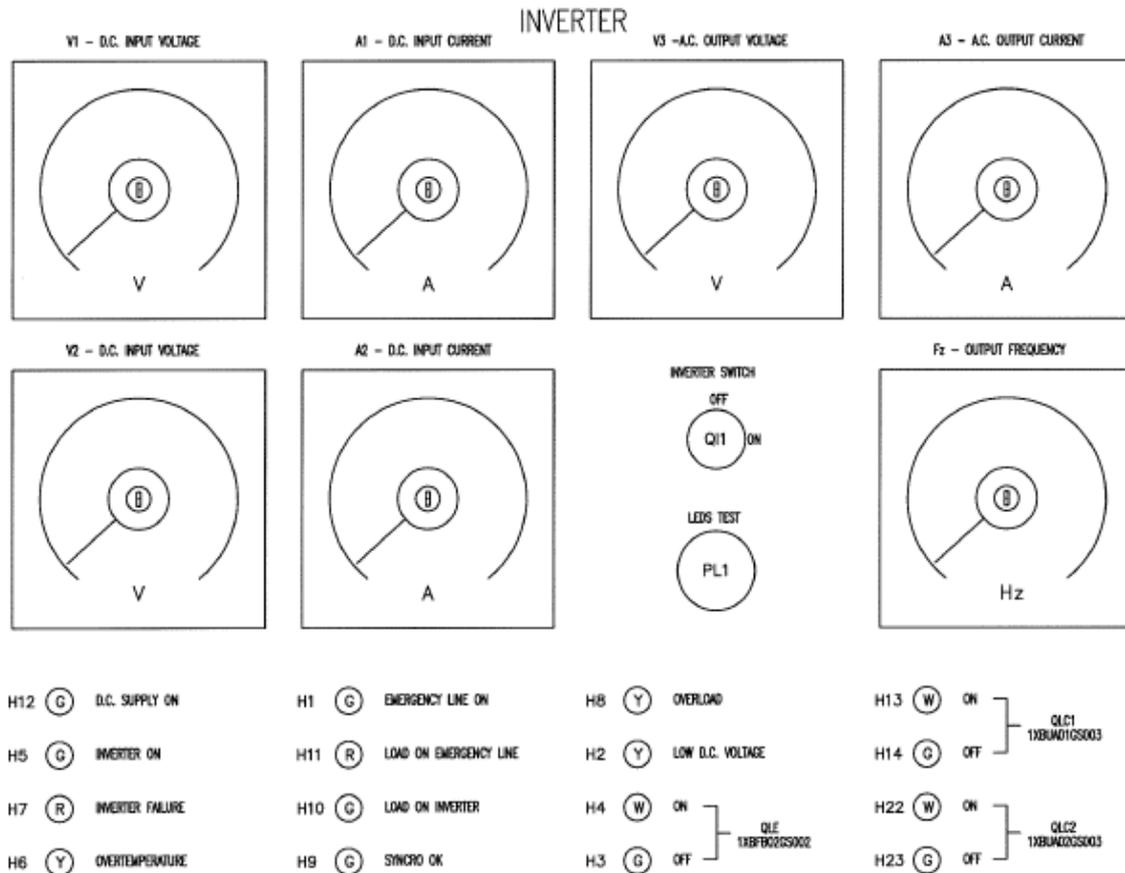


Figure 15. Tableau de représentation des données de l'onduleur [22]

❖ Interrupteur statique

Le courant issu de l'onduleur n'alimente pas directement le JDB 230Vac, il doit au préalable passer par un interrupteur statique.

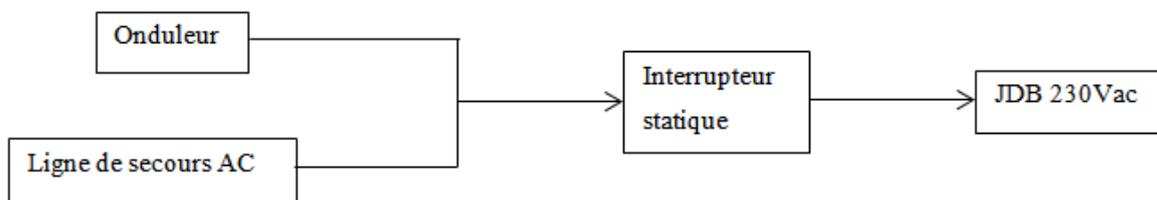
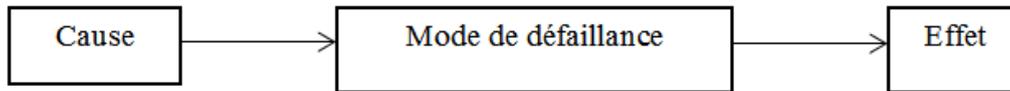


Figure 16. Schéma de principe de l'interrupteur statique

Le commutateur statique a pour rôle de gérer le basculement entre l'onduleur et la ligne de secours - et vice-versa - de manière fiable et transparente.

2. Analyse des défaillances potentielles

Il s'agit d'identifier les schémas de types :



La cause est l'anomalie qui conduit à la défaillance ; le mode de défaillance concerne la fonction et exprime de quelle manière cette fonction ne fait plus ce qu'elle est sensée faire. L'analyse fonctionnelle recense les fonctions, l'AMDEC envisage pour chacune d'entre-elles sa façon (ou ses façons car il peut y en avoir plusieurs) de ne plus se comporter correctement. Et l'effet concrétise la conséquence du mode de défaillance sur le système. Il faut noter que certaines défaillances n'empêchent en aucun cas à l'équipement d'exercer sa fonction principale et de ce fait n'influencent pas le fonctionnement même du système. [6], [14]

❖ L'onduleur

Table 8. Défaillances potentielles sur l'onduleur

<i>Système</i>	<i>Causes probables</i>
<i>Pannes sur l'onduleur</i>	Pannes du module de conversion
	Arrivée du courant trop faible ou trop élevé
	Surcharge de l'UPS
	Surchauffe : température ambiante trop élevée, température du module de conversion trop élevée, panne de ventilateur, panne de courant
	Panne de la carte de l'oscillateur

La surchauffe n'empêche pas à l'équipement de fonctionner sur le court terme ; cependant elle peut lui être fatale à l'appareil sur le long terme en provoquant la destruction d'un élément clé au fonctionnement de l'UPS comme un transformateur par exemple. Par contre, une défaillance sur le module de conversion par contre peut supprimer automatiquement la fonction principale de l'UPS. Une panne sur l'oscilloscope de l'UPS ne conduit pas à la suppression de sa fonction principale.

❖ Les redresseurs

Table 9. Défaillance potentielles sur les redresseurs

<i>Systeme</i>	<i>Causes probables</i>
<i>Pannes sur le Redresseur</i>	Principales tensions alternatives trop faibles ou trop élevées.
	Perte d'une phase de tension alternative due au déclenchement d'un fusible, à un disjoncteur défectueux ou à une jonction fautive sur conducteur
	surcharge
	Carte mère endommagée
	Surchauffe : température ambiante trop élevée, température du module de conversion trop élevée, panne de ventilateur

Tout comme avec l'UPS, toutes les pannes sur le redresseur ne conduisent pas automatiquement à sa suppression de la fonction principale de ce dernier. En effet, dans le cas d'une baisse de la tension alternative d'entrée par exemple, le redresseur peut bien continuer à accomplir sa fonction principale à condition que la chute de tension reste dans les normes acceptables par l'équipement. Cependant, l'endommagement de la carte mère supprime automatiquement la fonction principale du redresseur.

❖ Les batteries

Les pannes sur les batteries peuvent être causées par une élévation de la température du local des batteries qui est maintenue entre 20°C et 25°C grâce à des extracteurs d'air placés dans le local. Ces extracteurs permettent également d'éviter l'accumulation d'hydrogène dans le local des batteries. En effet, l'hydrogène est un élément explosif et sa présence dans le local ajouté à une élévation de température peut engendrer une explosion dans le local et de facto la destruction des batteries.

L'introduction d'impuretés dans la batterie est aussi à l'origine de défaillances dans cette dernière. En effet, les batteries de stockages utilisés contiennent de l'électrolyte est constitué d'une solution d'acide sulfurique. Les impuretés dans l'électrolyte doivent être conformes au tableau suivant :

Table 10. Caractéristiques des batteries [23]

<i>Impuretés</i>	<i>Electrolyte pour premier remplissage (mg/l)</i>	<i>Eau de remise à niveau (mg/l)</i>
<i>Cuivre</i>	0,5	0,5
<i>Métaux lourds (As, Bi, Sn, Sb)</i>	2	6
<i>Fer</i>	30	100
<i>Chlore</i>	5	200
<i>Azote</i>	60	60
<i>Substances organiques</i>	50	50
<i>Autres impuretés</i>	250	800

Au vu de leur nombre, il est difficile que toutes les batteries soient en même temps défaillantes à part en cas d'explosion dans la salle.

❖ L'interrupteur statique

L'interrupteur statique est un dispositif qui permet de commuter un courant électrique sans recours à des éléments mécaniques ou électromagnétiques. Il est fait de semi-conducteurs et comprend un circuit de puissance et un circuit de commande (ANNEXE VI). La partie puissance est faite de composants d'électronique de puissance tels que les thyristors et la partie commande comprend un opto-coupleur destiné à assurer une isolation galvanique entre le circuit de commande et le circuit de puissance tout en ne nécessitant qu'un courant de quelques dizaines de milliampères. Bien qu'ayant une bonne durée de vie (de l'ordre du million de cycle de commutations), il possède des contraintes l'exposant à des défaillances potentielles.

Table 11. Défaillances potentielles sur le switch static

<i>Système</i>	<i>Défaillances</i>
<i>Interrupteur statique</i>	Surchauffe : causée par l'arrêt ou le dysfonctionnement du dispositif de dissipation de chaleur générée par effet joule par la résistance lors du passage du courant dans les semi-conducteurs (résistance interne des semi-conducteurs non-nulle).
	Surintensité : en cas de surintensité et de destruction d'un semi-conducteur le contact peut soit resté ouvert, soit laisser passer un faible courant ou être à l'origine d'un court-circuit.

2.1. Impact des défaillances sur le système

❖ Défaillance sur le redresseur

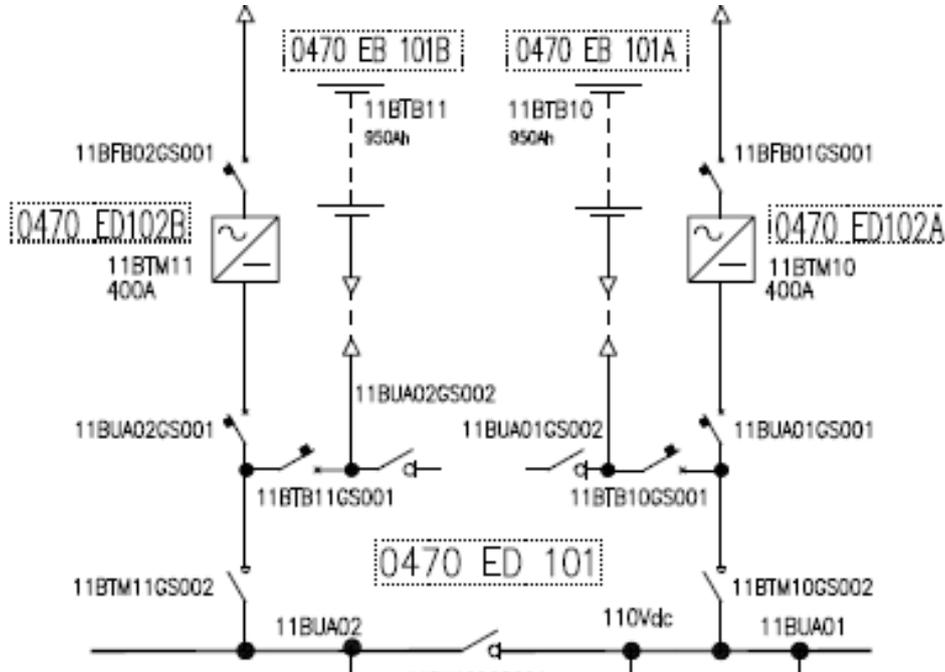


Figure 17. Partie redressement du système

Au cas où une défaillance grave intervenait sur l'un des redresseurs occasionnant la mise hors service de ce dernier, le jeu de barre 110 V DC restera alimenté par le second. Le second redresseur continuant l'alimentation du JDB 110Vdc, les charges liées à ce dernier (l'UPS 15kVA, le système de contrôle des vannes motorisées, la pompe d'urgence de l'huile lubrifiante de la turbine,...) restent donc opérationnelles. Il n'y aura donc pas de grave problème en conséquent. Cependant, bien que peu probable un problème avec mise à l'arrêt des deux redresseurs peut arriver ou encore on peut avoir un problème sur l'un des redresseurs pendant que l'autre est à l'arrêt pour cause de maintenance. Dans les deux cas l'impact sur le système sera grave. En effet, le JDB 110V DC perdant son alimentation, il n'y a pas de source de secours prévue pour pallier au problème. [15]

Conséquences sur le système :

- GT synchronizing panel perd son alimentation occasionnant une perte de synchronisme entre le générateur et le réseau électrique de la SNE
- La pompe d'urgence de l'huile lubrifiante de la turbine n'est pas alimentée, en cas d'urgence : les frottements entre l'arbre en rotation de la génératrice et coquilles du palier ne sont plus minimisés et la chaleur des paliers; par conséquent, il y aura augmentation de la température liée à des forces de frottements considérables. Ce qui

peut être à l'origine d'un incendie au niveau du générateur occasionnant la mise à l'arrêt de la génératrice ou la cassure du rotor de la génératrice.

- GT protection panel n'est plus alimenté : arrêt de la turbine dû à une perte de contrôle de la cette dernière.

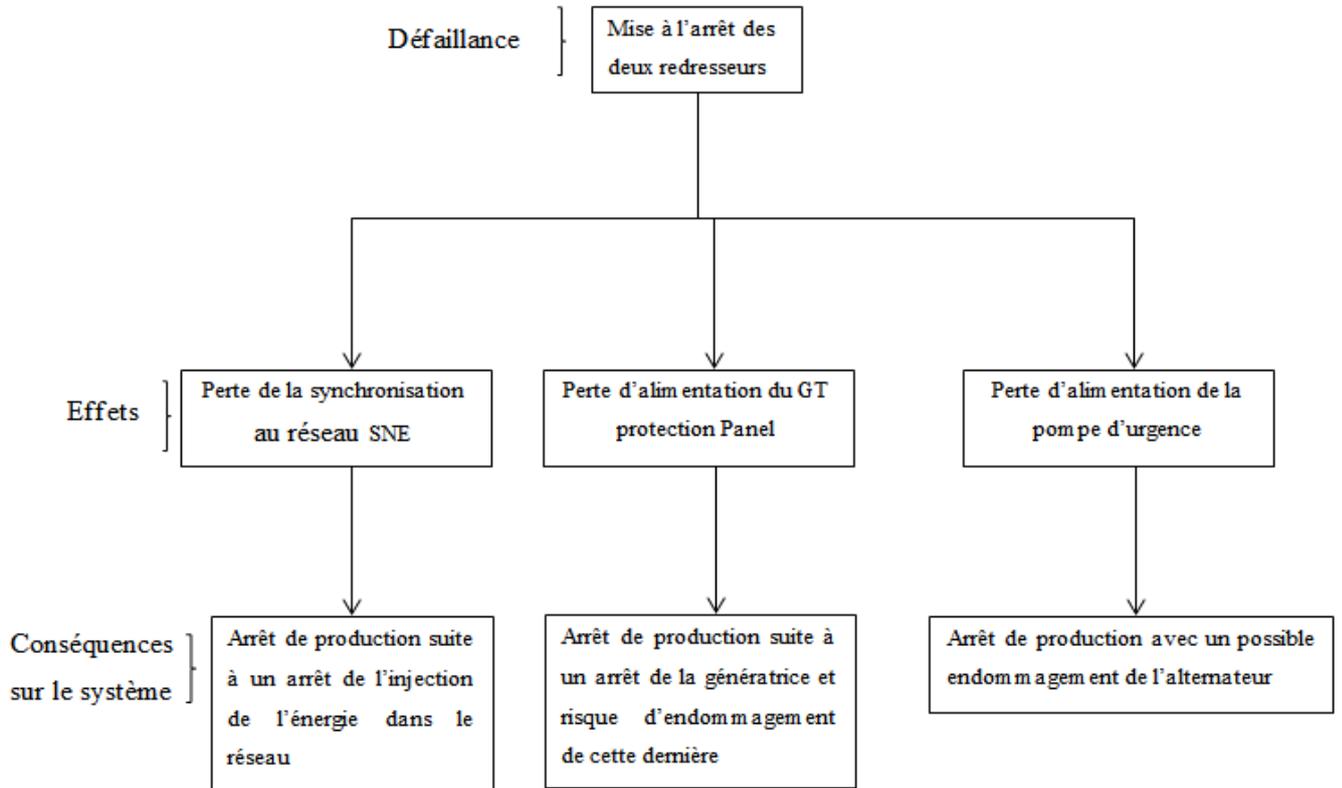


Figure 18. Conséquences de la mise à l'arrêt des deux redresseurs

❖ Défaillance sur l'onduleur ou sur le l'interrupteur statique

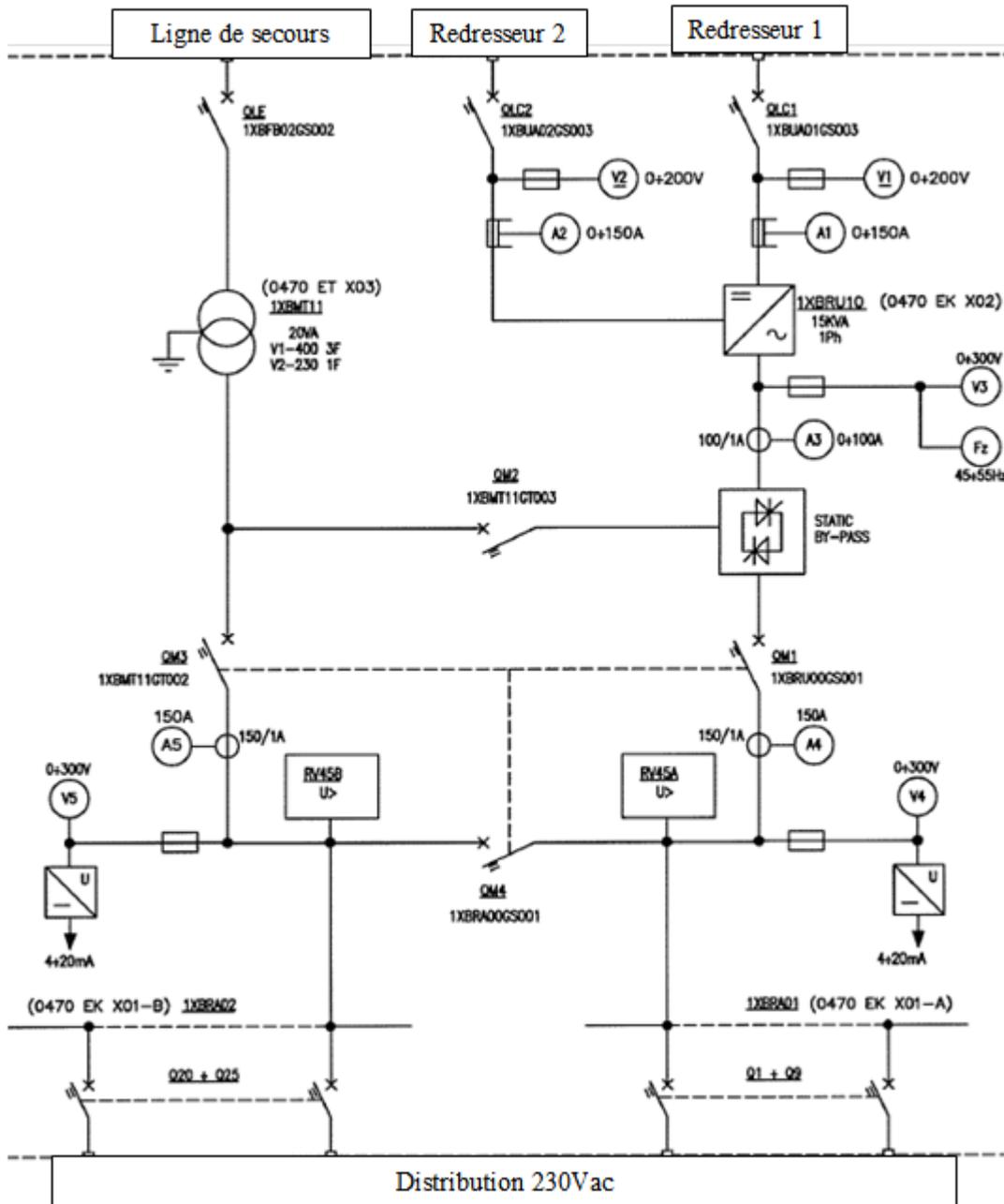


Figure 19. Partie onduleur et switch static du système [17]

En cas de défaillance grave c'est à dire avec mise hors service de l'onduleur ou d'une opération de maintenance sur l'onduleur, la ligne de secours pourra alimenter le JDB 230V AC via le statique switch qui assurera la commutation. Si à la place c'est le static switch qui est défaillant et incapable de réaliser sa fonction principale, ce dernier sera automatiquement bypassé par l'ouverture du disjoncteur 11BMT11GT003 et du disjoncteur 11BRU00GS001 et par la fermeture du 11BMT11GT002. [17]

3. Analyse de la criticité des éléments du système

Les trois critères retenus pour l'évaluation de la criticité sont :

- La gravité
- La fréquence
- La non-détection

La gravité exprime l'effet de la défaillance sur la productivité. Ce qui est dans notre cas lié au fait que la défaillance peut empêcher la production et générer de facto des coûts de perte de production à l'entreprise. La gravité sera évaluée par une note allant de 1 à 3. [14]

Note 1 : défaillance sans conséquence directe sur l'élément défaillant du système (arrêt de l'élément).

Note 2 : défaillance d'un élément du système pouvant être palliée par un autre élément assurant la même fonction. La défaillance n'entraîne donc pas l'arrêt de la production.

Note 3 : défaillance engendrant la non-alimentation de certains éléments clés du système (éléments alimentés par l'un des jeux de barre) et entraînant l'arrêt de la production.

La fréquence exprime la période à laquelle la défaillance est susceptible de se produire. Mais dans notre cas après consultation de l'historique des défaillances du système, on a constaté qu'aucune défaillance n'a été enregistrée. Cependant, cela ne réduit en rien la probabilité d'apparition d'une défaillance pour les éléments du système.

Note 1 : probabilité d'une défaillance pratiquement inexistante

Note 2 : une défaillance pourrait se produire

La non-détection est l'efficacité du système à détecter la défaillance. Plusieurs moyens sont utilisés : bip sonore, voyants lumineux, signal envoyé à l'opérateur DCS, ou encore par détection visuelle de la défaillance (en faisant un constat visuel de la chose, sans bip sonore ou voyant lumineux).

Note 1 : défaillance immédiatement repérable (signal envoyé à la salle de contrôle par exemple)

Note 2 : défaillance repérable grâce à un bip sonore

Note 3 : défaillance repérable grâce à un signal lumineux

Note 4 : défaillance repérable grâce à contrôle visuel ou après que cette dernière ait engendré un problème majeur

Table 12. Valeurs de la Criticité

<i>Elément du système</i>	<i>Défaillance</i>	<i>Gravité</i>	<i>Fréquence</i>	<i>Non-détection</i>	<i>Criticité</i>
<i>Onduleur</i>	Module de conversion défaillant	2	2	1	4
	Surcharge	1	2	3	6
	Courant d'entrée faible	1	2	3	6
	Surchauffe	1	2	3	6
<i>Redresseur</i>	Tensions d'entrée trop faible ou trop élevées	1	2	3	6
	Perte de phase	2	1	4	8
	Surcharge	1	2	3	6
	Carte mère endommagée	2	1	3	6
	Surchauffe	1	2	3	6
	Défaillance sur les deux redresseurs	3	1	3	9
<i>Batteries</i>	Tension délivrée faible	1	2	3	6
<i>Interrupteur statique</i>	Surchauffe	1	2	3	6
	Surintensité	1	2	3	6

Le seuil de criticité sera fixé à 9. En effet, c'est à cette valeur qu'on a une défaillance pouvant engendrer un arrêt de la production. A ce seuil de criticité nous allons proposer une solution technique qui pourra réduire cette criticité et augmenter la fiabilité et la disponibilité du système.

4. Conséquences économiques de la défaillance

Au vu de cette analyse, on peut dire que la défaillance la plus grave sur notre système est celle qui aurait lieu sur les deux redresseurs. Les autres défaillances étant directement palliées par d'autres systèmes (telle que la ligne de secours par exemple) destinés à assurer la fiabilité et la

disponibilité du système en cas de problème. Il faut noter qu'une telle défaillance (avec arrêt du système) est à l'origine de coûts d'indisponibilité.

Comme nous l'avons vu dans la Méthodologie, il y a plusieurs coûts liés l'indisponibilité de la machine. Ceux qui sont dans notre cas chiffrables sont les coûts de perte de production.

Les coûts de perte de production sont des coûts d'indisponibilités qui seront dans notre cas dûs à l'arrêt de la machine. Il inclura le manque à gagner par l'entreprise ainsi que la conséquence de l'image de l'entreprise qui elle est non-chiffrable directement. Il faut noter qu'on ne tiendra compte du temps d'indisponibilité ou du temps d'arrêt qui sont inconnus. Il nous reste le taux horaire qui représente le manque à gagner de l'entreprise auprès de ses clients.

*Coût de perte de production = prix de vente de l'électricité * puissance moyenne vendue* (2)

$$\text{Coût de perte de production (FrsCFA/h)} = 25 \text{ FrsCFA/kWh} * 150.000 \text{ kW}$$

$$\text{Coût de perte de production (FrsCFA/h)} = 3.750.000 \text{ FrsCFA/h}$$

Une telle défaillance peut générer un manque à gagner à l'entreprise de 3.750.000 FrsCFA par heure. Ce qui représente un manque à gagner considérable pour l'entreprise. En effet, ce manque à gagner considérable étant chiffré par heure, on voit bien l'impact économique d'une telle défaillance s'étalant sur plusieurs heures voir plusieurs jours.

VI. Proposition de solutions techniques

Une seule défaillance a une criticité atteignant le seuil défini. Il s'agit de la mise hors service des deux redresseurs. Comme nous l'avons vu en amont, elle peut engendrer des coûts de perte de production à l'entreprise mère ; la première solution proposée est le placement de deux lignes d'interconnexion entre les différents systèmes de stockage DC des deux turbines.

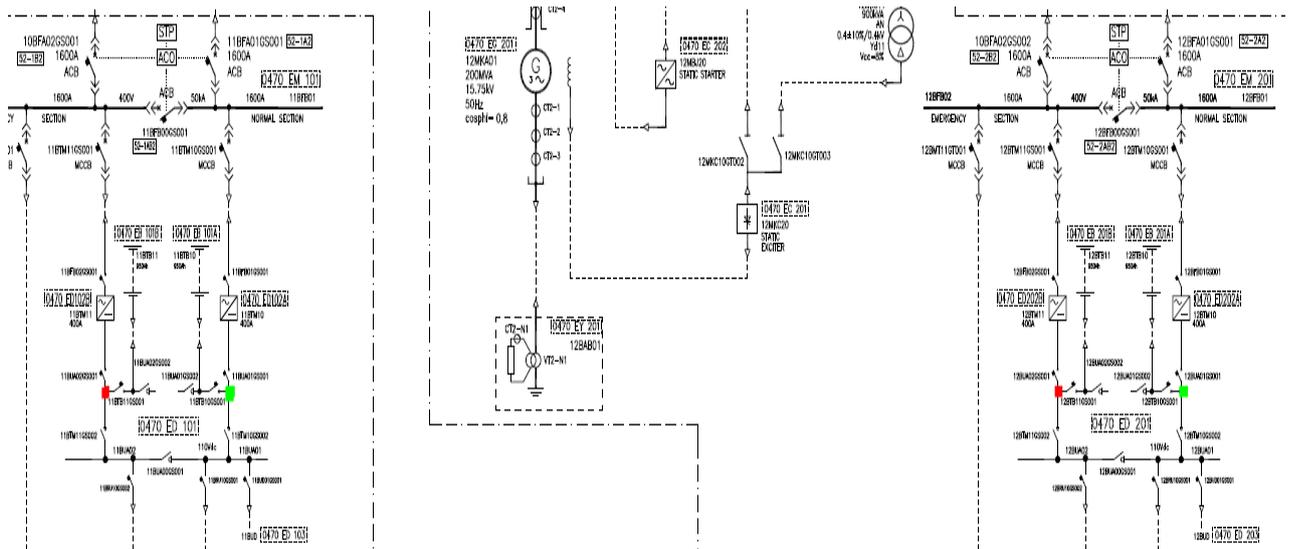


Figure 20. Schéma représentant les points de liaison des lignes d'interconnexion [15]

Les points colorés sur la figure 21 représentent les points sur lesquels les connexions vont être effectuées.

La distance entre les redresseurs des turbines est évaluée à 100m.

1. Dimensionnement des câbles

Les conducteurs CC sont dimensionnés de sorte que la section S vérifie la relation

$$S = \frac{\rho * L * I}{\varepsilon * U} \quad (3)$$

Avec :

S : la section du conducteur (en mm^2) ;

ρ : la résistivité de l'âme conductrice ici en cuivre (en $\Omega mm^2 \cdot m^{-1}$) ;

L : la longueur aller-retour du conducteur (en m) ;

I : l'intensité (en A) ;

ε : la chute de tension fixée à 5% ;

U : la tension (V).

Bien que le courant nominal des redresseurs soit de 400A, les batteries sont alimentées avec un courant de 142A. C'est donc sur cette base que nous allons dimensionner les lignes d'interconnexion.

Table 13. Sections de conducteurs 1

ρ ($\Omega\text{mm}^2\cdot\text{m}^{-1}$)	L (m)	I (A)	U (V)	S (mm^2)
0,0171	250	335	110	260,38

On a obtenu une section de câble de 260,38 mm^2 . Cette section étant très grande, nous allons utiliser un câble tripolaire dont chaque pôle pourra transporter le tiers du courant, qui représente 47,33A. Des cosses pour les connexions seront placées au niveau des extrémités des câbles.

Le résultat du calcul est présenté dans le tableau suivant :

Table 14. Sections de conducteurs

ρ ($\Omega\text{mm}^2\cdot\text{m}^{-1}$)	L (m)	I (A)	U (V)	S (mm^2)
0,0171	250	167,5	110	86,79

On obtient une section de câble de 86,79 mm^2 ; on prendra dans ce cas des câbles 3G95 mm^2 .

2. Dispositifs de protection

Pour la protection des câbles, on utilisera des disjoncteurs. Ils pourront être fermés ou ouverts en fonction du besoin. Deux disjoncteurs seront placés sur chaque ligne pour une protection bidirectionnelle de la ligne. Les disjoncteurs choisis seront de type DC, pouvant supporter un courant de 400A et une tension de 110V.

3. Devis estimatif

Table 15. Dévis estimatif des lignes d'interconnexion

N°	Designations	Unité	Prix unitaire	Quantité	Montant (Frs CFA)
I	Conducteur				
I.1	Câble rigide U-1000 R2V 3G95 mm^2	ml	20000	500	10.000.000
I.2	Cosse pour les connexions	u	11830	8	94.640
II	Protections				
II.1	Disjoncteurs DC 170A	u	200000	8	1.600.000
Total x 4					46.780.000

Le montant total est estimé à 47 millions de francs CFA. Ce qui est acceptable si on compare avec le manque à gagner que peut avoir l'entreprise. En effet, cette somme représente un peu plus de douze fois le manque à gagner estimé en monnaie/ heure ; ce qui ne représente qu'une

demi-journée de non production. Si l'arrêt s'étend sur tout un jour, voir plus on peut bien mesurer l'impact économique de la défaillance et donc négliger le montant de la solution.

4. La seconde solution

La seconde solution est une recommandation qui va consister à tenir à jour un historique fiable de maintenance des équipements afin de faciliter les études liées à celles-ci, et donc de faciliter les prises de décisions pouvant minimiser les pertes de production.

VII. Prise de recul sur le travail effectué

Lors de notre stage, certaines difficultés rencontrées ont conduit à des limites à notre étude. L'une des plus importantes est l'inaccessibilité à l'historique de production qui aurait pu nous donner plus de détails dans le calcul des coûts liés à l'arrêt de la production. En effet, en ayant part à ces données, nous aurions pu avoir une approche du temps de défaillance et de facto du coût engendré. On peut aussi ajouter l'inaccessibilité à l'historique des défaillances de la centrale pour notre système (ce qui nous a obligé à nous baser sur les interviews du personnel) mais aussi l'historique de défaillances d'autres systèmes similaires, qui aurait vraiment apporté un plus au niveau des évaluations de la criticité et aussi du temps de non-fonctionnement.

L'accès à ces supports de travail nous aurait permis de mener une étude comparative avec la méthode Pareto par exemple afin d'affiner les résultats de notre études obtenus par la méthode AMDEC.

VIII. Conclusion

Au cours de notre analyse, nous avons pu évaluer la fiabilité du système de stockage d'énergie en DC. Ce système étant lié à des charges critiques qui ne doivent en aucun cas être en manque d'énergie, nous avons pu constater que le système n'était pas totalement fiable car comme vu au dans l'analyse des défaillances potentielles (pages 34 et 35 du mémoire), un arrêt des redresseurs pour une turbine, entraînera automatiquement la cessation d'alimentation du JDB 100VDC ce qui a montré que le système n'était pas totalement fiable et ne pouvait être disponible à tout moment. La solution proposée qui consiste par lier les systèmes des deux turbines par des lignes d'interconnexion bien que coûteuse permet bien de pallier au problème que nous avons repéré et d'avoir ainsi un système plus fiable et surtout toujours

Réalisation d'une analyse des modes de défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) du système DC des turbines de la Centrale Electrique à du Congo

disponible en cas de besoin. Ce qui aura un impact positif sur la production qui est le but même de la centrale.

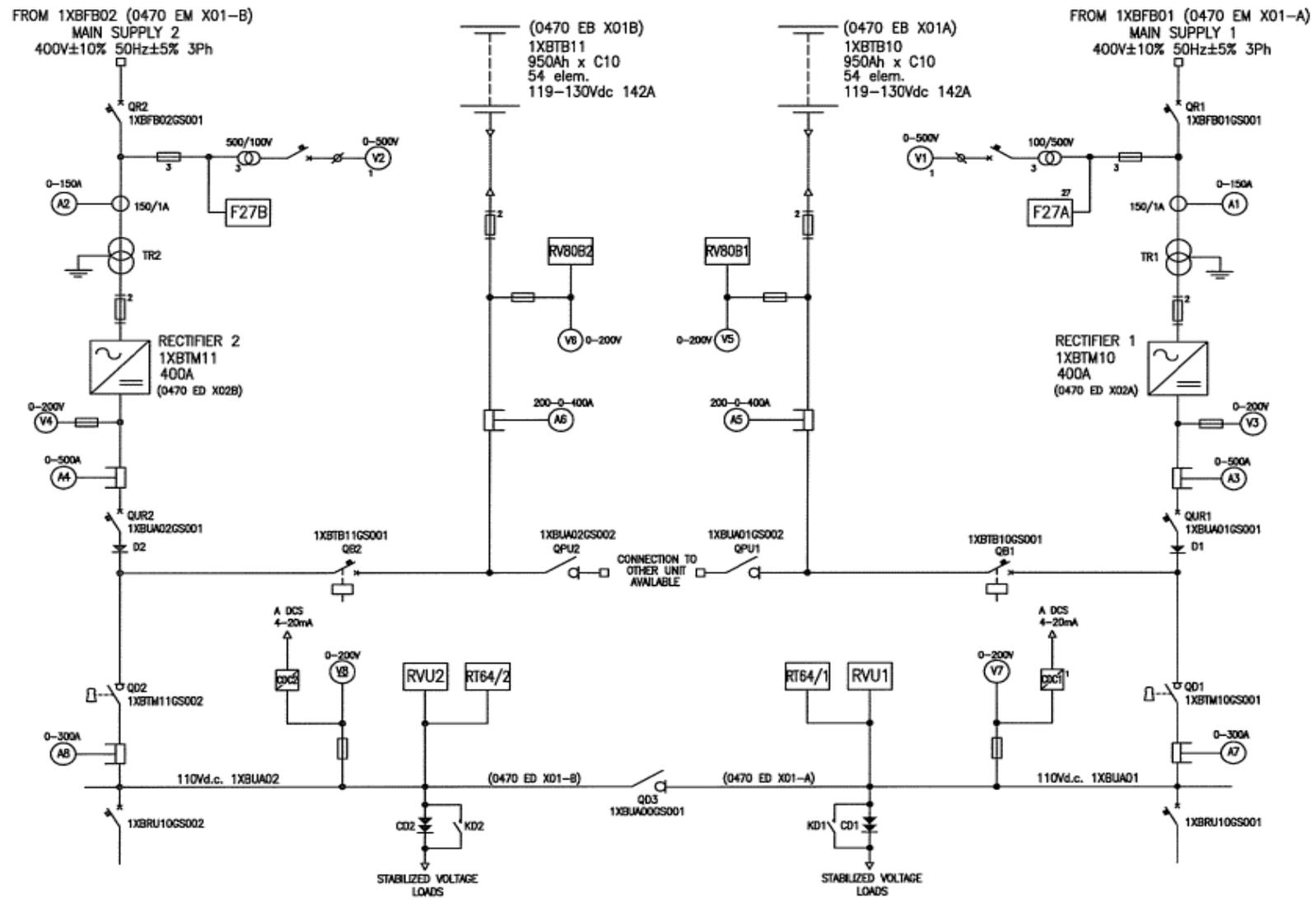
IX. Bibliographie

- [1] CEC, « Visite CEC par Total ». .
- [2] Dietsmann, « Dietsmann ». .
- [3] AFNOR, « NF EN 13306 ». juin-2001.
- [4] Technologue pro, « La Maintenance Industrielle ». .
- [5] Teleec, « La Maintenance corrective ». .
- [6] Méthode de Maintenance MI, « Les défaillances ». .
- [7] Méthodes de Maintenance MI, « La Maintenance Préventive ». .
- [8] Méthode de Maintenance MI, « La Disponibilité des systèmes réparables ». .
- [9] Stratégie de Maintenance MI, « La Fiabilité des systèmes de production ». .
- [10] Pr Ahmed BELLAOUR, « Fiabilité Maintenabilité Disponibilité ». 2013.
- [11] Méthode de Maintenance MI, « Aspects économiques de la maintenance ». .
- [12] « AMDEC Processus ». .
- [13] « AMDEC ppt ». .
- [14] Pr. Joseph Kélada, « L'AMDEC ». 1994.
- [15] ABB, « General one line diagram CEC ». .
- [16] ABB, « 110Vdc Battery charger & distribution panel electrical design ». .
- [17] ABB, « 230Vca Inverter & Distribution panel electric design ». .
- [18] Dr.Y. Moussa Soro, « Cours Redresseurs 2IE ». 21-mars-2014.
- [19] « Redressement commandé ». .
- [20] ABB, « 110Vdc Battery charger and distribution panel Outline & section ». .
- [21] Mamadou Bailo CAMARA, Maître de Conférences HDR, Laboratoire GREAH, et Université Le Havre, France, « Cours Electronique de Puissance 2 ». 26-oct-2015.
- [22] ABB, « 230Vca Inverter & Distribution panel Outline Drawing ». .
- [23] FIAMM, « Battery system 110Vdc O&M ». .

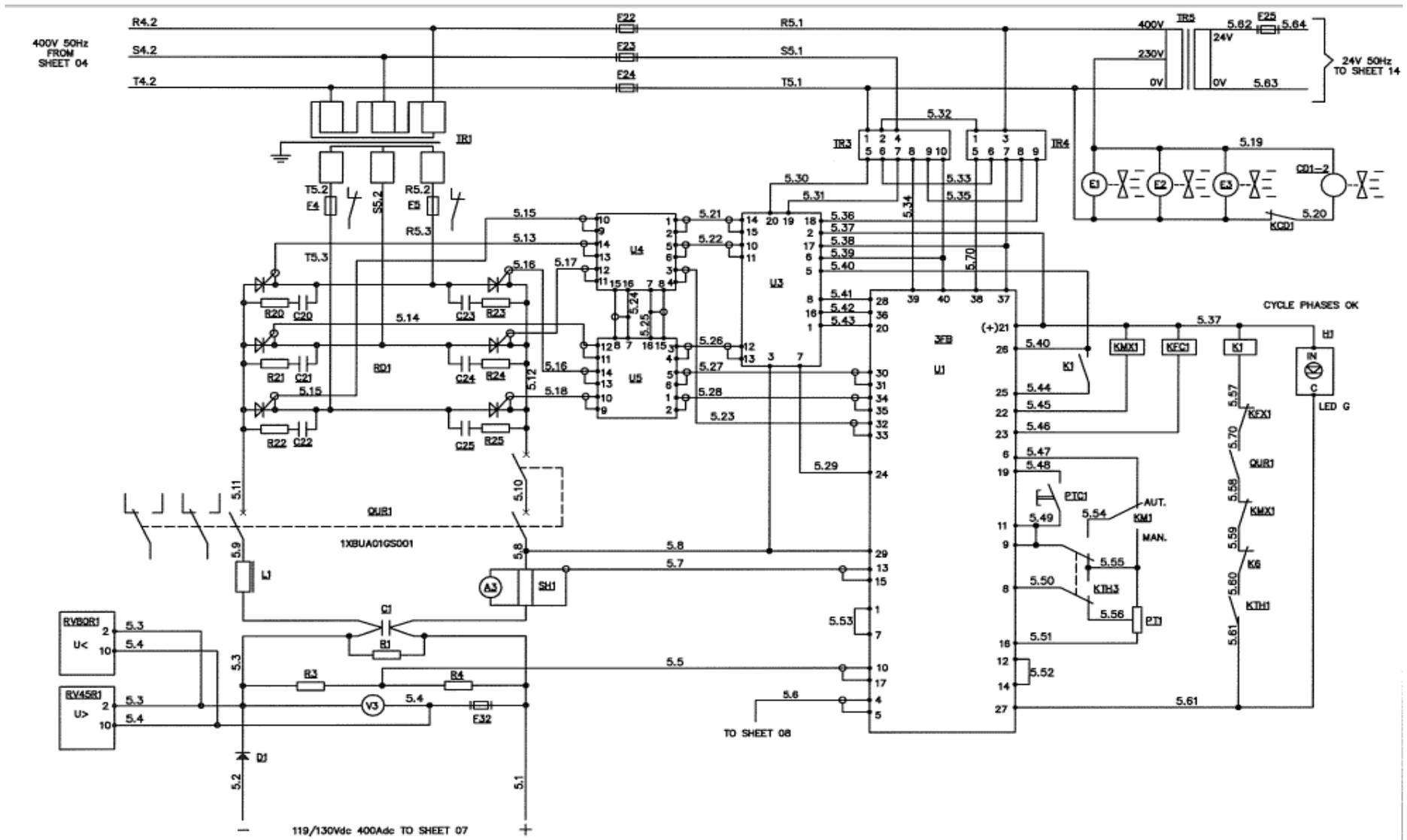
Liste des Annexes

Annexe I: Schéma électrique de la partie DC du système (Redresseur- Batteries- JDB 110Vdc)	I
Annexe II: Schéma électrique des redresseurs	II
Annexe III: Système de décharge des batteries	III
Annexe IV: Schéma électrique de la partie AC (Onduleur – Static switch – ligne de secours – JDB 230Vac)	IV
Annexe V: Annexes V : Schéma électrique des onduleurs du système	V
Annexe VI: Annexes VI : Schéma électrique Static Switch	VI

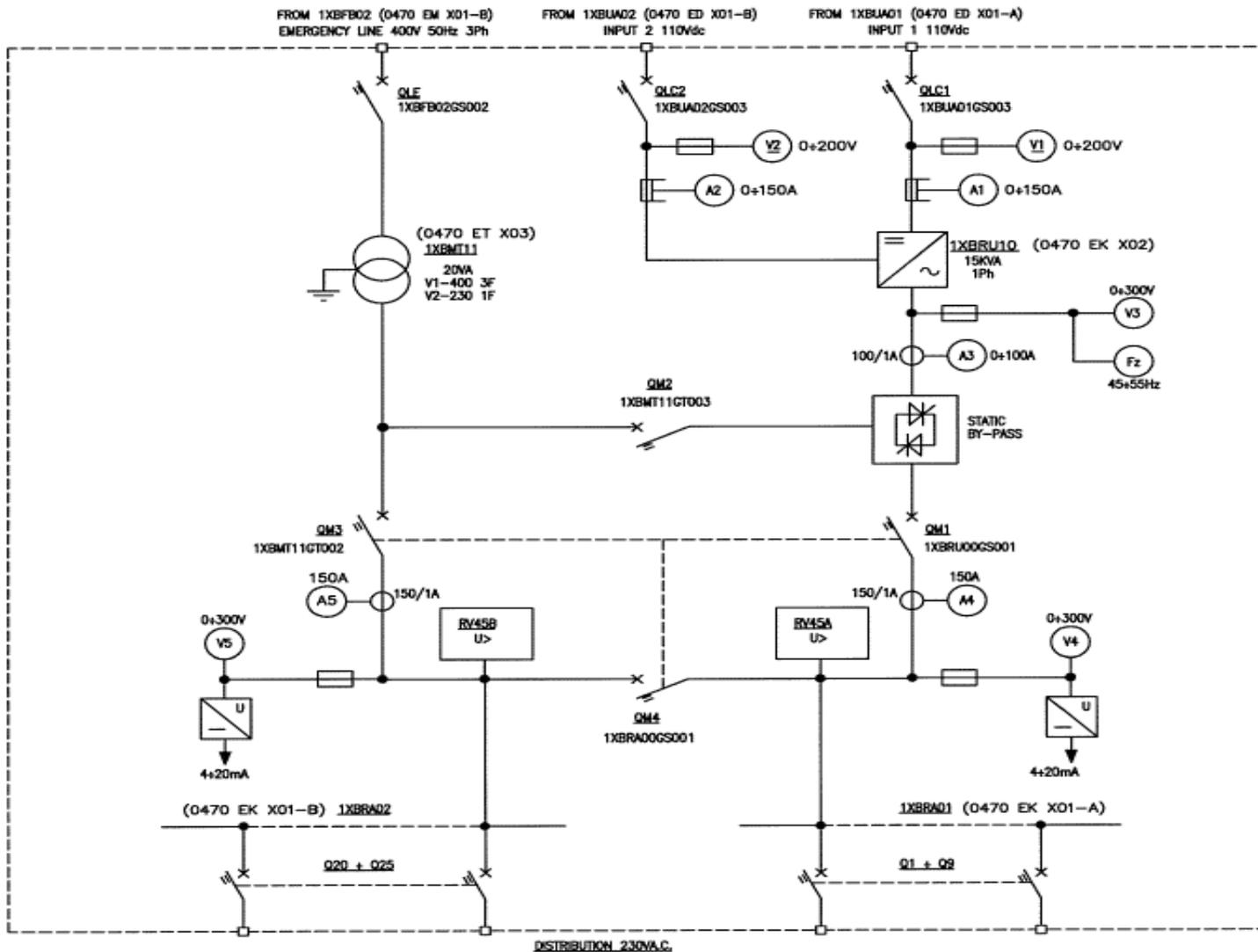
Annexe I: Schéma électrique de la partie DC du système (Redresseur- Batteries- JDB 110Vdc)



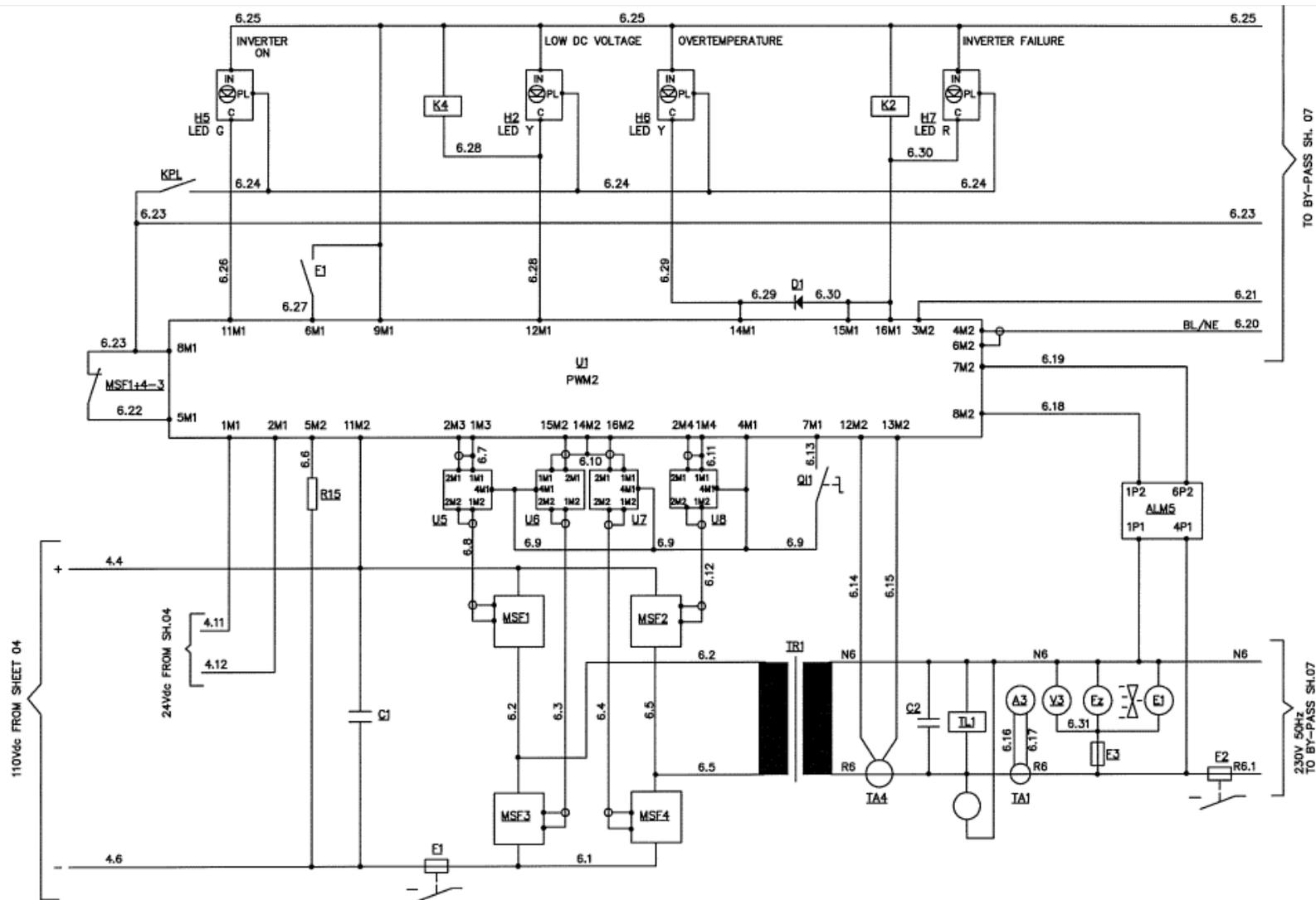
Annexe II: Schéma électrique des redresseurs



Annexe IV: Schéma électrique de la partie AC (Onduleur – Static switch – ligne de secours – JDB 230Vac)



Annexe V: Schéma électrique des onduleurs du système



Annexe VI: Schéma électrique Static Switch

