

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté de Technologie
Département Génie Mécanique
Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en :

Filière : Electromécanique

Spécialité : Maintenance industrielle

THEME

Analyse et maintenance de la station de production d'hydrogène du nouveau
central a cycle combiné Cap-Djenet par la méthode AMDEC

Présenté par :

BENHAMADI Anis

ZEGGAGH Islem

Promoteur :

Dr. Hakim SIGUERDJIDJENE

Promotion 2023- 2024

Résumé

Notre travail consiste à étudier l'état de fonctionnement de la station production de l'hydrogène au sein de la centrale thermique à cycle combiné à Cap-djinet.

A cet effet, nous avons appliqué la méthode AMDEC (Analyse des modes de Défaillance de leurs effets et leurs criticité) sur les machines de production d'hydrogène pour déterminer les organes à criticité élevée et établir des actions correctives adéquates de ces derniers.

Mots clés : Maintenance, analyse AMDEC,

Abstract

Our work consists of studying the operating status of the hydrogen production station at the Cap Djnat combined-cycle thermal power plant.

To this end, we have applied the FMEA method (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) to the hydrogen production machines in order to determine the high criticality components and establish appropriate corrective actions for them.

Keywords: Maintenance, FMEA analysis.

الملخص:

يتمثل عملنا في دراسة الحالة التشغيلية لمحطة إنتاج الهيدروجين في محطة توليد الطاقة ذات الدورة المركبة في كاب جنات.

ولتحقيق هذه الغاية، قمنا بتطبيق طريقة AMDEC (تحليل نمط الفشل والتأثيرات والحرية) على آلات إنتاج الهيدروجين من أجل تحديد المكونات ذات الأهمية العالية ووضع الإجراءات التصحيحية المناسبة لها.

الكلمات المفتاحية : الصيانة، تحليل AMDEC.

Remerciements

Merci à notre seigneur Allah qui nous a dotés d'une grande Capacité de raisonnement. Louange à notre créateur qui nous a Donnés, la capacité pour acquérir le savoir, qui a guidés durant Tout notre parcours. Et c'est à lui que j'adresse toute notre Gratitude.

Nous souhaitons la bienvenue aux du jury qui vont Prendre part à notre soutenance.

Nous remercions les travailleurs de la Centrale électrique de Cap d'Jnat pour Leurs conseils et leur accompagnement durant notre stage Pratique

Nous tenons aussi à remercier nos Enseignants qui ont fait De leur mieux pour nous transmettre leurs précieuses Connaissances.

Par la même occasion, nous tenons à remercier vivement notre Encadreur **Dr. Hakim SIGUERDJIDJENE** qui nous a suivie dans L'élaboration de ce travail par sa constante disponibilité, ses Critiques constructives ainsi que ses bonnes suggestions qui ont Eté d'une grande importance.

Dédicace

Je tiens à dédier ce travail.

A ma très chère *mère* et à mon très cher *père*, en témoignage et en gratitude de leurs dévouements, de leur soutien et prières durant toutes

Mes années d'études, de leurs sacrifices illimités, leur réconfort moral, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction

Et pour me permettre d'atteindre ce but.

A ceux qui sont la source de mon inspiration et mon courage, à qui je

Dois de l'amour et de la reconnaissance.

A mes chers *frères*,

A toute ma *famille*,

A tous mes *amis*,

A tous ceux qui *m'aiment*.

ZEGGAGH ISLEM

Dédicace

MERCI POUR VOS PRIÈRES.

*Ces avec fierté et du fond du cœur que je dédie ce travail
à mes très chers parents qui font tout pour m'encourager et*

Me faciliter les taches

*Je dédie également ce travail à mon cher frère Hichem pour son aide
et soutien et à mes deux amis Zaki Aloui et Samy Sida qui mon fournie le
soutien moral durant mon travaille*

*Pour toutes la famille Benhamadi et aussi pour mes
chers amis*

BENHAMADI ANIS

SOMMAIRE

Introduction.....	2
-------------------	---

Chapitre I : Présentation de la nouvelle centrale à cycle combiné

Introduction.....	4
1. Historique du cycle combiné	5
2. La centrale à cycle combiné de la production de l'électricité	6
2.1. Situation	6
2.2. Caractéristiques.....	6
3. Eléments de base de cycle combiné.....	8
3.1. Turbine à gaz.....	9
3.2. Chaudière de récupération (HRSG).....	9
3.3. Turbine à vapeur	11
3.4. Générateur.....	12
3.5. Réfrigération de générateur.....	13
3.6. L'étanchéité.....	14
4. Les fonctionnements d'Eléments de base de cycle combiné.....	15
4.1. Fonctionnement de la turbine à gaz en mode cycle combiné	15
4.2. Fonctionnement de la chaudière de récupération (générateur de vapeur) (HRSG) ..	16
4.3. Fonctionnement de la turbine à vapeur en mode cycle combiné	16
5. Le fonctionnement des autres composantes mécaniques du cycle combiné	17
5.1. Fonctionnement des vannes de by-pass HP, IP et LP	17

5.2. Fonctionnement du système air comprimé-compresseur.....	17
5.3. Fonctionnement des pompes d'alimentation en eau de la chaudière	17
5.4. Fonctionnement des pompes d'extraction de condensat.....	17
5.5. Fonctionnement du condenseur	18
5.6. Fonctionnement de Gland Stream Condenseur.....	18
5.7. Fonctionnement d'éjection d'air à jet de vapeur.....	18
5.8. Fonctionnement de la chaudière auxiliaire	18
5.9. Fonctionnement des pompes de circulation d'eau (CW).....	18
5.10. Fonctionnement des pompes d'alimentation pour installation de dessalement	18
5.11. Fonctionnement des pompes d'eau de refroidissement déminéralisée	19
5.12. Fonctionnement des échangeurs de chaleur (type à plaques)	19
5.13. Fonctionnement des réservoirs de stockage de mazout	19
5.14. La fonction du réservoir de stockage d'eau déminée.....	19
5.15. Fonctionnement des réservoirs de stockage d'eau dessalée.....	19
6. Salle de commande	20
7. Principe de production électricité au niveau de la centrale à cycle combiné	20
Conclusion	21

Chapitre II : Étude technique de la station de production d'hydrogène

1. Généralités sur hydrogène	23
2. Production de l'hydrogène	24
2.1. Production de l'hydrogène par électrolyse de l'eau	24
3. La station de production de l'hydrogène	25
3.1. Introduction.....	25

3.2. Présentation du système	26
4. Principaux composants	26
4.1. Châssis mobile de procédé.....	26
4.2. Réservoir tampon	27
4.4. Poste de remplissage des bouteilles d'hydrogène	30
4.5. Pompe à vide.....	31
5. Composition du Système de production d'hydrogène.....	32
5.1. La pile de cellules	32
5.2. Séparateurs gaz-liquide.....	32
5.3. La rinceuse	33
5.4. Filtre à coalescence avec échangeur thermique de refroidissement du gaz.....	33
5.5. Pompe à eau déminéralisée.....	33
5.6. Panneau d'analyse d'hydrogène dans l'oxygène (HTO)	34
5.7. Panneau de conductivité.....	35
5.8. Purge de N2 automatique.....	35
5.9. Systèmes de purification de l'hydrogène	36
6. Système de refroidissement	37
6.1. Refroidisseurs pour le refroidissement des gaz	37
6.2. Refroidisseurs pour le refroidissement de l'électrolyte et compresseur.....	38
7. Système de commande	39
7.1. MCC.....	39
7.2. Armoire électrique de l'EPS	40
7.3. Tableau de commande (CP).....	41

7.4. Tableau principal (MP) et tableau de commande du compresseur	41
8. Utilisation de l'installation complète.....	42
8.1. Interfaces de commande	42
9. Schéma du procédé la station de production d'hydrogène	48
Conclusion	48

Chapitre III : La maintenance de la station de production d'hydrogène

Introduction.....	50
1. Définition de la maintenance	50
1.1. Maintenir.....	50
1.2. Rétablir.....	51
1.3. Maintenir un état spécifié et un service déterminé	51
1.4. Coût optimal.....	51
2. Objectif de la maintenance	51
2.1. Les objectifs financiers	51
2.2. Objectifs opérationnels	52
3. Stratégie de maintenance	52
4. Politique de maintenance.....	52
5. Management de la maintenance	53
6. Différents types de maintenance.....	53
6.1. La maintenance corrective	53
6.2. Maintenance préventive	53
7. Les Types de maintenance : Maintenance du compresseur.....	54
7.1. Calendrier de maintenance.....	55

7.2. Maintenance de l'armoire électrique	56
8. Maintenance du hystat	58
8.1. Contrôle de l'étanchéité aux fuites	58
8.2. Calendrier de maintenance.....	59
8.3. Maintenance corrective de hystat.....	61
8.4. Maintenance de la pile	61
8.5. Contrôle du couple sur la pile de cellules	62
8.6. Contrôle de la concentration de l'électrolyte	62
8.7. Procédure de contrôle de la concentration	63
9. Maintenance de sécheur.....	64
9.1. Contrôle du fonctionnement des thermostats.....	64
9.2. Contrôle du fonctionnement des transmetteurs de température.....	65
10. Contrôle des contacteurs de niveau (avec flotteurs).....	66
11. Remplacement ou recalibrage des soupapes de sécurité	66
12. Purge du sécheur Deoxo	67
12.1. Remplacement du filtre coalescent situé après le réservoir Deoxo.....	67
12.2. Nettoyage de l'élément du filtre à grosses particules.....	67
13. Remplacement des électrovannes	67
14. Échange du catalyseur dans le sécheur Deoxo	69
15. Contrôle du fonctionnement du contacteur débit métrique d'air.....	70
16. Nettoyage/remplacement du filtre de ventilateur de la porte.....	70
17. Contrôle et remplacement des batteries UPS 24 V	71
18. Remplacement du thyristor et la diode des ventilateurs	71

19.	Contrôle du fonctionnement de l'interrupteur de porte de l'armoire électrique.....	72
20.	Contrôle du fonctionnement de l'interrupteur du ventilateur du procédé	73
21.	Changement des prises du transformateur dans l'armoire électrique	73
	Conclusion	74

CHAPITRE IV : Application de la méthode AMDEC

1.1.	Introduction.....	76
1.2.	Généralité sur la méthode Pareto	76
22.	Analyse des modes défaillance, de leurs Effets leurs Criticités (AMDEC)	77
2.1.	Définition	77
2.2.	Principe	77
2.3.	La démarche AMDEC (Fig1)	78
2.4.	Types d'AMDEC	78
2.5.	Caractéristiques essentielles de l'AMDEC	78
2.6.	Buts de l'AMDEC.....	79
2.7.	Les avantages de la méthode AMDEC	82
3.	Partie application	83
3.1.	Analyse statistique de différentes pannes de la station hydrogène	83
3.2.	Etude AMDEC.....	85
3.2.1.	Compresseur	85
3.2.2.	Refroidisseur (chiller)	85
3.2	Solutions proposées	92
	Conclusion.....	91

Liste des figures

Figure I.1.	La centrale électrique à cycle combiné de CAP-DJINET	4
Figure I.2.	Vue de la centrale Thermique de CAP-DJINET	5
Figure I.3	Station thermique de la nouvelle centrale de CAP-DJINET	6
Figure I.4.	Vue en section d'un cycle combiné	7
Figure I.5.	Cycle de fonctionnement de la nouvelle centrale (cycle combiné) de CAP- DJINET	8
Figure I.6.	Eléments de base de cycle combiné.....	8
Figure I.7.	Composants de la turbine à gaz	9
Figure I.8.	Composants de la chaudière de récupération (HRSG)	11
Figure I.9.	Vue en coupe d'une turbine à vapeur	12
Figure I.10.	Plaque de signalisation d'alternateur	12
Figure I.11.	Circuit de refroidissement d'alternateur	14
Figure I.12.	Étanchéité d'alternateur	15
Figure I.13.	Schéma de turbine à gaz en mode cycle combiné	16
Figure I.14.	Refroidissement par film	19
Figure I.15.	Salle de commande de la centrale à cycle combiné.....	20
Figure II.1.	Réaction électrochimique	25
Figure II.2.	Châssis mobile de procédé HYSTAT	27
Figure II.3.	Réservoir tampon.....	27
Figure II.4.	Compresseur à piston double effet	28
Figure II.5.	Schéma hydraulique d'un compresseur à deux temps	29

Figure II.6.	Poste de remplissage des bouteilles.....	30
Figure II.7.	Pompe à vide	31
Figure II.8.	La pile de cellule.....	32
Figure II.9.	Séparateur gaz-liquide	32
Figure II.10.	Rinceur.....	33
Figure II.11.	Pompe à eau déminéralisée.....	34
Figure II.12.	Panneau HTO	34
Figure II.13.	Panneau de conductivité	35
Figure II.14.	Sécheur Deoxo.....	37
Figure II.15.	Refroidisseur de gaz	38
Figure II.16.	Refroidisseur de l'électrolyte et du compresseur	39
Figure II.17.	Le centre de commande du moteur (MCC)	40
Figure II.18.	Armoire électrique de l'EPS.....	40
Figure II.19.	Tableau de commande (CP)	41
Figure II.20.	Tableau principal (MP) et tableau de commande du compresseur.....	42
Figure II.21.	Interface du centre de commande du moteur : voyants et commutateurs.....	42
Figure II.22.	Interface du tableau principal	43
Figure II.23.	Interface du tableau de commande du compresseur	45
Figure II.24.	Interface du tableau de commande	47
Figure II.25.	Schéma station de production d'hydrogène.....	48
Figure III.1	Démontage des couvercles du filtre.....	56
Figure III.3.	Batteries UPS 24 V à l'intérieur du tableau de commande	57
Figure III.4.	Contrôle des fuites de gaz avec une solution savonneuse	58

Figure III.5.	Raccordements électriques à la pile de cellules.....	61
Figure III.6.	Contrôle du couple sur la pile de cellules.....	62
Figure III.7.	Boucle d'échantillonnage de l'électrolyte	62
Figure III.8.	Thermostats : sécheur (à gauche) - pile de cellules (à droite)	64
Figure III.9.	Transmetteurs de température (PT100) : Deoxo (à gauche), sécheur A (au milieu) et sécheur B (à droite)	65
Figure III.10.	Contacteurs de niveau de la cuvette d'égouttage (à gauche) et du séparateur de gaz (à droite)	66
Figure III.11.	Soupape de sécurité	66
Figure III.12.	Filtre intégré après le sécheur Deoxo	67
Figure III.13.	Nettoyage de l'élément filtrant	67
Figure III.14.	Remplacement de l'électrovanne.....	68
Figure III.15.	Sécheur Deoxo.....	69
Figure III.16.	Contrôle du fonctionnement du contacteur débitmétrique d'air.....	70
Figure III.17.	Démontage des couvercles du filtre.....	70
Figure III.18.	Batteries UPS 24 V à l'intérieur du tableau de commande	71
Figure III.19.	Diode de la pile (à gauche) et thyristor de la pile (à droite) avec ventilateur.	71
Figure III.20.	Contrôle du fonctionnement de l'interrupteur de porte de l'armoire électrique.....	72
Figure III.21.	Contrôle du fonctionnement de l'interrupteur du ventilateur du procédé	73
Figure III.22.	Changement des prises du transformateur dans l'armoire électrique	73
Figure IV.1.	Analyse des coûts cumulés en fonction du temps d'arrêt.....	84

Liste des tableaux

Tableau II.1.	Spécifications techniques du compresseur	30
Tableau III.1.	Tableau de la durée de vie de pièces du compresseur.	55
Tableau III.2.	Tableau de maintenance de refroidisseur	56
Tableau III.3.	Tableau présent le calendrier de maintenance HYSTAT	59
Tableau III.4.	Tableau de maintenance de refroidisseur	60
Tableau III.5.	Présent le calendrier de maintenance corrective de HYSTAT	60
Tableau III.6.	Présent le calendrier de maintenance de sécheur.....	69
Tableau IV.1.	Indice de Fréquence F.....	80
Tableau IV.2.	Indices de Gravité	81
Tableau IV.3.	Indice de Non-détection de la défaillance	81
Tableau IV.4.	Contenu d'un tableau d'AMDEC	82
Tableau IV.5.	Tableau de Répartition des Temps d'Arrêt et des Coûts Cumulés par Organe.....	83

Introduction générale

La production d'électricité repose principalement sur les centrales nucléaires, ainsi que sur les énergies fossiles telles que le charbon, le gaz et le fioul, et de plus en plus sur les énergies renouvelables comme le solaire, l'éolien et les bioénergies. Dans le cadre de notre étude, nous nous sommes intéressés à une station de production d'hydrogène au sein de la centrale thermique de CAP Djenet.

Notre travail se concentre sur le système de refroidissement et la compression la station hydrogène. Qui revêt une importance critique pour le bon fonctionnement de la centrale. L'hydrogène est utilisé comme agent de refroidissement, ce qui améliore considérablement les performances de refroidissement par rapport à l'air. Grâce aux technologies de matériaux avancées et à leurs avantages en termes de transfert de chaleur, les composants du générateur sont conçus pour atteindre des performances optimales tout en garantissant un fonctionnement sûr et fiable

Notre travail est organisé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre présente une vue d'ensemble de la nouvelle centrale thermique à cycle combiné, ainsi que de la station de production d'hydrogène qui fait l'objet de notre étude.
- Le deuxième chapitre comprend une étude technologique du système de production et de stockage d'hydrogène.
- Le troisième chapitre est consacré à la maintenance de la station de production de l'hydrogène.
- Le quatrième chapitre représente l'étude AMDEC sur la station de production hydrogène.

Nous terminons en fin ensuite par une conclusion générale.

Chapitre I :

**Présentation de la nouvelle
centrale à cycle combiné**

Introduction

Actuellement, la demande d'électricité a notablement augmenté, particulièrement pendant les mois estivaux, entraînant des pics de consommation remarquablement élevés. Cette augmentation significative découle directement des changements dans les habitudes de consommation des personnes et de l'amélioration de leur niveau de vie, ainsi que de la croissance dynamique du secteur économique et industriel.

Sachant l'importance cruciale de l'accès à l'électricité pour les citoyens, le secteur s'est engagé à donner la priorité à la garantie à long terme de la couverture des besoins en électricité et en gaz du pays. Cet engagement implique notamment la diversification des sources d'énergie, le renforcement du parc de production électrique, ainsi que l'amélioration des infrastructures de transport et de distribution de l'électricité et du gaz.

Jusqu'à récemment, la société d'État SONELGAZ détenait le monopole de la production, du transport et de la distribution de l'électricité, ainsi que du transport et de la distribution du gaz. En tant qu'entité publique, SONELGAZ était mandatée par l'État pour assurer exclusivement la prestation du service public dans le domaine de la distribution de l'électricité et du gaz, conformément au monopole qui lui était attribué.

La centrale thermique de CAP-DJINET représente l'une des installations à cycle combiné consacrées à la production d'électricité en Algérie. Cette entité de production est constituée de plusieurs stations, équipements et auxiliaires. Dans cette section, nous examinerons de manière approfondie tous les aspects de cette centrale.



Figure I.1. La centrale électrique à cycle combiné de CAP-DJINET



Figure I.2. Vue de la centrale Thermique de CAP-DJINET

1. Historique du cycle combiné

L'introduction des cycles combinés avec récupération de chaleur, qui tirent parti de la chaleur des gaz d'échappement de la turbine à gaz, est rendue possible par les progrès dans le transfert thermique latéral, notamment par l'utilisation de tubes à ailettes. Les premières chaudières à tubes à ailettes ont été mises en service dès 1959. À partir de 1960, le type de récupérateur de chaleur utilisé dans les cycles combinés est devenu dominant. Initialement utilisé dans des applications de production d'énergie et de chaleur, ce système présentait un avantageux ratio puissance/chaleur, en particulier dans de nombreux processus chimiques et pétrochimiques.

Dans les années 1960, un nombre restreint de récupérateurs de chaleur de cycles combinés ont été installés dans les centrales de production d'électricité. L'expérience des récupérateurs de chaleur de cycles combinés a rapidement augmenté dans les applications des compagnies d'électricité lorsque les turbines à gaz d'une capacité de plus de 50 MW ont été introduites dans les années 70. Les années 80 et le début des années 90 ont vu la prolifération de nombreux systèmes utilisant le gaz naturel comme combustible, à la fois pour la production d'électricité seule et pour la cogénération de chaleur et d'électricité. Les installations de production d'électricité seule utilisent une extraction minimale de vapeur pour chauffer l'eau d'alimentation. En revanche, les systèmes de cogénération exploitent la vapeur d'échappement des turbines à vapeur dans d'autres processus. Certains cycles combinés en cogénération exportent directement la vapeur du Générateur de Vapeur de Récupération de Chaleur (HRSG). [1]

2. La centrale à cycle combiné de la production de l'électricité

2.1. Situation

La centrale à cycle combiné de CAP-DJINET est une installation dédiée à la production d'énergie électrique, située en bord de mer à l'est d'Alger, à proximité de la ville de CAP-DJINET, dans la wilaya de BOUMERDES. Son emplacement bénéficie de plusieurs avantages : un vaste espace disponible, la proximité de l'eau de mer, et des conditions favorables en termes de sous-sol, permettant d'éviter le recours à des fondations profondes. De plus, sa proximité avec des centres de consommation importants, notamment dans la zone industrielle de Rouïba-Reghaïa, renforce son attrait.

2.2. Caractéristiques

La centrale de CAP-DJINET est principalement constituée de trois (3) modules de centrale électrique cycle combiné à arbre simple, accompagnés de systèmes assurant l'équilibre de la centrale. Chaque module comprend les éléments suivants : une turbine à gaz (modèle : SIEMENS SGT5-4000F), une chaudière de récupération (HRSG) associée, une turbine à vapeur (modèle : SIEMENS SST5-3000 H-IL) et un générateur commun refroidi par hydrogène (modèle : SIEMENS SGEN5-2000 H), situé sur le même arbre entre la turbine à gaz (GT) et la turbine à vapeur (ST). Les turbines à gaz sont conçues pour fonctionner principalement avec du gaz naturel comme combustible principal, avec la possibilité d'utiliser du carburant diesel comme combustible de secours. [2].



Figure I.3. Station thermique de la nouvelle centrale de CAP-DJINET [2]

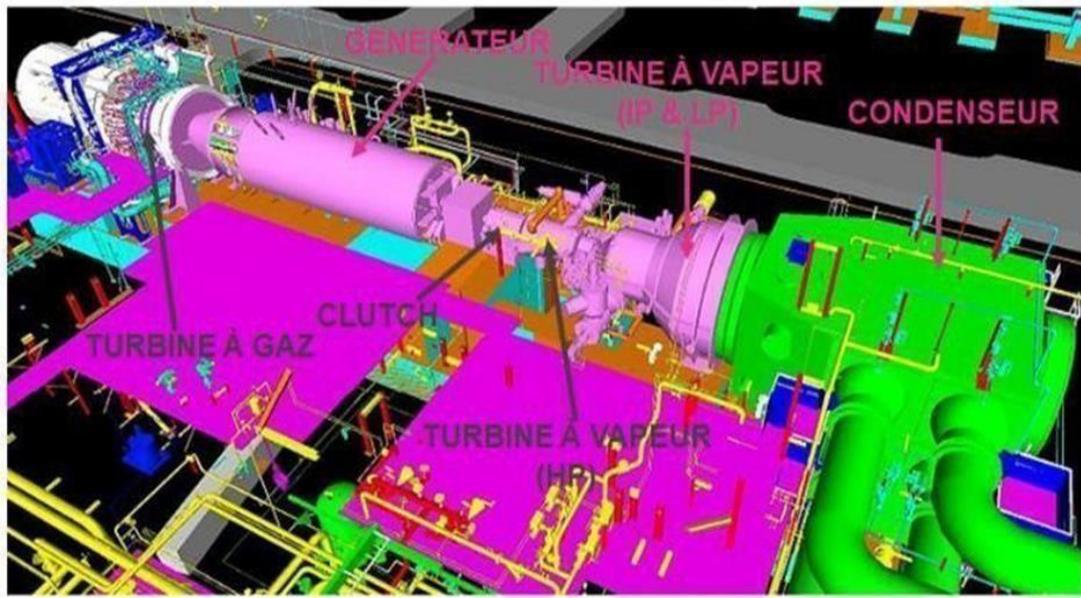


Figure I.4. Vue en section d'un cycle combiné [2]

Les principaux composants mécaniques du cycle combiné de la nouvelle centrale de CAP-DJINET sont (figure I.4) :

- Turbine à gaz
- Générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG)
- Turbine à vapeur
- Vannes de by-pass HP, IP et LP
- Système d'air comprimé–Pompes d'eau d'alimentation de la chaudière (BFP)
- Pompes d'extraction de condensat (CEP)
- Condenseur
- Gland Stream Condenser (GSC)
- Éjecteur d'air à jet de vapeur
- Chaudière auxiliaire
- Pompes de circulation d'eau
- Pompes d'alimentation usine de dessalement
- Pompes d'eau de refroidissement déminéralisée

Chapitre I : Présentation de le nouveau central a cycle a combiné

- Échangeur de chaleur CCW (Type de plaque)
- Station d'alimentation en gaz naturel–Réservoirs de stockage de mazout
- Réservoir de stockage d'eau DM
- Réservoir de stockage d'eau dessalée

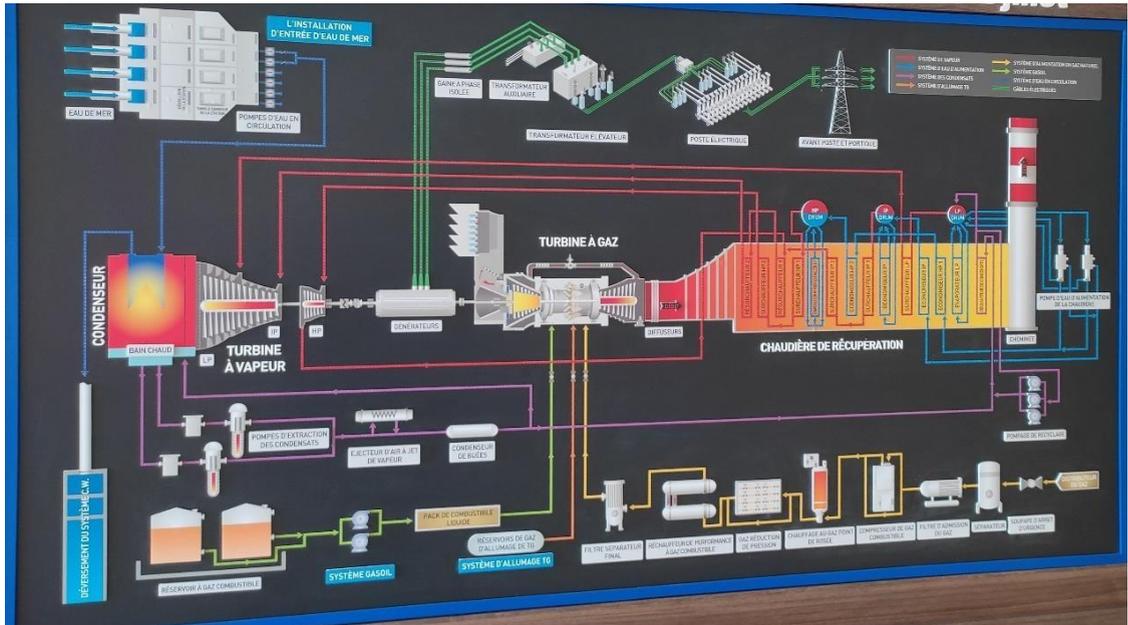


Figure I.5. Cycle de fonctionnement de la nouvelle centrale (cycle combiné) de CAP- DJINET [2]

3. Eléments de base de cycle combiné

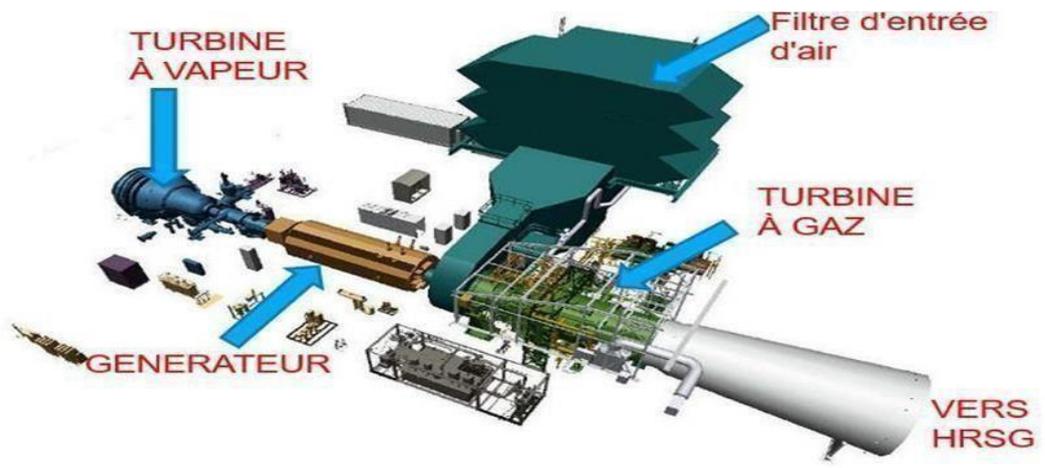


Figure I.6. Eléments de base de cycle combiné

3.1. Turbine à gaz

Une configuration standard d'une turbine à gaz comprend un système d'admission d'air, un compresseur, un système de combustion, une turbine, un système d'échappement, et un générateur, tel qu'illustré dans le schéma ci-dessous :

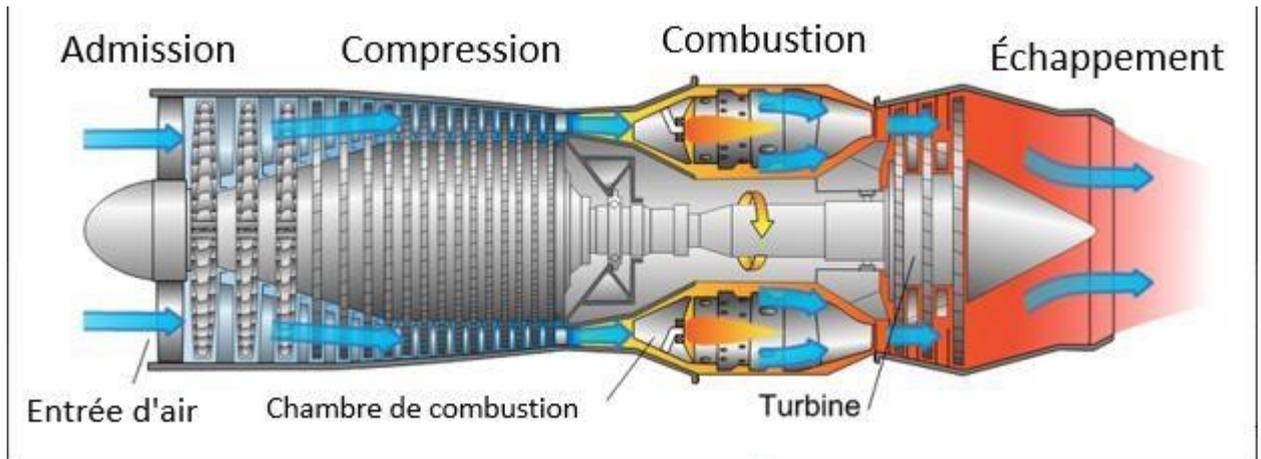


Figure I.7. Composants de la turbine à gaz [2]

3.2. Chaudière de récupération (HRSG)

- Le ballon vapeur est conçu pour séparer le mélange de vapeur et d'eau, assurant ainsi la fourniture de vapeur saturée à la surchauffeur. Il joue également un rôle crucial en absorbant les variations rapides de l'évaporateur pendant les phases de démarrage et de fonctionnement.
- Chaque niveau de pression (HP, IP et BP) est équipé de sections économiseur dans le HSRG. La principale fonction de ces sections économiseur est de préchauffer l'eau de condensation pour l'économiseur LP, ou l'eau d'alimentation pour les économiseurs IP et HP. De plus, des sections évaporateur sont présentes pour chaque niveau de pression (LP, IP et HP).
- L'eau de condensation, traversant la section économiseur, pénètre dans le ballon vapeur et est distribuée sur toute sa longueur par un collecteur. Elle se mélange alors à l'eau saturée provenant de la section évaporateur. L'eau de condensation, après avoir traversé la section économiseur, entre dans le ballon vapeur et est répartie sur toute sa longueur via un collecteur. Elle se mélange ensuite à l'eau saturée provenant de la section évaporateur. Ce mélange est ensuite extrait du fond du ballon vapeur LP et circule naturellement à travers la section de l'évaporateur.
- Cette eau saturée est ensuite extraite du fond du ballon vapeur LP et circule naturellement à travers la section de l'évaporateur.

- L'eau saturée entre dans le collecteur situé au bas de l'évaporateur et monte par évaporation à travers les tubes de l'évaporateur. La section évaporateur maintient essentiellement une température constante pendant son fonctionnement.

- Sections surchauffeur pour chaque niveau de pression (LP, IP et HP).

- La vapeur saturée est extraite du ballon vapeur et dirigée vers le collecteur d'entrée de la surchauffeur. Elle traverse ensuite la structure en grille des tubes à ailettes jusqu'au collecteur de sortie. Le flux de vapeur suit la direction du flux des gaz d'échappement. La section surchauffeur élève la température de la vapeur depuis sa température de saturation jusqu'à une température de surchauffe conforme aux exigences de la turbine à vapeur basse pression.

- Section réchauffeur (pour la section IP).

La fonction principale de la section réchauffeur est de chauffer la vapeur de réchauffage à froid (CRH) jusqu'à la température de vapeur de réchauffage à chaud (HRH).

- Dégazeur intégral ballon LP.

- Le dégazeur joue un rôle essentiel en éliminant les gaz non condensables tels que l'O₂ et le CO₂ des condensats lors du remplissage initial de la chaudière et du démarrage de l'installation. Il est intégré au ballon basse pression (LP), qui agit comme un réservoir de stockage pour le dégazeur.

- Cheminée HSRG avec silencieux

La cheminée du HRSG ainsi que son silencieux sont installés pour diriger les gaz d'échappement de la turbine à gaz depuis la sortie du HRSG vers l'atmosphère. Des ports d'échantillonnage sont prévus dans la cheminée pour les contrôles d'émissions. Comme les gaz d'échappement chauds de la turbine à gaz génèrent du bruit, un silencieux est intégré pour atténuer ce bruit à la sortie de la cheminée.

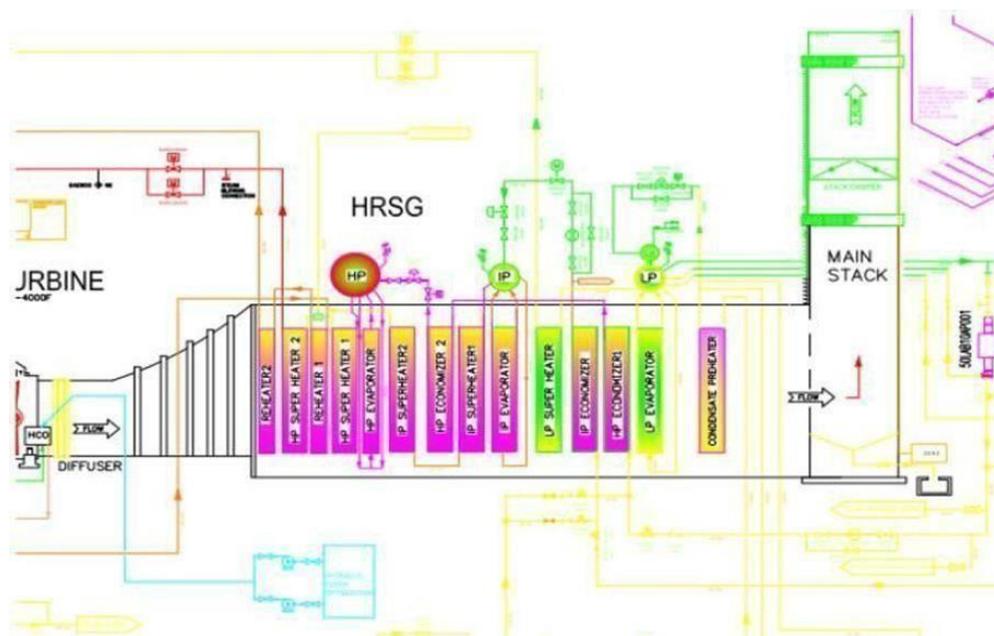


Figure I.8. Composants de la chaudière de récupération (HRSG) [2].

3.3. Turbine à vapeur

Chaque module de la centrale à cycle combiné (CCPP) est équipé d'une turbine à vapeur (modèle Siemens SST5-3000) accompagnée de tous les accessoires nécessaires. La turbine à vapeur est composée d'un cylindre HP et d'un cylindre IP/LP à écoulement direct.

La vapeur d'échappement provenant de la turbine à vapeur sera condensée dans le condenseur refroidi à l'eau. La turbine HP est de conception à simple flux et à double paroi, équipée d'un porte-lame fixe et d'un carter externe. Elle est équipée d'une vanne d'arrêt et de régulation principale de la vapeur, soudée et soutenue par des supports supplémentaires. Le carter extérieur est de type cylindrique.

Le carter extérieur IP/LP est segmenté en deux parties distinctes : la section du carter d'entrée, moulée, et la section du carter d'échappement, soudée. Chacune de ces sections est divisée horizontalement. Les demi-carter sont assemblés en utilisant des boulons d'assemblage.

Les sections d'entrée et d'échappement sont également boulonnées ensemble.

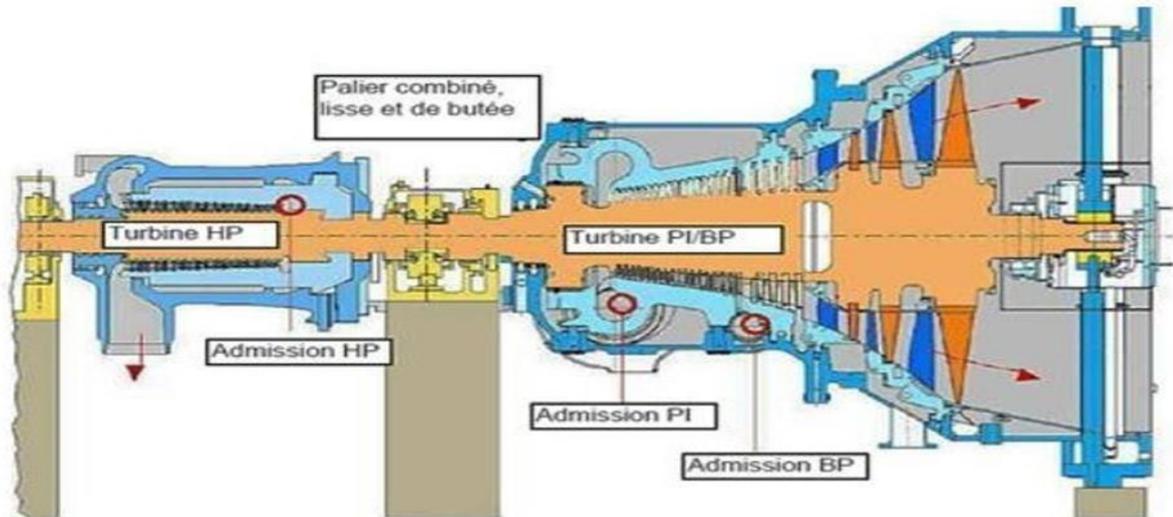


Figure I.9. Vue en coupe d'une turbine à vapeur [2]

3.4. Générateur

Le générateur est l'équipement électrique le plus crucial de toute la centrale électrique. Il est conçu pour évacuer le courant provenant de la sortie de la turbine à gaz (turbine à gaz + turbine à vapeur) à laquelle il est connecté, tout en maintenant la température en dessous de la limite admissible définie par les normes pertinentes sur l'ensemble de la plage de température ambiante du site.

Ce générateur à arbre unique a été utilisé pour ce projet. Celui-ci est directement couplé à la turbine à gaz à une extrémité et couplé à la turbine à vapeur à l'autre extrémité.

SIEMENS DPPPG-60011471 ⊕

Alternateur à c.a. Refroidissement à l'hydrogène

Code	N° de série	Année de construction	Phases	Enroulement	Norme
SGENS-2000H	12930	2014	3~	YY	IEC
Puissance assignée	Facteur de puissance	Tension statorique	Courant statorique	Tension d'excitation	Courant d'excitation
431 MVA	0,9	22kV ± 5%	11311 A	351 V	2786 A
Temp. d'admission d'eau	Temp. du gaz froid	Limite d'échauffement stator	Limite d'échauffement rotor	Classe d'isolant du stator	Classe d'isolant du rotor
34 °C	44 °C	conforme à IEC 60034-1	conforme à IEC 60034-1	F	F
Pression H2	Altitude	Temp. ambiante maxi.	Temp. ambiante mini.	Temp. maxi. de l'eau	Temp. eau stator
5 bar (g)	5 m	49 °C	5 °C	34 °C	non applicable
Service	Fréquence	Rotation	Sens de rotation coté excitatrice	Ordre des phases	Protection
S1	50 Hz	3000 min ⁻¹	antihoraire	U V W (EE End)	IP65
Manuel	Masse				
MK	394 000 kg				

Figure I.10. Plaque de signalisation d'alternateur

3.5. Réfrigération de générateur

Le rôle de l'installation est d'assurer le refroidissement du rotor ; du circuit magnétique du stator et des organes frontaux de serrages de l'alternateur. L'hydrogène a été choisi pour ses propriétés physiques supérieures à l'air.

- Sa densité est quatorze fois inférieure à l'air.
- Sa conductivité thermique est sept fois plus grande.
- Son coefficient de convection est une fois et demi plus grand.
- L'hydrogène empêche la formation d'ozone, d'où un vieillissement des isolants retardé,

l'hydrogène pur ne brûle pas Le risque de créer un mélange détonant est éliminé en maintenant un taux de pureté > a 98%

- Les éventuelles fuites s'échappent à l'air libre
- Le silence de fonctionnement est notablement amélioré

La circulation du gaz est assurée par deux ventilateurs montés sur l'arbre principal a chaque extrémité de celui-ci (voir croquis).

Le circuit magnétique est subdivisé en 85 des paquets de tôles sont disposés de manière à être séparés par des événements d'une largeur de 8 à 10 mm, à travers lesquels circule le gaz. La réfrigération de l'hydrogène est assurée par quatre réfrigérants internes à la machine, qui sont alimentés en eau.

La température normale du gaz chaud est maintenue à 60°C, avec une limite de 70°C, ce qui correspond également à la température stator de 70°C. La différence entre la température de l'hydrogène chaud et celle de l'hydrogène froid est d'environ 20°C. Le refroidissement du rotor est de type direct.

L'humidité contenue dans l'hydrogène utilisé pour refroidir l'alternateur est éliminée dans un sécheur.

La pression nominale d'hydrogène est de 3,5 bars relatifs. Le débit est de 45m³/s La circulation du gaz s'effectue en circuit fermé à l'intérieure de la carcasse [3].



Figure I.11. Circuit de refroidissement d'alternateur

3.6. L'étanchéité

La carcasse et les paliers sont conçus pour être hermétiques au gaz. L'étanchéité au niveau de l'arbre est assurée par un système d'anneau comportant une gorge dans laquelle sont logées deux bagues, chacune composée de quatre segments. L'huile, arrivant sous pression, traverse les espaces entre les bagues et l'arbre, et s'échappe en deux flux de part et d'autre du joint, séparant ainsi la partie contenant de l'hydrogène et la partie contenant de l'air.

Le débit d'huile du côté de l'hydrogène est récupéré et dégazé par pulvérisation sous vide. La circulation du fluide est assurée par deux motopompes alimentées en alternatif, l'une d'elles assurant le débit principal. Une troisième pompe, alimentée par batterie, est prévue en tant que secours supplémentaire. [3] (voir croquis du joint).

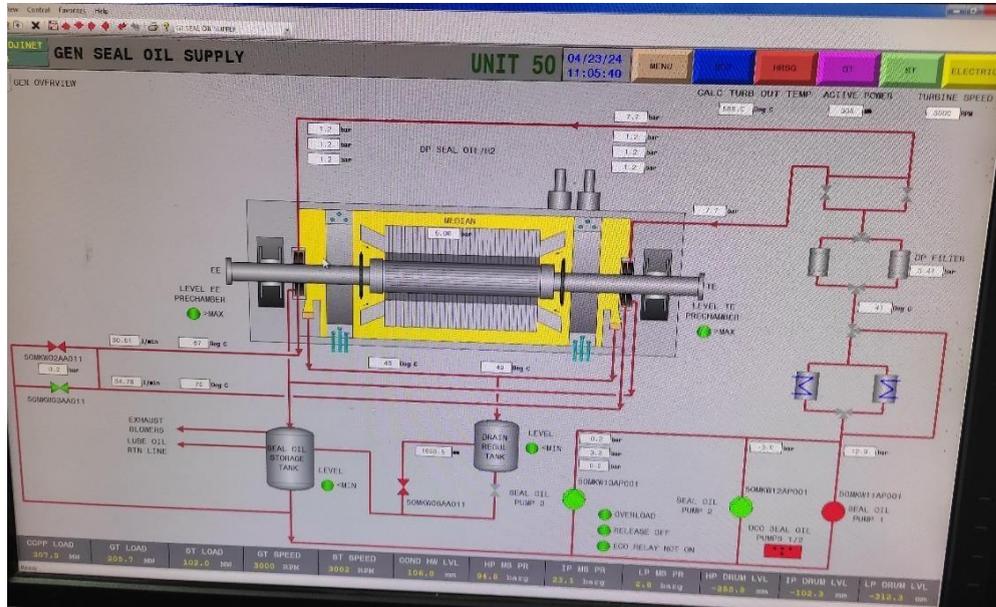


Figure I.12. Étanchéité d'alternateur

4. Les fonctionnements d'Eléments de base de cycle combiné

4.1. Fonctionnement de la turbine à gaz en mode cycle combiné

Lorsque la turbine à gaz est mise en marche, l'air ambiant est aspiré à travers le système d'admission d'air où il est filtré, puis dirigé vers l'entrée du compresseur. L'air est ensuite comprimé par le compresseur et dirigé vers le système de combustion. À l'intérieur du système de combustion, l'air est mélangé au carburant (gaz naturel, mazout ou les deux, ou un autre carburant), puis le mélange est allumé. Les gaz de combustion, chauffés et comprimés, circulent ensuite vers la turbine. Là, les gaz de combustion se dilatent progressivement en traversant la turbine, entraînant ainsi sa rotation. La turbine en rotation entraîne à son tour le compresseur et les équipements auxiliaires, tout en fournissant un excès d'énergie disponible pour produire une puissance d'arbre qui actionne le générateur électrique. Les gaz sortant de la turbine sont évacués dans l'atmosphère et dirigés vers l'équipement de récupération de chaleur à travers un système d'échappement. [2].

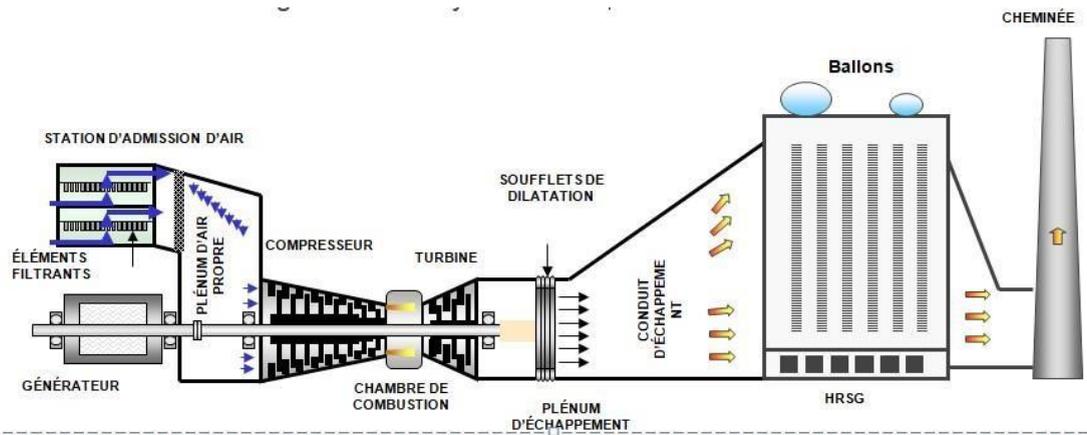


Figure I.13. Schéma de turbine à gaz en mode cycle combiné [2]

4.2. Fonctionnement de la chaudière de récupération (générateur de vapeur) (HRSG)

La chambre de combustion annulaire est positionnée entre le compresseur et la turbine. Il s'agit d'un Générateur de Vapeur de Récupération de Chaleur (HRSG) à débit horizontal, sans postcombustion, qui générera de la vapeur chauffée à trois niveaux de pression.

Le condensat est acheminé vers l'économiseur à basse pression (BP) par les pompes d'extraction du condensat. Le désaérateur est intégré au ballon de la section à basse pression (BP).

La fonction principale du Générateur de Vapeur de Récupération de Chaleur (HRSG) est de produire la quantité et la qualité de vapeur requises en utilisant la chaleur rejetée par les gaz d'échappement du turbogénérateur à gaz (GTG). Cette vapeur est ensuite acheminée vers la turbine à vapeur pour générer de l'électricité.

Chaque module de la centrale à cycle combiné (CCPP) est équipé d'un Générateur de Vapeur de Récupération de Chaleur (HRSG), ainsi que de tous les accessoires nécessaires. [2].

4.3. Fonctionnement de la turbine à vapeur en mode cycle combiné

La turbine à vapeur est un composant essentiel des installations de production d'énergie électrique. Les cycles des turbines à vapeur utilisent un fluide compressible qui subit un changement d'état tout au long du cycle. Ce changement d'état de la vapeur génère des variations significatives d'enthalpie, permettant ainsi de convertir de grandes quantités de chaleur en travail. Dans une turbine, la vapeur est continuellement étendue à travers un ensemble de roues à aubes. Cette caractéristique permet un fonctionnement avec des débits importants et une expansion continue, sans les limitations associées aux machines alternatives. [2].

5. Le fonctionnement des autres composantes mécaniques du cycle combiné

5.1. Fonctionnement des vannes de by-pass HP, IP et LP

La fonction de la vanne de dérivation (by-pass) est de rediriger la vapeur vers la conduite de réchauffage à froid (CRH) ou à chaud (HRH) et de maintenir le Générateur de Vapeur de Récupération de Chaleur (HRSG) en fonctionnement pendant le démarrage ou l'arrêt de la turbine à vapeur, ou dans d'autres conditions particulières.

Le système de by-pass comprend une vanne d'arrêt de vapeur, une vanne de régulation de température et une vanne de conditionnement de vapeur pour chaque niveau [2].

5.2. Fonctionnement du système air comprimé-compresseur

Les compresseurs d'air sont du type à vis sans fin, sans huile, entraînés par moteur, équipés de filtres d'aspiration, de refroidisseurs d'air et des instruments nécessaires. Ils sont construits de manière robuste et conçus pour un fonctionnement continu et intermittent à pleine ou faible capacité.

5.3. Fonctionnement des pompes d'alimentation en eau de la chaudière

La fonction des pompes d'alimentation en eau de la chaudière est de fournir de l'eau provenant du ballon LP à la section économiseur haute pression (HP) du Générateur de Vapeur de Récupération de Chaleur (HRSG) et, via un étage intermédiaire, à la section économiseur pression intermédiaire (IP) du HRSG. Ces pompes fournissent également de l'eau de pulvérisation pour la désurchauffe du système de by-pass HP et de l'eau de pulvérisation pour la désurchauffe de la surchauffeur HP. [2].

5.4. Fonctionnement des pompes d'extraction de condensat

La fonction des pompes d'extraction de condensat est d'effectuer ce qui suit :

- L'objectif est de maintenir le niveau du puits du condenseur à son niveau normal en extrayant les condensats du puits du condenseur et en fournissant de l'eau de condensation au dés aérateur en passant par l'économiseur LP.
- Fournir de l'eau pulvérisée désurchauffeur pour le système de by-pass IP et LP, la station auxiliaire de réduction de pression de vapeur et de désurchauffe (PRDS) et d'autres auxiliaires.
- De la turbine à vapeur, et fournir aussi de l'eau d'étanchéité aux vannes pour empêcher l'entrée d'air dans le système [2].

5.5. Fonctionnement du condenseur

Le condenseur reçoit la vapeur d'échappement de la turbine dans le sens horizontal. Il est équipé d'une soupape de dépression, de transmetteurs de pression, de transmetteurs de température et de transmetteurs de niveau pour la protection du condenseur et de la turbine.

5.6. Fonctionnement de Gland Stream Condenseur

Le Gland Steam Condenseur a pour fonction de condenser la vapeur évacuée par les joints d'étanchéité de l'arbre et de récupérer le condensat. Ce condensateur est refroidi par les condensats provenant des pompes d'extraction de condensat.

5.7. Fonctionnement d'éjection d'air à jet de vapeur

- Éjecteur d'air à jet de vapeur (HOGGING)

La fonction de l'éjecteur est d'évacuer l'air et les autres gaz non condensables dans le condenseur lors de la mise en marche.

- Éjecteur d'air à jet de vapeur (HOGGING)

La fonction de l'éjecteur d'air à jet de vapeur est d'évacuer l'air et les autres gaz non condensables dans le condenseur pendant le fonctionnement normal. La source de vapeur motrice pour l'éjecteur d'air à jet de vapeur doit provenir du collecteur auxiliaire.

5.8. Fonctionnement de la chaudière auxiliaire

La fonction de la chaudière auxiliaire est de fournir les besoins en vapeur auxiliaire lors du démarrage et du fonctionnement à faible charge de l'installation. La chaudière auxiliaire doit également fournir de la vapeur pour l'étanchéité à la turbine du presse-étoupe ainsi que pour l'usine de dessalement.

5.9. Fonctionnement des pompes de circulation d'eau (CW)

La principale fonction des pompes de circulation d'eau est d'alimenter en eau froide le condenseur à eau de mer afin d'absorber la chaleur du cycle. Chaque ligne de refoulement des pompes de circulation d'eau est équipée d'une vanne papillon motorisée. Deux pompes de circulation d'eau (50% de la capacité chacune) sont prévues pour chaque module de la centrale à cycle combiné (CCPP).

5.10. Fonctionnement des pompes d'alimentation pour installation de dessalement

La fonction principale des pompes d'alimentation est de fournir de l'eau pour l'usine de dessalement.

5.11. Fonctionnement des pompes d'eau de refroidissement déminéralisée

La fonction principale des pompes à eau de refroidissement déminéralisée (DMCW) est de faire circuler l'eau de refroidissement pour les équipements et les composants de la turbine à gaz, de la turbine à vapeur, du cycle eau/vapeur et du générateur.

5.12. Fonctionnement des échangeurs de chaleur (type à plaques)

La fonction de l'échangeur de chaleur à plaques pour l'eau de refroidissement en circuit fermé est de transférer la chaleur absorbée par le circuit d'eau de refroidissement fermé au système de refroidissement auxiliaire à l'eau de mer. [2].

5.13. Fonctionnement des réservoirs de stockage de mazout

La fonction du réservoir de stockage de mazout est de stocker du mazout pour la turbine à gaz (GT). Le mazout est utilisé comme carburant alternatif pour les turbines à gaz.

5.14. La fonction du réservoir de stockage d'eau déminée

Le fonctionnement des réservoirs de stockage d'eau déminéralisée consiste à stocker l'eau déminéralisée pour plusieurs utilisations : eau d'appoint du cycle de puissance, eau d'appoint de la chaudière auxiliaire, eau d'appoint pour la génération d'hydrogène et le lavage du compresseur de la turbine à gaz.

5.15. Fonctionnement des réservoirs de stockage d'eau dessalée

La principale fonction du réservoir de stockage d'eau dessalée est de stocker l'eau dessalée pour l'approvisionnement en eau de l'usine d'eau DM, du système d'eau de service et du système d'eau d'incendie. Dans la nouvelle centrale de CAP-DJINET, cette eau est utilisée selon le système de refroidissement par film. [4]

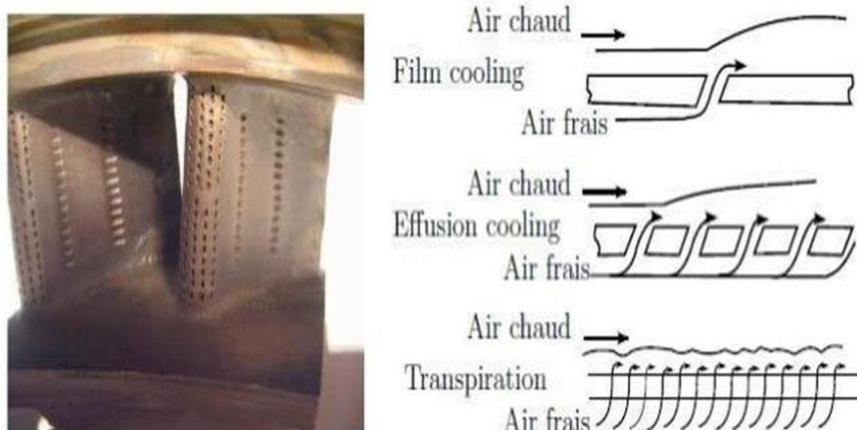


Figure I.14. Refroidissement par film cooling [4]

6. Salle de commande

Chaque paire de tranches est contrôlée et réglée depuis la salle de commande.

La salle de commande comprend pour chaque tranche :

- Deux (02) pupitres de conduites.
- Deux (02) tableaux verticaux où sont rassemblés les organes de commande et les appareils d'enregistrement de la plus grande partie des paramètres.

Un (01) tableau synoptique schématisant les auxiliaires électriques



Figure I.15. Salle de commande de la centrale à cycle combiné

7. Principe de production électricité au niveau de la centrale à cycle combiné

Une centrale à cycle combiné à gaz naturel est composée d'une turbine à combustion (TAC) et d'une turbine à vapeur (TAV). Dans un premier temps, le gaz naturel fait fonctionner la TAC. Ensuite, les gaz chauds d'échappement de la TAC sont utilisés pour produire de la vapeur, qui est dirigée vers une deuxième turbine, la TAV. La TAC et la TAV entraînent alors un ou deux alternateurs. Cette configuration permet une double production d'électricité : celle de la TAC et celle de la TAV, utilisant ainsi la même quantité de combustible et améliorant le rendement de la centrale.

Conclusion

Tout à fait, une présentation complète de la centrale à cycle combiné de CAP-DJINET, accompagnée d'une explication détaillée de son fonctionnement et de ses divers équipements, offre une compréhension approfondie des mécanismes impliqués dans la production d'électricité. Maintenir une production électrique continue est d'une importance cruciale pour répondre aux besoins énergétiques des clients, assurer la sécurité des individus, préserver l'environnement et prolonger la durée de vie des équipements de la centrale. En examinant chaque composant de la centrale, des turbines à combustion et à vapeur jusqu'aux échangeurs de chaleur et aux générateurs, on peut comprendre comment ces éléments interagissent pour générer de l'électricité de manière efficace et fiable. Cette compréhension approfondie permet aux exploitants de la centrale de prendre des décisions éclairées pour optimiser les performances, minimiser les temps d'arrêt et garantir une alimentation électrique stable et durable.

Chapitre II

Étude technique de la station de production d'hydrogène

1. Généralités sur hydrogène

En fait, c'est au 16^e siècle que Paracelse, alchimiste, produit de l'hydrogène pour la première fois en versant du Vitriol sur du fer en poudre et découvre ainsi, un gaz qui brûle au contact de l'air. Découvert et reconnu comme une substance distincte en 1766 par Henry Cavendish, l'hydrogène doit son nom au français Lavoisier, qui vient du grec "hydro" (hudôr), "eau" et "gène" (gennen), « engendrer ». Bien que l'hydrogène soit l'élément le plus abondant dans l'univers, il n'existe pas à l'état naturel sur la terre mais se retrouve plutôt lié à d'autres atomes (C, O, N), par exemple sous forme d'eau ou d'hydrocarbures. Pour le produire, il est donc nécessaire d'avoir une source d'hydrogène à proprement parler (gaz naturel, eau, etc.) et une source d'énergie. Ces sources peuvent se confondre, comme dans le cas d'une production à partir de gaz naturel, ou être complètement distinctes, comme c'est le cas dans la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau (la source d'énergie est l'électricité et la source d'hydrogène est l'eau. [5]

C'est un gaz incolore, sans odeur, sans saveur et non toxique ; il est très répandu sur la terre sous forme de combinaisons chimiques, les principales étant : l'eau dont il représente 11% de poids et les hydrocarbures. On le trouve à l'état naturel gazeux dans certains gaz de pétrole et dans les gaz dégagés par les volcans. Il est le plus léger de tous les gaz connus : quinze fois plus léger que l'air et seize fois plus léger que l'oxygène. C'est un gaz très inflammable, et très difficile à liquéfier, sa température de liquéfaction est de (-252.8 °C) ; C'est un assez bon conducteur de la chaleur et de l'électricité.

La molécule d'hydrogène est très stable thermiquement ce qui explique sa faible réactivité à basse température. Il est donc nécessaire d'amorcer les réactions à chaud où utiliser un catalyseur qui favorise sa dissociation.

L'électrolyse de l'eau est un procédé électrolytique qui décompose l'eau en oxygène et La cellule électrolytique est constituée de deux électrodes habituellement en métal inerte (dans la zone de potentiel et de pH considérée) comme le platine immergé dans un électrolyte et connectées aux pôles opposés de la source de courant continu, l'hydrogène est un métal : lorsqu'il est sous forme solide (très Hautes pressions et très basses température), il cristallise avec une liaison métallique. Dans le tableau périodique des éléments, il est d'ailleurs dans la colonne des métaux alcalins. N'étant pas présent à l'état solide sur terre, il n'est toutefois pas considéré comme un métal en chimie. De façon simpliste sa nature métallique est due à son électron périphérique sur son unique et dernière couche saturée à deux électrons. [6].

2. Production de l'hydrogène

Dans toute production d'hydrogène, trois aspects doivent être pris en considération, à savoir :

➤ La matière première : l'extraction de l'hydrogène se fait, en général, à partir de l'eau, des hydrocarbures (tel que le méthane, le méthanol, etc.) ou les deux à la fois.

➤ L'énergie nécessaire pour la production : cette énergie peut aussi bien être conventionnelle, nucléaire ou renouvelable (solaire, éolienne, géothermale, etc.).

➤ Le procédé de production : plusieurs procédés existent faisant appel à l'énergie quantique telle que la photolyse, à l'énergie électrique pour l'électrolyse ou à l'énergie thermique telle procédé thermochimique. Pour la plupart des procédés, il existe plusieurs types et le nombre est relativement important. [7]

2.1. Production de l'hydrogène par électrolyse de l'eau

L'électrolyse de l'eau est un procédé électrolytique qui décompose l'eau en oxygène et hydrogène gazeux avec l'aide d'un courant électrique.

La cellule électrolytique est constituée de deux électrodes habituellement en métal inerte (dans la zone de potentiel et de pH considérée) comme le platine-immersées dans un électrolyte et connectées aux pôles opposés de la source de courant continu.

Désormais, l'électrolyse est associée à une future utilisation des énergies renouvelables. Cela pourrait être intéressant au vu de la non-simultanéité de la production par ces procédés avec les besoins des industriels et des individus. Une autre possibilité réside dans l'utilisation de l'électricité produite par des centrales nucléaires, et plus particulièrement lors des heures creuses. L'hydrogène permettrait ainsi le stockage de l'électricité sous forme chimique, et une réutilisation ultérieure lorsque les besoins se font sentir. En outre, le rendement de l'électrolyse est en pratique de l'ordre de 65%, bien que,

Théoriquement, il est possible d'atteindre 80 ou 85%. Enfin, étant donné le prix élevé de l'électricité, le coût de l'électrolyse est bien supérieur à celui du reformage. Ainsi, afin d'augmenter la rentabilité du processus, il faudrait une électricité plus faible coût. [7]

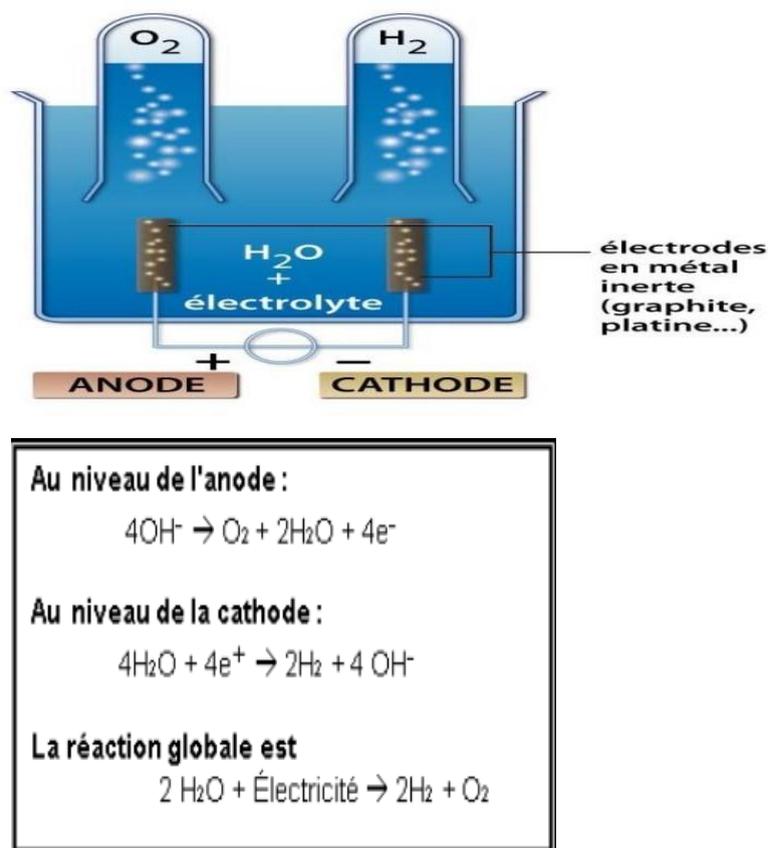


Figure II.1. Réaction électrochimique

3. La station de production de l'hydrogène

3.1. Introduction

La station de production d'hydrogène de la centrale de CAP DJINET est fournie par Hydrogéniques. Il s'agit d'un système tout-en-un à base d'hydrogène, comprenant deux lignes à 100 %, chacune composée de :

1. Électrolyseur d'eau HySTAT 15 :
 - Capacité maximale : 15 Nm³/h.
2. Hydrogène :
 - Pureté : jusqu'à 99,998 %.
 - Pression : 10-20 bars.
 - Petit réservoir tampon intermédiaire.
3. Compresseur (installé sur châssis mobile) :
 - Augmente la pression jusqu'à 160 bars.
4. Station de remplissage d'hydrogène :
 - L'hydrogène provenant du compresseur est acheminé vers cette station.
 - Jusqu'à trois racks de 16 bouteilles de 50 litres d'H₂ peuvent être remplies simultanément.

Chapitre II : Étude technique de la station de production d'hydrogène

L'ensemble HySTAT/compresseur est configuré par défaut pour être démarré manuellement par l'opérateur chaque fois que le remplissage des bouteilles d'hydrogène est jugé nécessaire.

3.2. Présentation du système

L'unité comprend plusieurs sous-systèmes :

Partie des procédés : cette partie produit, pressurise et fournit l'hydrogène. Cette partie comprend le châssis mobile de procédé, le réservoir tampon, le compresseur, le poste de remplissage des bouteilles d'hydrogène et de la pompe à vide.

Partie d'alimentation en eau déminéralisée : cette partie fournit l'eau déminéralisée nécessaire à la partie des procédés. Elle comprend le panneau de mesure de la conductivité.

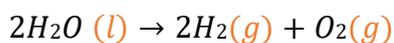
Partie d'alimentation en eau de refroidissement : cette partie refroidit les équipements de la partie des procédés. Elle comprend les refroidisseurs.

Partie d'alimentation électrique et du système de commande : cette partie alimente et commande l'ensemble s'équipements de l'installation complète. Elle comprend le centre de commande du moteur (Motor Control Center - MCC), le tableau principal (Master Panel - MP), le tableau de commande (Control Panel - CP), le tableau de commande du compresseur, l'armoire électrique et les détecteurs d'hydrogène

4. Principaux composants

4.1. Châssis mobile de procédé

Le HySTAT utilise le principe de l'électrolyse pour générer de l'hydrogène. Dans une cellule d'électrolyseur, l'électricité provoque la dissociation de l'eau en molécules d'hydrogène et d'oxygène. Un courant électrique est passé entre deux électrodes séparées par un électrolyte conducteur, ou « milieu de transport d'ions », produisant de l'hydrogène au niveau de l'électrode négative (cathode) et de l'oxygène au niveau de l'électrode positive (anode). Comme la formule de l'eau est H₂O, le volume d'hydrogène produit est le double de celui d'oxygène. La réaction chimique est la suivante :



Les bulles d'hydrogène et d'oxygène formées dans les cellules individuelles de la pile de cellules sont avec l'électrolyte vers le haut des cellules et collectées dans deux canaux distincts dans la pile de cellules. Les gaz s'écoulent à travers les sorties de la pile de cellules vers les séparateurs gaz-liquide, où le gaz est séparé de l'électrolyte liquide.

Du séparateur gaz-liquide, l'hydrogène passe dans le rinceur, où le gaz est rincé avec de l'eau pure déminéralisée, afin de réduire le volume d'électrolyte résiduelle dans le flux de gaz.

Ensuite, l'hydrogène passe à travers le filtre coalescent, où il est refroidi et où les gouttes d'eau présentes sont supprimées. De ce filtre, le gaz passe dans l'atmosphère, dans le système de sécheur Deoxo ou dans la conduite utilisateur.

L'ensemble du système est régulé au moyen de valves actionnées. La fermeture de certaines vannes dans les conduites de H₂ ou de O₂ permet au système d'établir la pression. La pression nominale à laquelle l'hydrogène est produit se situe entre 4 et 27 bars. La pression finale dans la conduite utilisateur dépend de la configuration du HySTAT. [8]

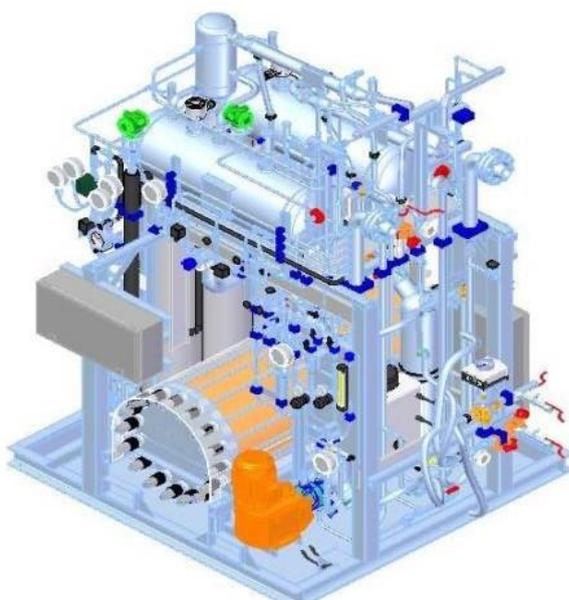


Figure II.2. Châssis mobile de procédé HYSTAT [8]

4.2. Réservoir tampon

Un petit réservoir tampon est prévu entre le châssis mobile de procédé et le compresseur. Ce réservoir tampon sert de tampon pour l'hydrogène à basse pression et assure un fonctionnement harmonieux du compresseur et du châssis mobile de procédé. [8]



Figure II.3. Réservoir tampon

4.3 Compresseur :

Le compresseur à actionnement hydraulique est conçu pour l'hydrogène gazeux. Chaque compresseur comprend une transmission hydrostatique et un cylindre de compression. La transmission hydrostatique est équipée d'une pompe hydraulique entraînée par un moteur électrique et d'un groupe d'inversion. Le cylindre de compression est divisé en trois parties. La section du milieu est le cylindre à huile, les deux sections extérieures sont les cylindres à gaz. Tous les cylindres sont divisés en deux chambres par les pistons.

L'huile hydraulique est délivrée sous pression dans une des chambres du cylindre à huile. Les pistons sont tous raccordés ensemble par une bielle. Les pistons compriment le gaz quand ils vont et viennent en étant poussés par la pression d'huile. Le nombre d'étapes varie d'une à cinq selon les conditions de fonctionnement et le modèle.

Les pistons à gaz ont des joints autolubrifiants. Par conséquent, le compresseur n'est pas lubrifié et il n'y a aucune injection d'huile dans les cylindres à gaz. Les cylindres à gaz et à huile sont séparés par une chambre à la pression atmosphérique, dotée de joints appropriés pour garantir qu'il n'y ait aucun transfert d'huile.

Le groupe d'inversion inverse les mouvements des pistons quand ils ont atteint la fin de leur course. Un capteur de position lit en permanence la position de la bielle et transmet les données à une carte électronique. Le meilleur temps d'inversion est calculé pour correspondre aux variations des conditions de fonctionnement. Une électrovanne sur le cylindre à huile reçoit le signal et commande les vannes à huile.

Le compresseur fonctionne automatiquement pendant le remplissage, mais doit être démarré manuellement sur l'IHM chaque fois qu'il a été arrêté. [9]



Figure II.4. Compresseur à piston double effet

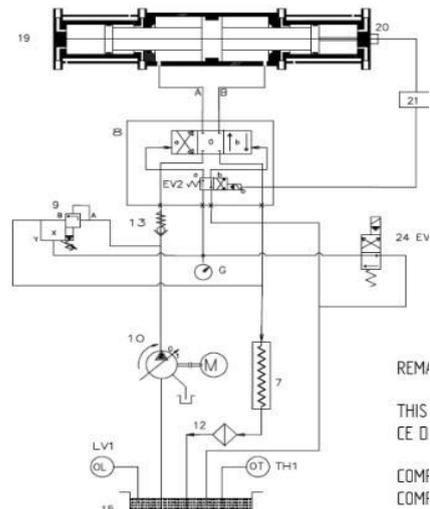


Figure II.5. Schéma hydraulique d'un compresseur à deux temps [8]

Le compresseur et tous les sous-systèmes sont intégrés dans un compresseur et sont équipés de tous les équipements de sécurité nécessaires (CE).

Les signaux de sécurité suivants sont mis en place :

- Pression d'entrée minimum avec.
- Thermostat d'huile
- Niveau d'huile
- Surcharge du moteur
- Bouton d'arrêt d'urgence sur le compresseur

Tableau II.1. Spécifications techniques du compresseur

Spécification techniques	
Type	Compresseur à piston à 2 étages
Pression d'entrée	10-20 barg
Pression de sortie	160 barg
Puissance installée dans le moteur	3kW
Capacité	11.25 Nm ³ selon l'électrolyseur sélectionné
Normes de conception	Réservoirs sous pression : PED 97/23IEC Canalisation : ASME B31.3
Teneur en huile	± 200 L
Pureté de gaz après compresseur	Teneur en huile : < 1 ppm (y compris le filtre d'huile)
Matériau et Peinture	Canalisation et Raccord : acier inoxydable SS316L Surface internet des bouteilles de gaz : Chromée Joints à gaz : PTFE Spécial (téflon)
Refroidissement	Refroidi à l'eau
Poids	Ca. 1200 kg
Pression d'air	0.101000 Mpa
Température d'exploitation	+ 5°C ± 50°C
Humidité relative moyenne	76%
Altitude	5m(NGA)
Zone d'installation	Intérieure, zone Atex 2, Exempte de poussière

4.4. Poste de remplissage des bouteilles d'hydrogène

Le poste de remplissage des bouteilles d'hydrogène sert à remplir les bouteilles d'hydrogène.



Figure II.6. Poste de remplissage des bouteilles

4.5. Pompe à vide

Le but de la pompe à vide est de s'assurer que la bouteille puisse être remplie d'hydrogène ayant la pureté requise. Cette tâche est réalisée en minimisant le contenu résiduel d'azote ou d'autres gaz dans la bouteille.



Figure II.7. Pompe à vide

5. Composition du Système de production d'hydrogène

5.1. La pile de cellules

La pile de cellules par électrolyse sous pression est le composant principal du générateur d'hydrogène HySTAT.

La pile de cellules comprend une série de cellules circulaires. Chaque cellule est composée de deux anneaux structurels différents, c'est-à-dire l'anneau à hydrogène et l'anneau à oxygène. Ces anneaux structurels forment les deux chambres de chaque cellule, où se déroule le processus d'électrolyse.

La pile de cellules est divisée en deux moitiés égales par une bride métallique. Une tension positive et négative est appliquée respectivement à chaque extrémité et La bride centrale est mise à la terre.[8]

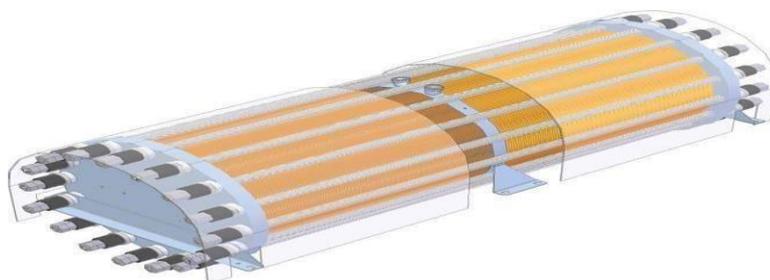


Figure II.8. La pile de cellule

5.2. Séparateurs gaz-liquide

Les gaz générés dans la pile de cellules sont dirigés vers les séparateurs de gaz, qui sont des réservoirs sous pression en acier inoxydable conçus pour séparer les gaz H₂ et O₂ de la solution d'électrolyte. Pour des raisons de sécurité, les réservoirs sont remplis d'électrolyte à 65 % pour éviter tout mélange de H₂ et d'O₂. Les gaz bouillonnent ensuite au sommet des réservoirs.

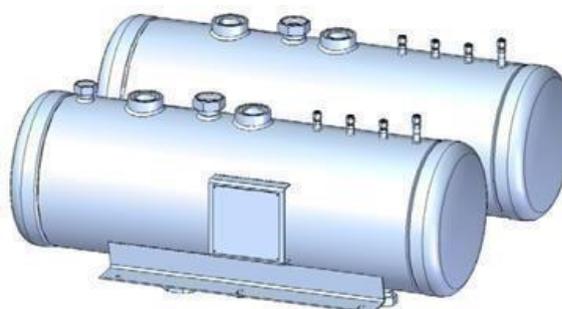


Figure II.9. Séparateur gaz-liquide

5.3. La rinceuse

Sert à laver le KOH restant. Afin de réduire la teneur en eau dans les gaz H₂ et O₂, le gaz passe à travers un filtre coalescent, où le gaz est refroidi pour réduire le point de rosée par condensation. La condensation, sous forme d'eau, contenue dans les gaz H₂ et O₂. La condensation, sous forme d'eau, reviendra au séparateur de gaz. À la sortie du système, le gaz aura une pureté d'au moins 99,5%.



Figure II.10. Rinceur

5.4. Filtre à coalescence avec échangeur thermique de refroidissement du gaz

Le filtre coalescent comprend deux parties : un échangeur de chaleur à faisceau tubulaire et un dévésiculeur (élément filtrant en treillis métallique). Les deux parties sont installées avec une inclinaison. Le gaz passe d'abord à travers l'échangeur de chaleur à faisceau tubulaire, où il est refroidi avec de l'eau réfrigérée. L'objectif est de refroidir le gaz afin de le libérer de l'humidité qu'il renferme. Plus la température du gaz est froide, moins il peut retenir d'humidité. Ensuite, le gaz passe à travers le dévésiculeur (élément filtrant en treillis métallique), où les gouttelettes d'eau restantes sont extraites du flux gazeux. [8]

5.5. Pompe à eau déminéralisée

La pompe à eau déminéralisée joue un rôle crucial dans le système en fournissant de l'eau pure. Elle extrait l'eau du réservoir équipé d'une coupure d'air et la dirige vers le rinceur. Ce processus augmente la pression de l'eau depuis la pression atmosphérique dans le réservoir jusqu'à la pression requise par le système dans le rinceur. Lorsque la somme des hauteurs d'eau dans les séparateurs

Chapitre II : Étude technique de la station de production d'hydrogène

Gaz-liquide descend en dessous d'un seuil prédéfini, la pompe s'active automatiquement pour réajuster les niveaux d'eau.



Figure II.11. Pompe à eau déminéralisée

5.6. Panneau d'analyse d'hydrogène dans l'oxygène (HTO)

Dans ce panneau, un capteur mesure le taux d'hydrogène dans l'oxygène. Une alarme est générée si la concentration maximale admissible d'hydrogène est détectée



Figure II.12. Panneau HTO

5.7. Panneau de conductivité

Le panneau de conductivité contrôle si la spécification de l'alimentation en eau est respectée. Ce panneau veille à ce que la pureté de l'eau entrant dans le système soit acceptable ($5,0 \mu\text{S}/\text{cm}$ (20°C) max). La qualité de l'eau est essentielle à la longévité du système



Figure II.13. Panneau de conductivité

5.8. Purge de N2 automatique

Un système de conduites et d'électrovannes permet la purge d'azote à partir du tableau de commande sans intervention manuelle, facilitant ainsi la séquence automatique de purge du N₂ dans le HySTAT et le sécheur DEOXO. La purge de l'azote est nécessaire lorsque la pression interne est inférieure à 15 kPa avant de démarrer l'unité. L'API du système active les différentes valves du système dans l'ordre approprié, assurant ainsi l'évacuation complète de l'air avant la production d'hydrogène.

Les composants inclus dans cette séquence sont les suivants : instruments, détecteurs, capteurs, commutateurs, tuyauterie, valves et événements (H₂ et O₂).

De plus, un réservoir tampon d'eau déminéralisée est présent. Il est conçu pour fournir de l'eau déminéralisée pendant une heure et demie de fonctionnement à la capacité nominale de production, conformément à la norme du fabricant. Ce réservoir est raccordé à l'atmosphère. Son volume est limité afin de réduire la contamination atmosphérique en CO₂ dans l'eau déminéralisée. [8]

5.9. Systèmes de purification de l'hydrogène :

Le système de purification de l'hydrogène (HPS) est conçu pour purifier davantage l'hydrogène à un niveau minimum de 99,998 % par absorption (tamis moléculaire) et la régénération. La pureté est atteinte dans les 2 parties :

● **Partie 1 : Deoxo :**

La teneur en O₂ est réduite dans le courant de gaz H₂ par une réaction catalytique. O₂ de sortie dans H₂ est inférieur à 2 ppm.

● **Partie 2 : Déshydratation :**

Pour retirer l'humidité dans 2 tours de déshydratation. Une tour sera en fonctionnement tandis que l'autre sera en mode veille/régénération. L'hydrogène de sortie aura un point de rosée atmosphérique inférieur à -60 °C ou, facultativement, inférieur à -75 °C.

Le HPS (système de purification de l'hydrogène) est contrôlé par le PLC central dans le panneau de contrôle et comprend :

- Réservoir Deoxo avec catalyseur pour retirer le H₂ dans l'O₂ (chauffé et isolé)
- Échangeur de chaleur
- Filtre coalescent
- Système du pot de vidange pour le retrait de l'eau de l'instrumentation
- Deux tours de déshydratation remplies de tamis moléculaire (chauffé et isolé) (temps régénéré, Remplissage d'adsorption utilisé) ;
- Connexions à la boucle de refroidissement du gaz ;
- Connexion aux collecteurs d'évent des pièces de processus (H₂ et O₂) ;
- Capacité du déshydrater d'hydrogène de 11.25 Nm³/h.
- Redémarrage automatique :

Si l'unité est en mode veille, cela permet à l'unité d'être redémarrée automatiquement une fois que la pression de stockage est inférieure au seuil prédéfini.

- Mesure de pureté en ligne avec (OLP) avec logique de vidange :

Le H₂ produit est surveillé en continu en temps réel à la fois pour la teneur en eau («point de rosée») et pour la teneur en oxygène. Cette option ne peut être sélectionnée qu'avec le HPS. La logique de vidange évacuera automatiquement le H₂ dans l'atmosphère dans le cas où sa qualité est hors

Chapitre II : Étude technique de la station de production d'hydrogène

spécifications, en générant une alarme. Dès que la qualité est dans les spécifications, la vanne menant vers l'atmosphère se refermera et la vanne menant vers le conduit utilisateur s'ouvrira à nouveau.

- Mise à niveau du point de rosée et de la pureté -75 °C , 2 ppm O₂ :

Cette option réduit le point de rosée atmosphérique du H₂ produit de -60 °C à -75 °C et la teneur en O₂ dans le H₂ produit à 2 ppm.

- Refroidisseurs de gaz, refroidissement du compresseur et de l'électrolyte :

Le refroidisseur fournit de l'eau de refroidissement à basse température dans un circuit en boucle fermée vers des échangeurs de chaleur à une température de 15 °C pour le gaz et de 25 à 30 °C pour le refroidissement de l'électrolyte et du compresseur, indépendamment de la température ambiante. [10]



Figure II.14. Sécheur Deoxo

6. Système de refroidissement

Le système de refroidissement comprend deux parties. Ces deux boucles de refroidissement sont expliquées ci-dessous :

6.1. Refroidisseurs pour le refroidissement des gaz

Le refroidisseur fournit de l'eau de refroidissement basse température via un circuit fermé aux échangeurs de chaleur à une température de 15 °C pour le refroidissement des gaz, indépendamment de la température ambiante.

L'hydrogène et l'oxygène gazeux produits par le HySTAT sont refroidis pour condenser la vapeur d'eau dégagée lors de l'électrolyse. Celle-ci est alors filtrée et éliminée du flux de gaz.

Les refroidisseurs sont refroidis par air, installés à l'extérieur sous abri et chaque refroidisseur comprend une pompe et un vase d'expansion. [8]



Figure II.15. Refroidisseur de gaz

6.2. Refroidisseurs pour le refroidissement de l'électrolyte et compresseur :

Le refroidisseur fournit de l'eau de refroidissement via un circuit fermé aux échangeurs de chaleur à une température de 30°C pour le refroidissement de l'électrolyte et du compresseur, indépendamment de la température ambiante.

Les performances de la pile de cellules dépendent de la température de l'électrolyte. Cette dernière doit par conséquent être contrôlée et maintenue à environ 72 °C. Le compresseur a également besoin d'eau de refroidissement pour un fonctionnement normal.

Les refroidisseurs sont refroidis par air, installés à l'extérieur sous abri et chaque refroidisseur comprend une pompe et un vase d'expansion. [8]



Figure II.16. Refroidisseur de l'électrolyte et du compresseur

7. Système de commande

7.1. MCC

Le MCC comporte deux lignes d'alimentation entrantes raccordées par une travée de couplage. En fonctionnement normal, les disjoncteurs des deux circuits d'alimentation sont fermés et le disjoncteur de la travée de couplage est en position ouverte. Lorsque la tension de l'une des deux lignes d'alimentation entrantes chute en dessous de 50 % de la tension nominale, le disjoncteur de la travée de couplage se ferme alors que celui de la ligne d'alimentation défaillante est ouvert. [8]



Figure II.17. Le centre de commande du moteur (MCC)

7.2. Armoire électrique de l'EPS

L'EPS (alimentation électrique de l'électrolyseur) convertit la tension d'alimentation CA triphasée en tension CC contrôlée pour les piles de cellules.

En contrôlant la tension CC, le courant des piles de cellules (production d'hydrogène) est ajusté aux besoins. Le temps de réponse bref du contrôle permet une adaptation en temps réel du volume de gaz généré à la demande.

La porte avant de l'armoire EPS comporte un voltmètre et un ampèremètre permettant une référence immédiate à l'activité du HySTAT. [8]



Figure II.18. Armoire électrique de l'EPS

7.3. Tableau de commande (CP)

Le tableau de commande (CP) renferme tout l'équipement de contrôle du HySTAT et de ses options. L'API (automate programmable industriel) contrôle le HySTAT. L'IHM (interface homme-machine) surveille les alarmes et enregistre toutes les données.

La porte avant du tableau de commande comporte tous les composants de l'IHM : le terminal de visualisation, l'interrupteur à clé, l'avertisseur sonore et le bouton poussoir d'arrêt d'urgence.

L'API de sécurité comporte un programme de sécurité qui surveille en permanence les systèmes de sécurité et engage les actions appropriées si certaines entrées sont déclenchées. [8]



Figure II.19. Tableau de commande (CP)

7.4. Tableau principal (MP) et tableau de commande du compresseur

Le tableau principal (MP) et le tableau de commande du compresseur contient tous les équipements de commande du compresseur et de ses options. L'API (automate programmable industriel) commande le compresseur. L'IHM (interface homme-machine) surveille les alarmes et enregistre toutes les données.

La porte avant du tableau de commande comporte tous les composants de l'IHM : le terminal de visualisation, les interrupteurs à clé, l'avertisseur sonore et le bouton poussoir d'arrêt d'urgence. [8]



Figure II.20. Tableau principal (MP) et tableau de commande du compresseur

8. Utilisation de l'installation complète

8.1. Interfaces de commande

L'unité complète comprend différentes interfaces :

- Interface du centre de commande du moteur Interface du tableau principal
- Interface du tableau de commande du compresseur Interface du tableau de commande

Ces différentes interfaces sont prévues sur les diverses armoires. Les interfaces de ces armoires sont expliquées dans les chapitres suivants :

8.1.1. Interface du centre de commande du moteur :



Figure II.21. Interface du centre de commande du moteur : voyants et commutateurs

Chapitre II : Étude technique de la station de production d'hydrogène

1 Mesure de puissance sur la ligne d'alimentation A ;

2 Commutateur de l'état de fonctionnement (local ou à distance) du disjoncteur de la ligne d'alimentation A ;

3 Commutateur de changement d'état (ouvert - veille - fermé) du disjoncteur de la ligne d'alimentation B ;

4 Voyants d'état (ouvert=vert ; fermé=rouge, erreur=orange) du disjoncteur de la ligne d'alimentation A ;

5 Disjoncteur (marche - arrêt) d'alimentation de l'équipement ;

L'interface du centre de commande du moteur comprend :

✓ Mesure de puissance sur la ligne d'alimentation, travée de couplage gauche et droite, ligne d'alimentation B

Voyants d'état (ouvert=vert ; fermé=rouge, erreur=orange) des disjoncteurs des lignes d'alimentation A et B et de la travée de couplage

✓ Commutateur de l'état de fonctionnement (local ou à distance) des disjoncteurs des lignes d'alimentation A et B et de la travée de couplage

✓ A Commutateur de changement d'état (ouvert - veille - fermé) des disjoncteurs des lignes d'alimentation A et B et de la travée de couplage

Disjoncteur (marche - arrêt) d'alimentation de l'équipement (par exemple armoire électrique, tableau de commande, compresseur, etc.) [13]

8.1.2. Interface du tableau principal :



Figure II.22. Interface du tableau principal

1 IHM. ;

2 Avertisseur sonore d'alarme ;

3 Bouton poussoir d'arrêt d'urgence ;

4 Interrupteur à clé du compresseur 50 ;

5 Bouton de réinitialisation ;

6 Interrupteur à clé d'activation/désactivation de l'unité ;

7 Interrupteur à clé du compresseur 60 ;

L'interface du tableau principal comprend :

- ✓ L'IHM : le terminal d'affichage est un écran tactile et donc les boutons changent en fonction de l'écran.

L'interrupteur à clé d'activation/désactivation de l'unité : l'interrupteur à clé a deux positions possibles : 0 et I. L'interrupteur sert à activer l'unité en tournant la clé de la position 0 (ARRÊT) à la position I (DÉMARRAGE). Tourner la clé en sens inverse (de I vers 0) permet d'interrompre la phase.

- ✓ L'interrupteur à clé des compresseurs 1 et 2 : l'interrupteur à clé a deux positions possibles : 0 et I. L'interrupteur sert à activer le compresseur en tournant la clé de la position 0 (désactivé) à la position I (activé). Tourner la clé en sens inverse (de I vers 0) permet de désactiver le compresseur.
- ✓ Bouton(s) poussoir(s) d'arrêt d'urgence : ce ou ces boutons permettent à l'opérateur d'arrêter immédiatement l'installation en cas d'urgence. Cependant, l'arrêt d'urgence doit être réinitialisé manuellement sur la porte (voir ci-dessous « Le bouton poussoir »). Le système revient en veille et peut ensuite être redémarré.
- ✓ Bouton de réinitialisation : en cas de panne ou d'erreur majeure, le système de sécurité devra être réinitialisé. Le bouton de réinitialisation est éclairé en bleu.
- ✓ Avertisseur sonore d'alarme : il attire l'attention de l'opérateur en cas d'alarme ou d'arrêt du système. L'avertisseur sonore peut être annulé en appuyant sur le bouton « Buzzer » de l'IHM (de couleur verte). [8]

8.1.3. Interface du tableau de commande du compresseur :

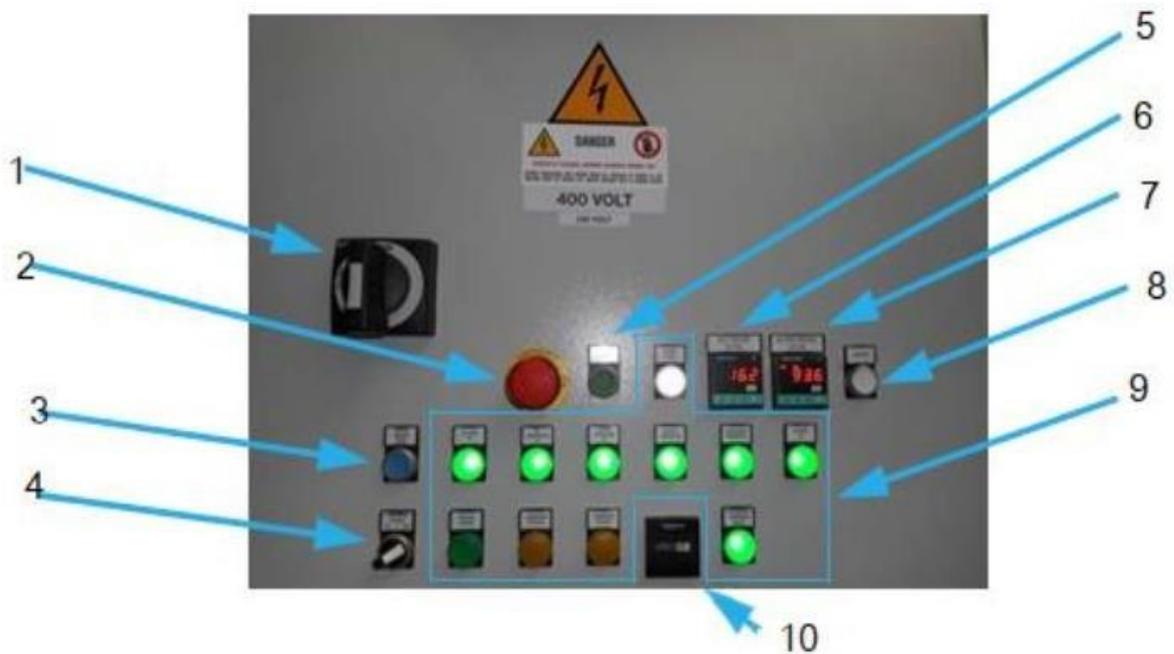


Figure II.23. Interface du tableau de commande du compresseur

- 1 Interrupteur principal ;
- 2 Bouton poussoir d'arrêt d'urgence ;
- 3 Bouton de réinitialisation des dispositifs de sécurité ;
- 4 Interrupteur à clé de commande du compresseur ;
- 5 Bouton de réinitialisation du système ;
- 6 Indicateur de pression d'entrée ;
- 7 Indicateur de pression de sortie ;
- 8 Bouton de test des voyants ;
- 9 Voyants d'état du compresseur ;
- 10 Compteur horaire du compresseur ;

L'interface du tableau de commande du compresseur comprend :

- ✓ L'interrupteur principal : il sert à mettre en marche ou arrêter l'unité du compresseur.

Chapitre II : Étude technique de la station de production d'hydrogène

✓ Bouton(s) poussoir(s) d'arrêt d'urgence : ce ou ces boutons permettent à l'opérateur d'arrêter immédiatement l'installation en cas d'urgence. Cependant, l'arrêt d'urgence doit être réinitialisé manuellement sur la porte (voir ci-dessous « Le bouton poussoir »). Le système revient en veille et peut ensuite être redémarré.

✓ Le bouton de réinitialisation des dispositifs de sécurité : en cas de panne ou d'erreur majeure, le système de sécurité devra être réinitialisé.

✓ L'interrupteur à clé de commande du compresseur : il a trois positions possibles : local, 0 et distant. L'interrupteur sert à commander le compresseur en local ou à distance. La position 0 peut servir à arrêter le compresseur à tout moment pendant qu'il fonctionne.

✓ Le bouton de réinitialisation du système : le système du compresseur peut être réinitialisé à son état initial.

✓ Indicateurs de pression d'entrée et de sortie : ils affichent la pression actuelle en bar à l'entrée et à la sortie du compresseur.

✓ Bouton de test des voyants : il peut servir à tester les voyants lumineux.

✓ Les voyants lumineux d'état du compresseur : l'état des composants du compresseur est indiqué par ces voyants, à savoir : système prêt, niveau d'huile OK, température d'huile OK, circulation de glycol OK, pression d'entrée minimale OK, pression de sortie maximale OK, sécurités OK, demande de pression, moteur du compresseur en marche, compresseur en fonctionnement et moteur du compresseur non surchargé

✓. Compteur horaire du compresseur : le total des heures de fonctionnement du compresseur est affiché. [8]

8.1.4. Interface du tableau de commande :



Figure II.24. Interface du tableau de commande

1 IHM ;

2 Avertisseur sonore d'alarme ;

3 Bouton de réinitialisation ;

4 Interrupteur à clé ;

5 Bouton poussoir d'arrêt d'urgence ;

L'interface du tableau de commande comprend :

✓. L'IHM : le terminal d'affichage est un écran tactile et donc les boutons changent en fonction de l'écran.

✓. Avertisseur sonore d'alarme : il attire l'attention de l'opérateur en cas d'alarme ou d'arrêt du système. L'avertisseur sonore peut être annulé en appuyant sur le bouton « Buzzer » de l'IHM (de couleur verte).

✓. Bouton de réinitialisation : en cas de panne ou d'erreur majeure, le système de sécurité devra être réinitialisé. Le bouton de réinitialisation est éclairé en bleu.

✓. L'interrupteur à clé : il a deux positions possibles : 0 et I. L'interrupteur sert à activer une phase en tournant la clé de la position 0 (ARRÊT) à la position I (DÉMARRAGE). Tourner la clé en sens inverse (de I vers 0) permet d'interrompre la phase.

✓. Bouton(s) poussoir(s) d'arrêt d'urgence : ce ou ces boutons permettent à l'opérateur d'arrêter immédiatement la partie des procédés en cas d'urgence. Cependant, l'arrêt d'urgence doit être réinitialisé manuellement sur la porte de l'EPS (voir ci-dessous « Le bouton poussoir »). Le système revient en veille et peut ensuite être redémarré. [8]

9. Schéma du procède la station de production d'hydrogène

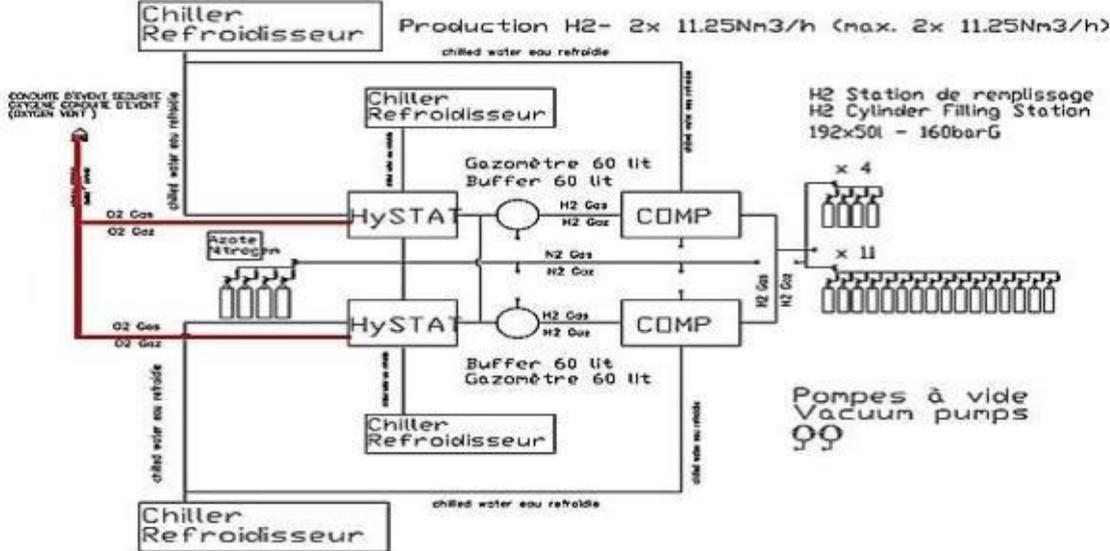


Figure II.25. Schéma station de production d'hydrogène

Conclusion

Il est important avant de mener notre étude de réaliser une étude technologique approfondie sur la station de production d'hydrogène afin de résoudre les problématiques soulevées dans notre étude. Ce chapitre fournit une description détaillée de la station ; de son principe de fonctionnement, ainsi que ses différentes composantes

Chapitre III

**La maintenance de la station de
production d'hydrogène**

Introduction

La maintenance préventive, essentielle pour éviter les pannes inattendues et prolonger la durée de vie des équipements, est mise en avant. Des calendriers de maintenance détaillés sont fournis, indiquant les intervalles spécifiques pour le contrôle et le remplacement des pièces. Cette approche systématique permet d'anticiper les besoins de maintenance et d'assurer un fonctionnement optimal.

En plus de la maintenance préventive, le chapitre couvre également les procédures de maintenance corrective pour diagnostiquer et résoudre rapidement les problèmes lorsqu'ils surviennent. L'accent est mis sur la sécurité, avec des instructions précises pour manipuler et entretenir les composants sensibles et potentiellement dangereux.

Enfin, le chapitre traite des aspects spécifiques de la maintenance des sécheurs Deoxo, des thermostats, des transmetteurs de température, et des soupapes de sécurité, fournissant des directives claires pour maintenir ces éléments critiques en bon état de fonctionnement. En suivant rigoureusement ces protocoles de maintenance, les opérateurs peuvent garantir non seulement la fiabilité et l'efficacité de la production d'hydrogène, mais aussi la sécurité du personnel et des installations.

1. Définition de la maintenance

Selon AFNOR X 60-010, la maintenance est « l'ensemble des activités destinées à maintenir ou à réaliser un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût optimal. [21]

Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management ».

D'après la définition CEN projet WI 319-003 (1997), la maintenance est « l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de gestion 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 ». [21]

La fonction requise est ainsi définie : « fonction, ou ensemble de fonctions d'un bien considérées comme nécessaires pour fournir un service donné ».

Le problème réside dans le fait que la plupart des entreprises ne sont pas conscientes de l'importance de la maintenance au sein de l'industrie. La définition de la maintenance met en évidence quatre notions essentielles :

1.1. Maintenir

Cela implique un suivi et une surveillance réguliers pour prévenir les problèmes potentiels.

1.2. Rétablir

Cela implique la correction des défauts ou des pannes qui se produisent, afin de rétablir le fonctionnement normal de l'équipement.

1.3. Maintenir un état spécifié et un service déterminé

Cela signifie maintenir l'équipement dans un état spécifié et garantir qu'il fournit le niveau de service attendu. Cela comprend également la prise en compte des compétences nécessaires pour effectuer la maintenance de manière efficace.

1.4. Coût optimal

Cela conditionne l'ensemble des opérations de maintenance en veillant à ce qu'elles soient réalisées de manière économiquement efficace. Il s'agit de trouver le juste équilibre entre les coûts de maintenance et les performances attendues de l'équipement.

En sensibilisant les entreprises à ces notions clés et à l'importance de la maintenance, il est possible d'améliorer la gestion et la planification de la maintenance, ce qui contribue à une plus grande efficacité économique et à des performances accrues de l'équipement industriel.

2. Objectif de la maintenance

L'objectif des équipes de maintenance est de maintenir les installations de production en parfait état et d'assurer le rendement global maximum tout en optimisant le coût.

L'obtention du meilleur rendement passe par la prévention des pannes, le respect des cadences de production et l'amélioration continue de la qualité des produits. Maintenir, ce n'est plus subir les pannes mais maîtriser les défaillances par l'optimisation de la politique de maintenance, par une bonne prévention, par des réparations rapides et efficaces, enfin par l'amélioration du matériel.

Pour assurer correctement cette mission, il est nécessaire de se doter en plus de la compétence technique des hommes, d'une organisation efficace et d'outils adéquats. [23]

C'est la nature de l'entreprise qui fixe les l'objectifs, des services de la maintenance. On peut classer les objectifs de la maintenance on deux catégories :

2.1. Les objectifs financiers

- Réduire au minimum les dépenses de la maintenance.
- Augmenter au maximum les profits.
- Avoir des dépenses de maintenance en fonction de l'Age des installations et de son taux d'utilisation

2.2. Objectifs opérationnels

- Maintenir les équipements.
- Assurer la disponibilité maximale des installations et des équipements.
- Pousser à la dernière limite la durée de vie de l'installation.
- Assurer une performance (rendement) de haute qualité.

3. Stratégie de maintenance

Ensemble des décisions qui conduisent :

- À définir le portefeuille d'activités de la production de maintenance, c'est - à - dire, à décider des politiques de maintenance des équipements (méthodes correctives, préventives, à appliquer à chaque équipement)
- Et, conjointement, à organiser structurellement le système de conduite et les ressources productives pour y parvenir dans le cadre de la mission impartie (objectifs techniques, économiques et humains). [22]

Les stratégies de maintenance sont aussi variées que peuvent l'être les systèmes sur lesquels elles s'appliquent. Cependant, toutes visent le maintien du système dans un état de bon fonctionnement le plus longtemps possible ou la restauration la plus brève lors d'une défaillance

4. Politique de maintenance

La politique de la maintenance est la définition au niveau de l'entreprise des objectifs technico-économique relatifs à la prise en charge des équipements par la direction maintenance. C'est dans le cadre de cette politique que le responsable de la direction de maintenance met en œuvre les moyens adaptés aux objectifs fixes : on parlera alors de stratégie pour le moyen terme et de tactique pour le court terme. La gestion de maintenance prend essentiellement en compte les aspects technique, économique et financier des différents méthodes utilisables (corrective, préventive systématique, préventive conditionnelle.) en vue d'optimiser la disponibilité des matériels. Toutes les politiques sont représentées par l'ensemble des règles d'action définissant les intentions de la direction en matière d'organisation et de gestion.

5. Management de la maintenance

Le management de la maintenance est à la charge d'une (ou plusieurs) personne(s) désignée(s) dont les Responsabilités et autorités doivent être définies. Le rôle de la (ou des) personne(s) en charge du management de la maintenance consiste à piloter toutes les actions qui concourent à atteindre aux meilleures conditions techniques et économiques, les buts et objectifs qui lui sont définis par la Direction en matière de : coûts, qualité, sûreté de fonctionnement (FMD : Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité), sécurité, environnement, etc. Le management de la maintenance nécessite la mise en œuvre d'une communication, basée sur des échanges d'informations avec toutes les autres fonctions de l'entreprise. Ces informations peuvent être par exemple : des tableaux de bord et suivi d'indicateurs des comptes rendus et rapports, des recommandations sur les conséquences des choix industriels. [22]

6. Différents types de maintenance

6.1. La maintenance corrective

Ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien, ou la dégradation de sa fonction pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement : ces activités comportent notamment la localisation de la défaillance et son diagnostic, le remise en état avec ou sans modification, le contrôle du bon fonctionnement. [23]

La maintenance corrective peut être subdivisée en deux types de maintenance :

- **Maintenance palliative (dépannage)**

Activités de maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise. Appelé couramment dépannage, cette maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui devront être suivies d'actions curatives.

- **Maintenance curative**

Activités de maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise. Appelé couramment dépannage, cette maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui devront être suivies d'actions curatives.

6.2. Maintenance préventive

Maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu, elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours

d'utilisation. L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter. [23]

- **La maintenance systématique**

Maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi suivant le temps ou le nombre d'unités d'usage.

- **La maintenance conditionnelle**

Maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure...), Cette forme moderne de maintenance permet d'assurer le suivi continu du matériel en service dans le but de prévenir les défaillances attendues.

- **La maintenance prédictive**

L'analyse vibratoire est certainement l'outil favori dans la maintenance prédictive des machines tournantes. Les techniques d'analyse vibratoires ont tellement évolué qu'on est passé d'une détection tardive à la prédiction. Dans ce contexte l'ingénieur de maintenance pourra détecter le problème dès sa naissance, suivre son évolution dans le temps et choisir le moment opportun pour intervenir de manière à faire un compromis entre disponibilité de la main d'œuvre, des pièces de rechanges et les surcharges de la production.

- **Bute de la maintenance préventive**

- Augmenter la durée de vie des matériels.
- Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- Prévenir et aussi prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective.
- Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions.
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production.
- Diminuer le budget de maintenance.

7. Les Types de maintenance : Maintenance du compresseur

Pour assurer une fourniture continue et fiable d'hydrogène, un plan de maintenance préventive doit être respecté.

Chapitre III : La maintenance de la station de production d'hydrogène

La re certification de certains détecteurs ou réservoirs sous pression associés au système n'est pas décrite, mais doit être effectuée par du personnel autorisé et qualifié. L'intervalle entre ces certifications dépend des réglementations et normes locales et doit avoir lieu en conséquence. [11]

7.1. Calendrier de maintenance

Certaines parties du compresseur doivent être changées à intervalles réguliers en raison d'une usure naturelle. Les durées indiquées sur le tableau ci-dessous ne sont qu'une indication, la durée de vie de ces pièces dépend des conditions de fonctionnement. Si en les contrôlant, certaines pièces n'ont pas leurs caractéristiques d'origine, elles doivent être changées.

Tableau III.1. Tableau de la durée de vie de pièces du compresseur. [12]

Compresseur						
Pièces à contrôler ou changer	Durée d'utilisation					
	100 heures	500 heures	1000 heures	1500 heures	2000 heures	> 2000 heures
Filtre à gaz	Contrôle	Contrôle	Contrôle	Contrôle	Contrôle	Contrôle toutes les 500 heures
Filtre à huile	Contrôle		Contrôle		Contrôle/ Changement	Contrôle toutes les 2000 heures
Joints d'étanchéité aux gaz de piston					Contrôle	Contrôle toutes les 2000 heures
Joints d'étanchéité aux gaz de bielle					Contrôle	Contrôle toutes les 2000 heures
Bague de guidage de piston					Contrôle	Contrôle toutes les 2000 heures
Bague de guidage de bielle					Contrôle	Contrôle toutes les 2000 heures
Conduites d'huile en caoutchouc	Contrôle				Contrôle	Contrôle toutes les 5000 heures
Huile		Contrôle	Contrôle	Contrôle	Contrôle/ Changement	Contrôle toutes les 5000 heures

Chapitre III : La maintenance de la station de production d'hydrogène

Les refroidisseurs sont spécialement équipés d'un filtre à eau intégré dans le boîtier du refroidisseur, au niveau de l'alimentation en eau. Le filtre est accessible par le panneau arrière ou le panneau droit d'entretien du refroidisseur. Respectez les consignes de maintenance suivantes :

Tableau III.2. Tableau de maintenance de refroidisseur

Refroidisseur	
Intervalle	Description
Hebdomadaire	Vérifier que la température de l'eau indiquée sur le thermostat de contrôle correspond environ au point de consigne.
Hebdomadaire	Vérifier que la pression de la pompe est identique à la pression nominale (Pnom) indiquée sur la plaque des caractéristiques.
Hebdomadaire	Vérifier le niveau d'eau dans le réservoir
Hebdomadaire	Vérifier l'état du filtre à eau, si la chute de pression excède 1,5 bar (22 psi) changer l'élément filtrant.
Mensuel	L'unité étant débranchée (interrupteur principal en position arrêt), nettoyer le condenseur à l'air comprimé, de l'intérieur vers l'extérieur.
Mensuel	Nettoyer l'intérieur et l'extérieur du boîtier, en éliminant la poussière présente, surtout sur le bâti de la pompe à eau. Ne pas utiliser de détergents.
Annuel	Changer l'élément filtrant et remplir le réservoir d'eau à la qualité requise.

7.2. Maintenance de l'armoire électrique

- Nettoyage/remplacement du filtre de ventilateur du port :



Figure III.1. Démontage des couvercles du filtre

Chapitre III : La maintenance de la station de production d'hydrogène

- ✓ Faites attention que les ventilateurs ne fonctionnent pas pendant la procédure
- ✓ Retirez les éléments filtrants
- ✓ Nettoyez les filtres à l'air sous pression ou à l'aspirateur Assurez-vous que le flux d'air pendant le nettoyage est en sens inverse de celui du flux d'air pendant le fonctionnement, de manière à décoller la poussière

- Nettoyage de la poussière et de la saleté des armoires électriques

La poussière et la saleté provoquent un mauvais refroidissement de l'armoire et peuvent entraîner un incendie. Si la poussière et la saleté sont humides, elles peuvent modifier la résistance d'isolement des composants électriques et provoquer de sérieux dégâts.

S'il y a une accumulation de poussière ou de saleté, nettoyez l'armoire électrique à la brosse ou à l'aspirateur. [12]

Contrôle et remplacement des batteries UPS 24 V.

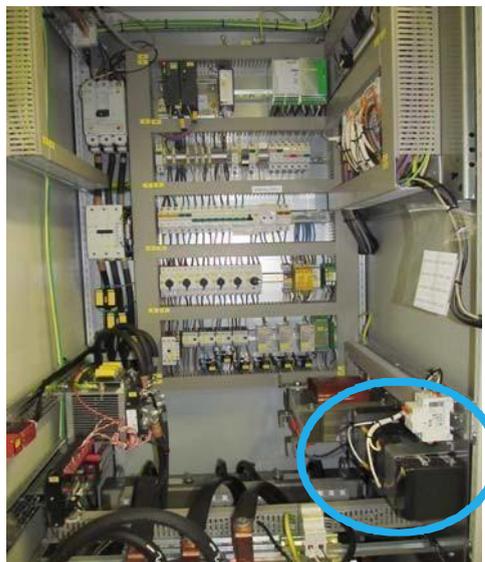


Figure III.2. Batteries UPS 24 V à l'intérieur du tableau de commande

- ✓ Coupez l'alimentation 24 V qui charge les batteries. Vous pouvez le faire à l'aide du fusible qui se trouve entre l'UPS et les batteries sur les schémas électriques.
- ✓ Vérifiez la charge des batteries avec un multimètre et un testeur ampères-heures.
- ✓ Remplacez les batteries si nécessaires.

8. Maintenance du hystat

8.1. Contrôle de l'étanchéité aux fuites

Un contrôle d'étanchéité aux fuites doit être effectué sur toute la tuyauterie. Cela comprend la tuyauterie pour l'hydrogène, l'oxygène, le gaz inerte, l'eau de refroidissement et l'eau déminéralisée. Contrôlez aussi les fuites éventuelles sur les tuyaux vers l'utilisateur.



Figure III.3. Contrôle des fuites de gaz avec une solution savonneuse

1. Si nécessaire, ouvrez l'enceinte des procédés.
2. Contrôlez la présence de fuites sur tous les raccords des boucles de gaz à l'aide d'une solution d'eau savonneuse. Par exemple, utilisez Snoop[®] (utilisez du papier de nettoyage pour enlever l'excès de liquide).
3. Contrôlez visuellement la présence de fuites sur la boucle d'électrolyte. Recherchez aussi les traces de KOH dans la cuvette d'égouttage. Chaque fois qu'une fuite de KOH est détectée, effectuez un contrôle de concentration de l'électrolyte.
4. Contrôlez visuellement la présence de fuites sur le circuit de refroidissement.
5. Si une fuite est détectée, dépressurisez le HySTAT et appelez un technicien de service.
6. Contrôlez tous les raccords externes vers les conduites utilisateur et/ou les conduites de mise à l'air libre.
7. Si nécessaire, fermez les portes de l'enceinte des procédés.

Pour assurer une fourniture continue et fiable d'hydrogène, un plan de maintenance préventive doit être respecté.

La re certification de certains détecteurs ou réservoirs sous pression associés au HySTAT n'est pas décrite, mais doit être effectuée par du personnel autorisé et qualifié. L'intervalle entre ces certifications dépend des réglementations et normes locales et doit avoir lieu en conséquence.

Chapitre III : La maintenance de la station de production d'hydrogène

8.2. Calendrier de maintenance

Tableau III.3. Tableau présent le calendrier de maintenance HYSTAT

Intervalle	Description	Heures
Variable	Contrôler le couple des piles de cellules : lors de la mise en service, après le premier, troisième et sixième mois, tous les six mois ensuite	2
6 mois	Contrôler l'étanchéité aux fuites	½
6 mois	Contrôler les vannes de l'électrolyseur : Hydrogène vers utilisateur, Hydrogène vers atmosphère, Oxygène vers utilisateur, Oxygène vers atmosphère, Oxygène vers HTO	4
6 mois	Contrôler la concentration de l'électrolyte	1
6 mois	Contrôler la fixation des câbles d'alimentation	1
6 mois	Contrôler le fonctionnement des contacteurs de niveau (flotteurs)(S)	2
6 mois	Contrôler le fonctionnement des contacteurs de niveau (lames vibrantes) (S)	2
6 mois	Contrôler le fonctionnement des transmetteurs de pression des points de commutation (S)	2
Annuel	Contrôler le fonctionnement des thermostats (S)	2
Annuel	Remplacer les flotteurs des transmetteurs de niveau	1
Annuel	Remplacer les flotteurs des contacteurs de niveau	1
2 ans	Inspecter et nettoyer le réservoir tampon	4
3 ans	Remplacer ou recalibrer les soupapes de sécurité	1
3 ans (ou réglementations locales)	Inspecter les réservoirs sous pression	Variable
Prédictive	Remplacer les électrovannes	1

Les refroidisseurs sont spécialement équipés d'un filtre à eau intégré dans le boîtier du refroidisseur, au niveau de l'alimentation en eau. Le filtre est accessible par le panneau arrière ou le panneau droit d'entretien du refroidisseur. Respectez les consignes de maintenance suivantes : [16]

Chapitre III : La maintenance de la station de production d'hydrogène

Tableau III.4. Tableau de maintenance de refroidisseur

Refroidisseur	
Intervalle	Description
Hebdomadaire	Vérifier que la température de l'eau indiquée sur le thermostat de contrôle correspond environ au point de consigne.
Hebdomadaire	Vérifier que la pression de la pompe est identique à la pression nominale (Pnom) indiquée sur la plaque des caractéristiques.
Hebdomadaire	Vérifier le niveau d'eau dans le réservoir
Hebdomadaire	Vérifier l'état du filtre à eau, si la chute de pression excède 1,5 bar (22 psi) changer l'élément filtrant.
Mensuel	L'unité étant débranchée (interrupteur principal en position arrêt), nettoyer le condenseur à l'air comprimé, de l'intérieur vers l'extérieur.
Mensuel	Nettoyer l'intérieur et l'extérieur du boîtier, en éliminant la poussière présente, surtout sur le bâti de la pompe à eau. Ne pas utiliser de détergents.
Annuel	Changer l'élément filtrant et remplir le réservoir d'eau à la qualité requise.

Tableau III.5. Présent le calendrier de maintenance corrective de HYSTAT

Système de refroidissement en boucle fermée	
Intervalle	Description
Hebdomadaire	Contrôler les pressions du système
Hebdomadaire	Contrôler la surchauffe des pompes
Hebdomadaire	Contrôler les filtres (le cas échéant)
Hebdomadaire	Vérifier la présence de fuites aux points de dégazage. Adjuster si nécessaire
Mensuel	Nettoyer le refroidisseur sec
Mensuel	Nettoyage interne et externe des pompes et du caisson

Chapitre III : La maintenance de la station de production d'hydrogène

8.3. Maintenance corrective de hystat

N°	Type de panne	Cause potentielle de la panne	Remèdes
1	Le HySTAT ne démarre pas	Les conditions de démarrage ne sont pas respectées L'interrupteur à clé est sur « 0 »	Reportez-vous à la section Fonctionnement du HySTAT et à l'Annexe C : Conditions de démarrage Interrupteur à clé sur « 1 »
2	Avertissement H sur LTH et LTO en même temps	Trop d'électrolyte dans le système	Vérifiez que le niveau d'électrolyte n'est pas trop élevé ou trop bas en veille (140 mm) Si nécessaire, vidangez l'électrolyte par la valve d'échantillonnage du KOH.
3	Avertissement L sur LTH et LTO en même temps	Trop peu d'électrolyte dans le système ou le remplissage en eau déminéralisée ne fonctionne pas correctement.	Vérifiez l'alimentation en eau Remplissez d'électrolyte
4	Alarme TTE	Température de l'électrolyte trop élevée à cause d'un refroidissement défectueux Pression d'eau trop faible Température de l'eau de refroidissement trop élevée Électrovanne de refroidissement défectueuse	Vérifiez le refroidisseur d'électrolyte Vérifiez l'alimentation en eau Vérifiez l'alimentation en eau Appelez un technicien de service
5	Alarme sur le faible courant	La pression dans le système du client était trop élevée Débit demandé trop faible	Vérifiez si des tuyaux sont obstrués Augmentez le débit ou créez une consommation supplémentaire

8.4. Maintenance de la pile

Contrôle de la fixation des câbles d'alimentation :

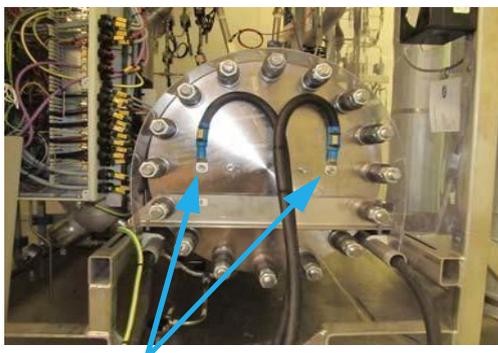


Figure III.4. Raccords électriques à la pile de cellules

8.5. Contrôle du couple sur la pile de cellules



Figure III.5. Contrôle du couple sur la pile de cellules [12]

8.6. Contrôle de la concentration de l'électrolyte

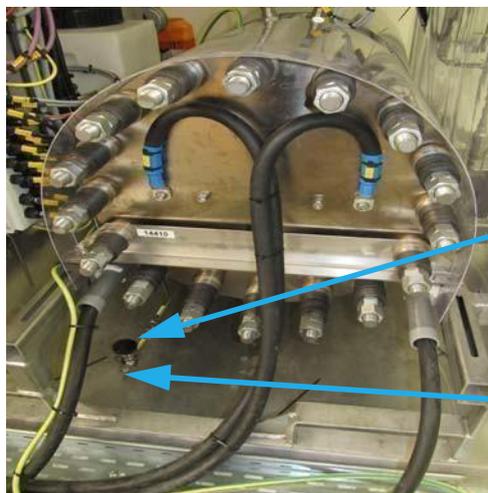


Figure III.6. Boucle d'échantillonnage de l'électrolyte

Il est conseillé d'effectuer un contrôle de concentration et de fuites dans les cassivants :

- ✓ Après le premier remplissage de KOH lorsque le HySTAT est installé. Ce contrôle est nécessaire uniquement si la solution de KOH doit être mélangée sur site ou s'il y a une incertitude sur sa concentration.
- ✓ Après détection d'une fuite de KOH ;
- ✓ Après ajustement de la concentration de l'électrolyte (un ou deux jours après) ;
- ✓ Périodiquement, tous les six mois conformément au calendrier de maintenance préventive

8.7. Procédure de contrôle de la concentration

La description fait référence au paragraphe « Figure 10 – Équipement d'échantillonnage du KOH et boucle d'échantillonnage de l'électrolyte » ci-dessus :

1. Dévissez le bouchon du raccord de compression (par exemple Swagelok[®]) avec une clé tout en maintenant la vanne avec l'autre clé.
 2. Fixez le tuyau PFA à la valve à l'aide d'une clé tout en maintenant la valve avec l'autre clé.
 3. Placez le récipient verticalement sur le sol et placez le tuyau PFA dans le récipient.
 4. Ouvrez la valve de quelques tours avec précaution jusqu'à ce que le KOH commence à couler doucement.
 5. Quand le récipient est rempli jusqu'au niveau 400 ml, fermez la valve.
 6. Dévissez le tuyau PFA flexible avec précaution et utilisez du papier de nettoyage pour nettoyer les gouttes de KOH sortant du tuyau et de la valve.
 7. Resserrez le raccord à l'aide des deux clés.
 8. Placez le densimètre dans le liquide et lisez la valeur.
- ❖ Si la densité est inférieure à 1,25 ou supérieure à 1,35, la concentration de l'électrolyte doit être ajustée.
- ❖ La température de l'électrolyte peut atteindre 85°C quand le HySTAT vient d'être arrêté. Laissez-la refroidir suffisamment.
- ❖ Si la densité est inférieure à 1,25 g/cm³ ou supérieure à 1,35 g/cm³, la concentration de l'électrolyte doit être ajustée.
- ❖ N'utilisez jamais de pompe pour aspirer le KOH de la boucle d'échantillonnage dans un récipient. Cela peut endommager définitivement les composants internes de la pile de cellules et entraîner des réparations majeures.
- ❖ Le terminal de visualisation de l'IHM peut être utilisé pour afficher les niveaux d'électrolyte. Pour plus d'informations, voir « Appendix A : terminal de visualisation de l'IHM ». Le niveau d'électrolyte doit toujours se situer entre 180 mm et 220 mm

9. Maintenance de sécheur

Le sécheur Deoxo est conçu pour fonctionner de manière totalement automatique et pratiquement sans entretien. Il est cependant conseillé aux utilisateurs du sécheur Deoxo de respecter un calendrier de maintenance préventive afin de garantir une fourniture d'hydrogène continue et fiable.

Il est recommandé d'analyser régulièrement le gaz en aval du sécheur pour vérifier sa qualité. Une qualité insuffisante du gaz peut provenir d'un dysfonctionnement du système.

Réalisez une visite de contrôle générale tous les 6 mois et remplacez les pièces selon le calendrier de maintenance. [12]

9.1. Contrôle du fonctionnement des thermostats

Le bon fonctionnement des thermostats est un élément important de la sécurité globale du système. Il est donc important d'effectuer des contrôles réguliers des contacteurs de niveau dans le cadre des calendriers de maintenance.

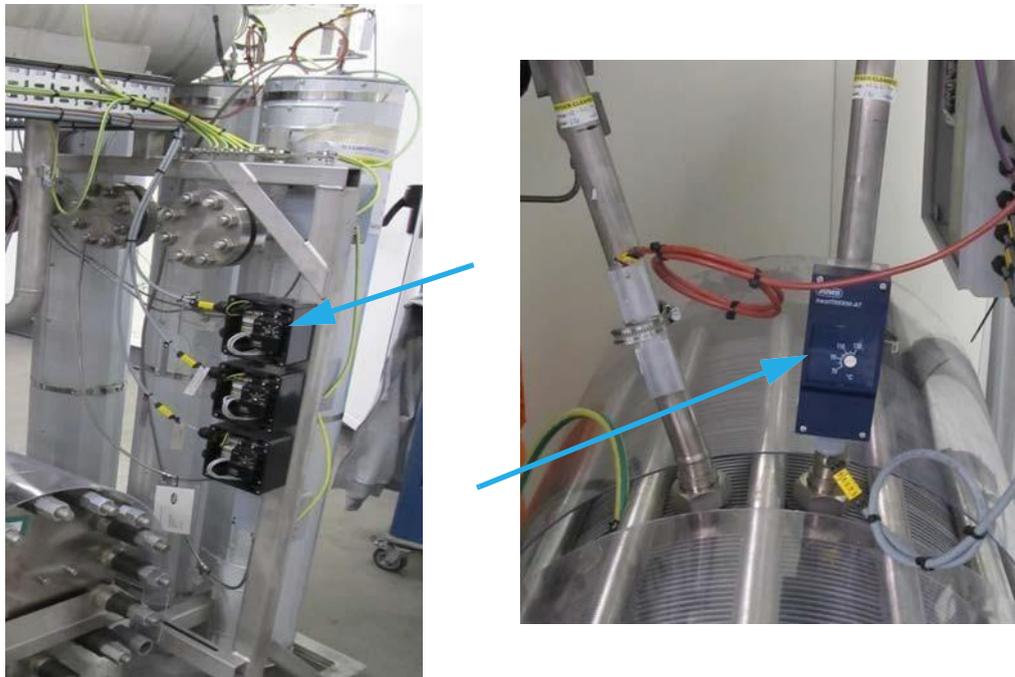


Figure III.7. Thermostats : sécheur (à gauche) - pile de cellules (à droite)

Enlevez la sonde thermique de la tuyauterie en la laissant raccordée à la boîte de jonction. (Pour le thermostat de la pile de cellules, la tuyauterie est au-dessus de la pile, voir l'illustration ci-dessus. Pour les thermostats du sécheur, le capteur est inséré dans un tube en haut du réservoir).

- ✓ Vérifiez le point de réglage du thermostat ;

Chapitre III : La maintenance de la station de production d'hydrogène

- ✓ Placez la sonde du capteur dans un bain d'eau chaude, un four à enceinte sèche ou chauffez-la doucement avec un pistolet à air chaud ;
- ✓ Augmentez la température du bain d'eau chaude/de l'air chaud ou du four à enceinte sèche jusqu'à ce que le thermostat soit actionné et déclenche une alarme ;
- ✓ Enregistrez la température à laquelle le thermostat est actionné et contrôlez par rapport aux normes du fabricant ;
- ✓ Il est possible de laisser le bain ou le four refroidir jusqu'à ce que le thermostat soit désactivé et d'enregistrer cette température pour la comparer aux normes du fabricant ;
- ✓ Remplacez la sonde dans la tuyauterie ;

9.2. Contrôle du fonctionnement des transmetteurs de température

Le bon fonctionnement des transmetteurs de température (ou PT100) est un élément important de la sécurité globale du système. Il est donc important d'effectuer des contrôles réguliers des transmetteurs dans le cadre des calendriers de maintenance.



Figure III.8. Transmetteurs de température (PT100) : Deoxo (à gauche), sécheur A (au milieu) et sécheur B (à droite).

10. Contrôle des contacteurs de niveau (avec flotteurs)

Le bon fonctionnement des contacteurs de niveau est un élément important de la sécurité globale du système. Il est donc important d'effectuer des contrôles réguliers des contacteurs de niveau dans le cadre des calendriers de maintenance.

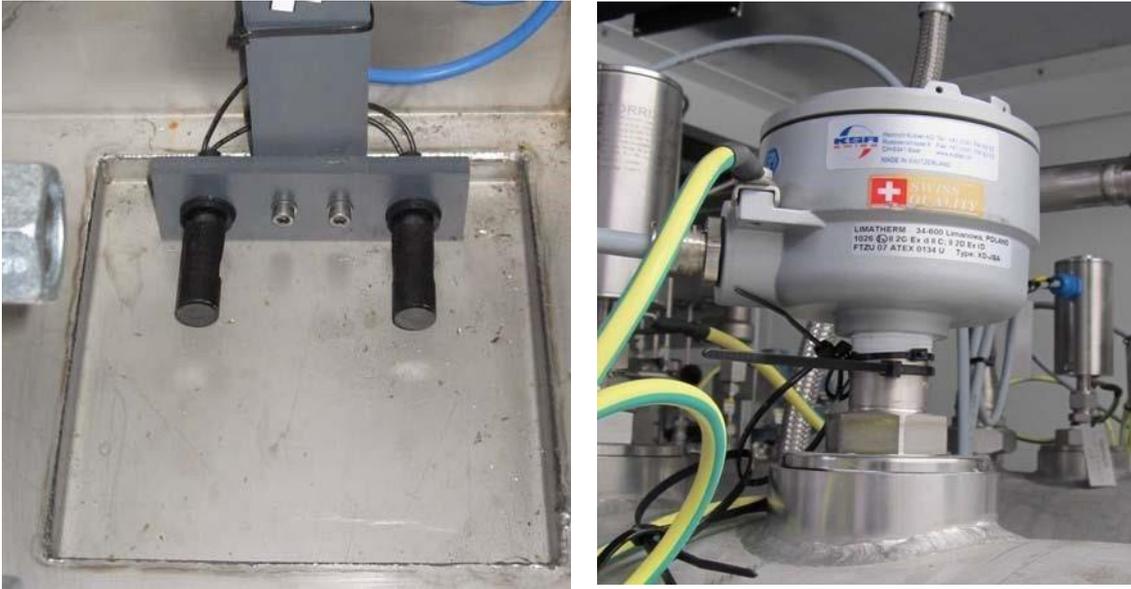


Figure III.9. Contacteurs de niveau de la cuvette d'égouttage (à gauche) et du séparateur de gaz (à droite)

11. Remplacement ou recalibrage des soupapes de sécurité



Figure III.10. Soupape de sécurité

- ✓ Selon les réglementations et normes locales, les soupapes de sécurité doivent être recalibrées régulièrement. ;
- ✓ Hydrogenics Europe NV recommande de recalibrer les soupapes tous les 3 ans. ;
- ✓ Be sure that the certificates of the relief valves are valid and check if the sealing is still in place;

12. Purge du sécheur Deoxo

Durant la plupart des opérations de maintenance ou en cas de travail « à chaud » dans la zone dangereuse, le sécheur Deoxo doit être purgé avec un gaz inerte pour garantir la sécurité du système.

Avant d'effectuer la maintenance du sécheur Deoxo, un ingénieur doit pratiquer sur ce dernier une purge au gaz inerte, suivie d'une dépressurisation, afin de garantir un environnement sécurisé

12.1. Remplacement du filtre coalescent situé après le réservoir Deoxo

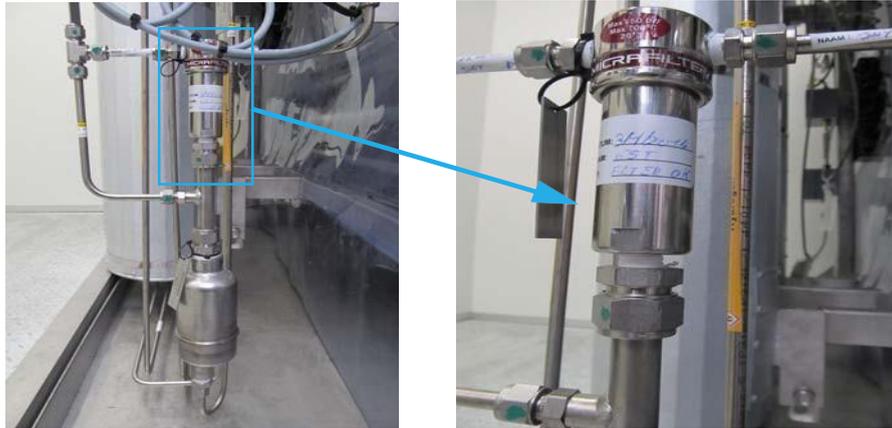


Figure III.11. Filtre intégré après le sécheur Deoxo

12.2. Nettoyage de l'élément du filtre à grosses particules

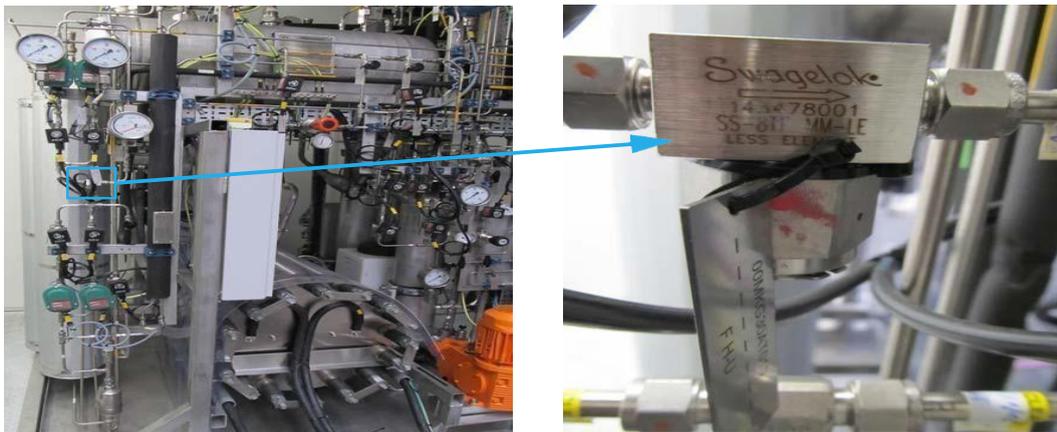


Figure III.12. Nettoyage de l'élément filtrant

13. Remplacement des électrovannes

Les compteurs des différentes électrovannes sont incorporés au PLC et leur statut réel peut être contrôlé sur le terminal de visualisation de l'IHM. Si le nombre de commutations d'une vanne dépasse 80 % du nombre maximal prévu, l'IHM avertit l'opérateur. Les vannes qui atteindront les premières le nombre maximal de commutations sont les vannes MV O-A. Au sujet des compteurs des vannes, voir « Appendix A: terminal de visualisation de l'IHM ».

Chapitre III : La maintenance de la station de production d'hydrogène

Certaines vannes devront être remplacées avant le nombre maximal de commutations en raison de l'usure ou de la contamination par le KOH.



Figure III.13. Remplacement de l'électrovanne

1. Enlevez l'agrafe de retenue du solénoïde et mettez-la soigneusement de côté. ;
2. Démontez le solénoïde et mettez-le soigneusement de côté (toujours connecté). Démontez le ressort du solénoïde et mettez-le soigneusement de côté ;
3. Desserrez les raccords à compression (par exemple raccords Swagelok®) à l'entrée et à la sortie de la vanne ;
4. Enlevez la tuyauterie d'un coté de la vanne pour permettre d'enlever la vanne ;
5. Enlevez la vanne ;
6. Mettez la nouvelle vanne en place (avec les raccords à compression, par exemple raccords Swagelok®) ;
7. Remplacez la tuyauterie ;
8. Remplacez le ressort du solénoïde, le solénoïde et enfin l'agrafe de retenue ;
9. Serrez tous les raccordements. ;

14. Échange du catalyseur dans le sécheur Deoxo :

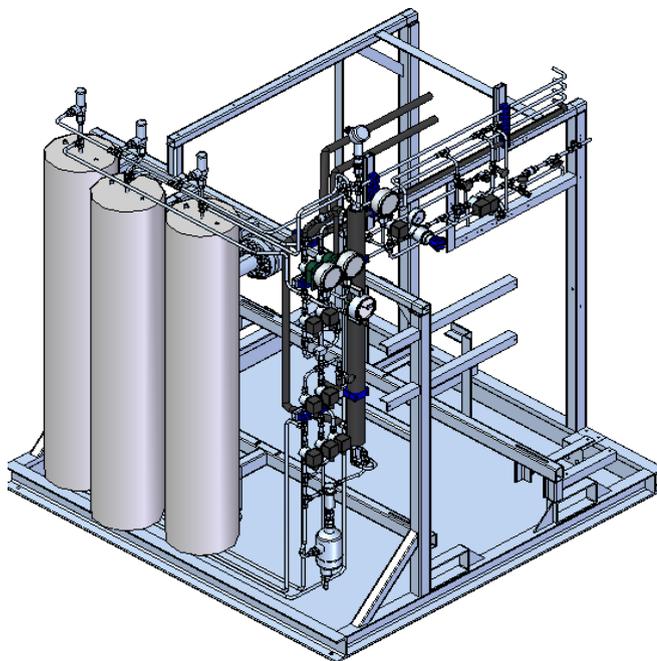


Figure III.14. Sécheur Deoxo

Tous les cinq ans ou selon l'analyse de l'hydrogène produit, le contenu du réservoir à catalyseur (Deoxo) doit être changé en totalité. [12]

Tableau III.6. Présent le calendrier de maintenance de sécheur. [12]

N°	Type de panne	Cause potentielle de la Panne	Remèdes
1	La pureté du gaz chute	Contamination due à desfuites	Contrôler l'étanchéité auxfuites. Corrigez si nécessaire.
2	Température trop élevée pendant l'adsorption	Un chauffage non désiré seproduit Vérifiez l'unité de chauffage - relais statique	Vérifiez l'unité de chauffage - relais statique
3	Volume de l'eau de refroidissement insuffisant	Circuit d'eau de refroidissement obstrué	Nettoyez le circuit
4	Le contenu en humidité du gaz pénétrant dans la colonne d'adsorption est trop élevé	Filtre coalescent (DP H)endommagé	Remplacez l'élémentfiltrant
		Le contacteur de niveau durécipient de purge DP H nefonctionne pas	Commandez et remplacezle contacteur de niveau. Le sécheur Deoxo peut continuer à fonctionner pendant ce temps Videz lerécipient de purge DP H toutes les semaines
5	Pression ou débit du gaz purifié trop faible	Le filtre après le sécheur FH-U est obstrué	Remplacez l'élémentfiltrant.
		Le chargement de l'élémentdu filtre coalescent du DP Hest trop élevé	
		Débit du gaz de régénération trop élevé	Vérifiez l'indicateur dedébit.

15. Contrôle du fonctionnement du contacteur débit métrique d'air



Figure III.15. Contrôle du fonctionnement du contacteur décimétrique d'air. [12]

16. Nettoyage/remplacement du filtre de ventilateur de la porte

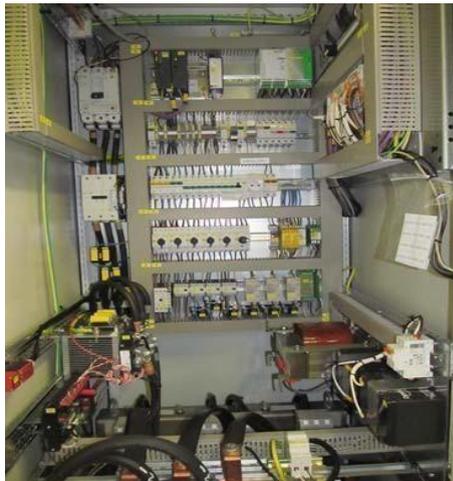


Figure III.16. Démontage des couvercles du filtre. [12]

- ✓ Faites attention que les ventilateurs ne fonctionnent pas pendant la procédure ;
- ✓ Retirez les éléments filtrants ;
- ✓ Nettoyez les filtres à l'air sous pression ou à l'aspirateur Assurez-vous que le flux d'air pendant le nettoyage est en sens inverse de celui du flux d'air pendant le fonctionnement, de manière à décoller la poussière ;

Chapitre III : La maintenance de la station de production d'hydrogène

- ✓ Si nécessaire, remplacez le filtre par un neuf ;
- ✓ Remplacez le couvercle du ventilateur Nettoyez les filtres à l'air sous pression ou à l'aspirateur ;
- ✓ Remplacez le couvercle du ventilateur [12].

17. Contrôle et remplacement des batteries UPS 24 V

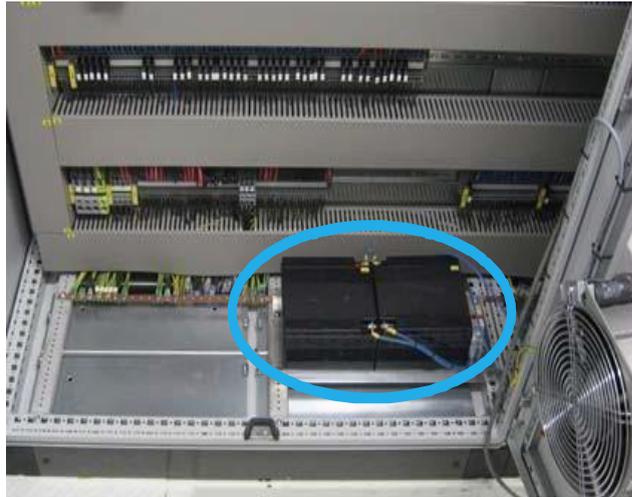


Figure III.17. Batteries UPS 24 V à l'intérieur du tableau de commande

- ✓ Coupez le transformateur 24 V qui charge les batteries. Vous pouvez le faire à l'aide du fusible qui se trouve entre l'UPS et les batteries sur les schémas électriques ;
- ✓ Vérifiez la charge des batteries avec un multimètre et un testeur ampères-heures ;
- ✓ Remplacez les batteries si nécessaire : enlever soigneusement les anciennes batteries setremplacez-les par des neuves ;

18. Remplacement du thyristor et la diode des ventilateurs

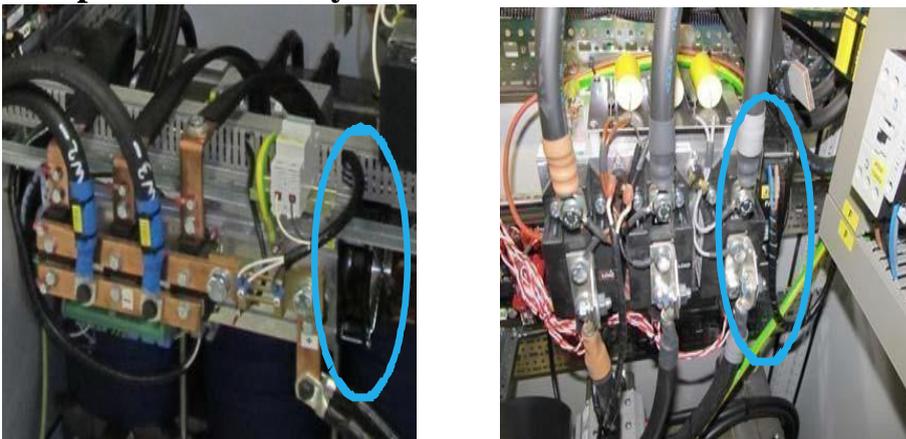


Figure III.18. Diode de la pile (à gauche) et thyristor de la pile (à droite) avec ventilateur. [12]

Chapitre III : La maintenance de la station de production d'hydrogène

- ✓ Arrêtez et isolez toutes les piles de cellules ;
- ✓ Assurez-vous à l'aide d'un multimètre homologué qu'aucune tension ne subsiste sur le SCR et les ventilateurs ;
- ✓ Déconnectez les conducteurs du module du thyristor ;
- ✓ Prenez un nouveau module de thyristor et diode ;
- ✓ Vérifiez le bon fonctionnement ;

19. Contrôle du fonctionnement de l'interrupteur de porte de l'armoire électrique

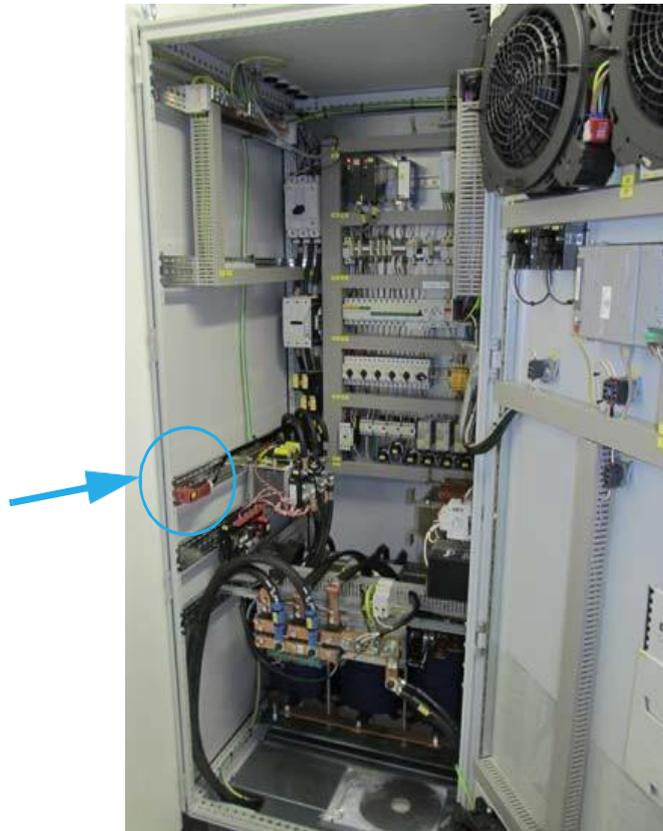


Figure III.19. Contrôle du fonctionnement de l'interrupteur de porte de l'armoire électrique

- ✓ Ouvrez la porte de l'armoire électrique de ± 10 centimètres.
- ✓ Réponse voulue :
 - Le courant CC chute immédiatement à 0 A.
 - Les principaux contacteurs de l'armoire électrique s'ouvrent au bout de 5 secondes environ.
- ✓ Répétez cette séquence jusqu'à ce que tous les contacteurs de porte d'armoire électrique aient été testés [12]

20. Contrôle du fonctionnement de l'interrupteur du ventilateur du procédé

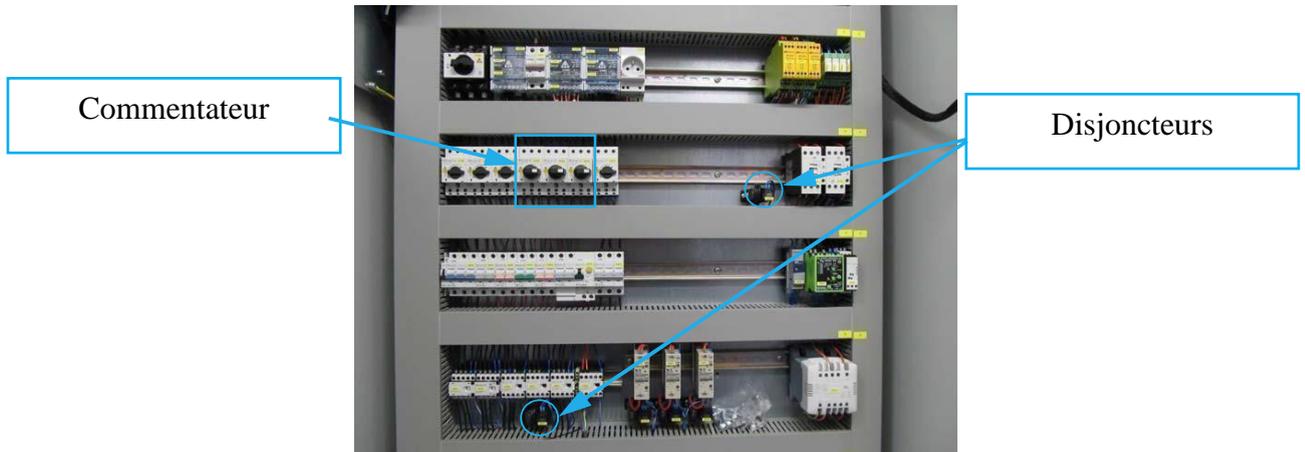


Figure III.20. Contrôle du fonctionnement de l'interrupteur du ventilateur du procédé

- ✓ Vérifiez que toutes les portes du conteneur sont fermées.
- ✓ Mettez le disjoncteur en position OFF de fonctionnement du ventilateur [11].

21. Changement des prises du transformateur dans l'armoire électrique

Les transformateurs de puissance de l'armoire électrique sont équipés de 3 prises primaires et 3 prises secondaires. Cela permet au convertisseur CA/CC de fonctionner de manière optimale indépendamment de la tension du réseau ou de la pile.

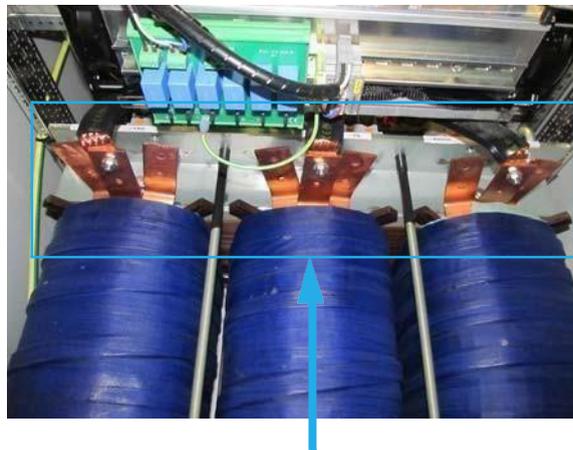


Figure III.21. Changement des prises du transformateur dans l'armoire électrique

- ✓ Vérifiez que le fusible principal alimentant le transformateur du SCR et le pont de diode de chaque pile de cellules, à l'intérieur de l'enceinte de l'EPS, est hors-circuit (« OFF ») ;

Chapitre III : La maintenance de la station de production d'hydrogène

✓ Sachez que le fait d'actionner seulement l'interrupteur principal dans l'enceinte des procédés ne coupe pas nécessairement le circuit 24 V. (Voir les schémas électriques) ;

✓ Vérifiez s'il ne reste pas de tension sur le transformateur (à l'aide d'un multimètre) [12].

Conclusion

Nous avons effectué une étude de l'application de la maintenance préventive et corrective de la station de production de H₂ qui est constituée principalement du corps Hystat et le compresseur, ce qui nous a permis de conclure que les défaillances sont souvent présentées dans le corps Hystat de différents types mécanique, électrique et hydraulique et les solutions sont proposées dans le plan de maintenance

CHAPITR IV:

Application de la méthode AMDEC

Chapitre IV : Application de la méthode AMDEC

1.1. Introduction

Dans le domaine de la maintenance industrielle, maximiser l'efficacité et minimiser les temps d'arrêt sont essentiels. La méthode Pareto, associée à l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC), permet de cibler les causes principales des dysfonctionnements et d'améliorer la fiabilité des systèmes.

Cette étude se concentre sur l'application de ces méthodes à une station de production d'hydrogène, en particulier sur deux sous-systèmes critiques : le compresseur et le refroidisseur (chiller). En analysant les données historiques des pannes et des coûts, nous identifions les points nécessitant une attention prioritaire. L'objectif est de développer un plan de maintenance préventive et corrective pour optimiser la performance et la disponibilité de ces équipements.

Nous présentons d'abord la méthode Pareto et son application pratique, suivie d'une analyse AMDEC approfondie des sous-systèmes prioritaires. Enfin, nous proposons un plan de maintenance détaillé pour le compresseur et le refroidisseur, visant à garantir leur fonctionnement optimal à long terme.

1.2. Généralité sur la méthode Pareto

La loi de Pareto, aussi appelée principe 80/20, est fréquemment utilisée dans le domaine de la maintenance. Dans la maintenance, elle affirme que dans de nombreux cas, environ 80 % des conséquences découlent de 20 % des causes. En d'autres termes, la majorité des incidents de maintenance sont provoqués par un petit nombre de défauts ou de problèmes.

On utilise cette loi afin de mettre en avant les efforts de maintenance en mettant l'accent sur les 20 % de problèmes qui causent 80 % des pannes ou des problèmes. En repérant ces problèmes prioritaires et en les résolvant, les équipes de maintenance peuvent optimiser l'efficacité de leurs interventions et diminuer considérablement les temps d'arrêt. Cela favorise une répartition des ressources plus efficace en se focalisant sur les aspects les plus essentiels de la maintenance.

➤ Principe :

Le diagramme de Pareto est un diagramme en colonnes, exposant et classant par ordre décroissant d'importance, les causes d'un problème (par ex).

La hauteur des colonnes est alors proportionnelle à l'importance de chaque cause, ce diagramme est élaboré en plusieurs étapes :

- Liste des problèmes.
- Quantification de l'importance de chacun.

Chapitre IV : Application de la méthode AMDEC

- Total de la somme et détermination du pourcentage de chacun par rapport à ce total.
- Classement des pourcentages par valeurs décroissantes, la rubrique diverse étant toujours en derrière rang. [14]

➤ La courbe ABC :

Quand a elle découpe la coupe de Pareto en trois segments A, B et C.

- A représente 80% de l'ensemble (zone A représente 80% du critère).
- B représente (90 à 95%) de l'ensemble (zone B représente 15% du critère).
- C Représente (95à 100%) de l'ensemble (zone C représente 5% du critère). [14]

22. Analyse des modes défaillance, de leurs Effets leurs Criticités (AMDEC)

2.1. Définition

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) est une technique d'analyse prévisionnelle de déterminer l'emplacement de la défaillance et la fiabilité, de la maintenabilité et de la sécurité des produits et des équipements.

D'après (AFNOR) L'analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticités (AMDEC) est une méthode inductive permettant pour chaque composant d'un système, de recenser son mode de défaillance et son effet sur le fonctionnement ou sur la sécurité du système.[15]

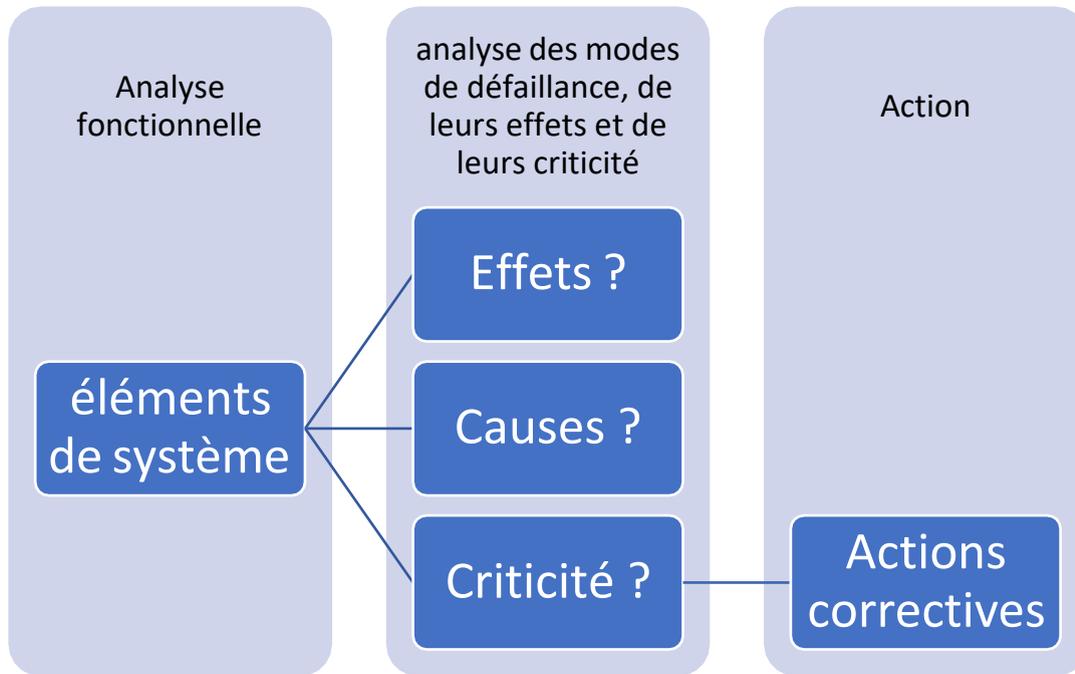
2.2. Principe

Il s'agit d'une analyse critique consistant à identifier de façon inductive et systématique les risques de dysfonctionnement des machines puis à en rechercher les organes et leurs conséquences. Elle permet de mettre en évidence les points critiques et de proposer des actions correctives adaptées.

C'est une technique analyse qui a pour but d'évaluer et de garantir la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité des machines par la maîtrise défaillance. Elle a pour objectif final l'obtention, au meilleur coût, du rendement global maximum des machines de production et des équipements industriels. [16]

2.3. La démarche AMDEC (Fig1)

La démarche de l'AMDEC [17]



2.4. Types d'AMDEC

Il existe trois types d'AMDEC suivant que le système analysé est :

- Le produit fabriqué par l'entreprise
- Le processus de fabrication du produit de l'entreprise ;
- Le moyen de production intervenant dans la production du produit de l'entreprise. [18]

2.5. Caractéristiques essentielles de l'AMDEC

L'AMDEC est une méthode d'analyse inductive, exhaustive et rigoureuse qui permet une Recherche systématique :

Des **mod**es de défaillance d'un moyen de production.

Des **causes** de défaillance générant les modes de défaillance, ces causes peuvent se situer au niveau des composants du moyen de production où être dues à des sollicitations extérieures.

Des **conséquences** des défaillances sur le moyen de production, sur son environnement, sur le produit ou sur l'homme.

Des **moyens** de détection pour la prévention et/ou la correction des défaillances. [19]

2.6. Buts de l'AMDEC

L'AMDEC doit analyser la conception du moyen de production pour préparer son exploitation, afin qu'il soit fiable et maintenable dans son environnement opérationnel. Pour parvenir à ce but, le propriétaire de l'installation exige :

- Qu'elle soit intrinsèquement fiable ;
- De disposer des pièces de rechange et des outillages adaptés ;
- De disposer des procédures ou aides minimisant les temps d'immobilisation du moyen par la diminution du temps d'intervention (diagnostic, réparation ou échange et remise en service)
- Que les personnels (d'exploitation et de maintenance) soient formés ;
- Qu'une maintenance préventive adaptée soit réalisée, afin de réduire la probabilité d'apparition de la panne.
- L'AMDEC va permettre d'atteindre ces objectifs en traitant systématiquement les paramètres suivants :
 - **Recensement et définition des fonctions :**
 - Du moyen de production ;
 - Des sous-systèmes ;
 - Des composants.
 - **Analyse des défaillances par :**
 - Le recensement des modes de défaillance
 - L'identification des causes de défaillance ;
 - L'évaluation des risques ;
 - La recherche des modes de détection.
 - Hiérarchisation des défaillances avec la cotation de la criticité qui va permettre d'estimer,
 - **Pour chaque défaillance, trois critères de définition :**
 - La fréquence d'apparition de la défaillance (indice F) ;
 - La gravité des conséquences que la défaillance génère (indice G) ;
 - La non-détection de l'apparition de la défaillance, avant que cette dernière ne produise les conséquences non désirées (indice D).

Chapitre IV : Application de la méthode AMDEC

➤ **Indice criticité ou de sévérité :**

Les indices de fréquences, gravité et détection peuvent être utilisés seuls ou en même temps pour établir l'indice de criticité $C=F \cdot G \cdot D$ qui permettra de hiérarchiser les défaillances et de recenser celles dont le niveau de criticité est supérieur à une limite constante et caractéristique du dispositif considéré.

Il peut être contractuellement imposé. Le seuil de criticité varie en fonction des objectifs de fiabilité ou des technologies traitées.

Dès lors que l'indice de criticité dépasse le seuil prédéfini, la défaillance analysée fera l'objet d'une action corrective.

De la même manière, des actions correctives sont engagées si les indices G ou F sont supérieurs ou égaux à la valeur 4 et ce même si l'indice de criticité n'atteint pas le seuil fixé.

Les tables d'évaluation de la criticité présentées dans les tableaux 1, 2 et 3.

➤ **La fréquence (Tab1) :**

La fréquence et la probabilité de la défaillance doit être estimée soit à l'aide du retour d'expérience provenant d'industries similaires ou par jugement d'expert, suivant les secteurs industriels des échelles de fréquence comportant de 5 à plus de 10 niveaux à valeur numériques ou symboliques ont été établis, en générale pour un indice numérique, on le note F (tableau1)

Tableau IV.1. Indice de Fréquence F

Valeurs de F	Fréquence d'apparition de la défaillance
1	Défaillance pratiquement inexistante sur des installations similaires en exploitation, au pl sur la durée de vie de l'installation.
2	Défaillance rarement apparue sur du matériel similaire existant en exploitation (exemple : un défaut par an) ou Composant d'une technologie nouvelle pour lequel toutes les conditions sont théoriquement réunies pour prévenir la défaillance, mais il n'y a pas d'expérience sur du matériel similaire.
3	Défaillance occasionnellement apparue sur du matériel similaire existant en exploitation (exemple : un défaut par trimestre)
4	Défaillance fréquemment apparue sur un composant connu ou sur du matériel similaire existant en exploitation (exemple : un défaut par mois) ou Composant d'une technologie nouvelle pour lequel toutes les conditions ne sont pas réunies pour prévenir la défaillance, et il n'y a pas d'expérience sur du matériel similaire.

Chapitre IV : Application de la méthode AMDEC

➤ La gravité (Tab2) :

La gravité des conséquences de la défaillance est souvent évaluée à l'aide d'un indice de gravité également spécifique à chaque secteur industriel pour la maintenance basée sur la fiabilité, il sert

Tableau IV.2. Indices de Gravité [20]

Valeurs de G	Gravité de la défaillance
1	Défaillance mineure : aucune dégradation notable du matériel (exemple : TI 10 min).
2	Défaillance moyenne nécessitant une remise en état de courte durée (exemple 10 min < TI 30 min).
3	Défaillance majeure nécessitant une intervention de longue durée (exemple 30 min < TI 90 min) Ou Non-conformité du produit, constatée et corrigée par l'utilisateur du moyen de production
4	Défaillance catastrophique très critique nécessitant une grande intervention (exemple TI > 90 min) Ou Non-conformité du produit, constatée par un client aval (interne à l'entreprise) ou Dommage matériel important (sécurité des biens)

➤ Indice de détection (Tab3) :

L'indice de détection D est un jugement qualitatif destiné à quantifier la probabilité que la défaillance soit détectée par l'utilisateur final

Tableau IV.3. Indice de Non-détection de la défaillance [20]

Valeurs de D	Non-détection de la défaillance (1)
1	Les dispositions prises assurent une détection totale de la cause initiale ou du mode de défaillance, permettant ainsi d'éviter l'effet le plus grave provoqué par la défaillance pendant la production.
2	Il existe un signe avant-coureur de la défaillance mais il y a risque que ce signe ne soit pas perçu par l'opérateur. La détection est exploitable .
3	La cause et/ou le mode de défaillance sont difficilement décelables ou les éléments de détection sont peu exploitables. La détection est faible .
4	Rien ne permet de détecter la défaillance avant que l'effet ne se produise : il s'agit du cas sans détection .
(1) Signes avant-coureurs : bruit, vibration, accélération, jeu anormal, échauffement, visuel...	

Chapitre IV : Application de la méthode AMDEC

➤ Présentation des résultats d'AMDEC :

A la fin d'une analyse par la méthode AMDEC les résultats obtenus sont présentés sous forme de tableau à colonnes (tableau 4).

Tableau IV.4. Contenu d'un tableau d'AMDEC [20]

AMDEC	ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE						AMDEC MACHINE			
	SYSTEME.....		PHASE DE FONCTIONNEMENT:		DATE DE L'ANALYSE :		PAGE			
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	N	C	

2.7. Les avantages de la méthode AMDEC

L'AMDEC est une méthode simple et facile accessible et applicable, elle offre une analyse systématique et un maximum de garantie d'exhaustivité.

3. Partie application

3.1. Analyse statistique de différentes pannes de la station hydrogène

Le tableau ci-dessous résume l'historique de notre installation et présente différents temps d'arrêt ainsi que le nombre d'interventions effectuées sur les différents sous-systèmes pendant la moyenne d'une année :

Tableau IV.5. Tableau de Répartition des Temps d'Arrêt et des Coûts Cumulés par Organe

Organe	Temps d'arrêt (h)	Temps cumul	Percentage des temps cumulus
Compressor	270	270	45.92 %
ROFROIDISSEUR	155	425	72.28 %
GGs	60	485	82.48 %
HPS	30	515	87.59 %
OTH	25	540	91.84 %
VENTILATEUR EXTRATION SALLE DE MACHINE	23	563	95.75 %
DETECTEUR H2 DANS LAIR	15	578	98.30 %
HTO	10	588	100.00 %

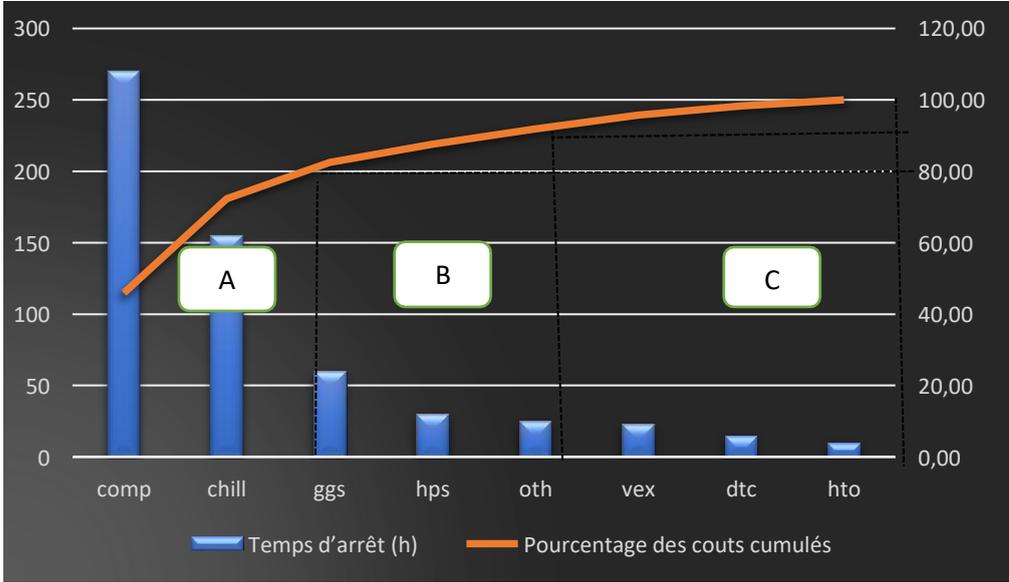


Figure IV.1. Analyse des temps cumulés en fonction du temps d'arrêt

D'après l'analyse précédent en constate que le compresseur et le refroidisseur sont les organes les plus défaillants et qui nécessitent une analyse approfondies par la méthode AMDEC .

Chapitre IV : Application de la méthode AMDEC

3.2. Etude AMDEC

3.2.1. Compresseur :

ANALYSE DES MODE DE DEFAILLANCE. DE LEURS EFFETS DE LEUR CRITICITE							AMDEC moyen				
Système ; station de production hydrogène							Criticité				Action corrective
Sous système : compresseur à piston double effet							F	G	D	C	
	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Mode détection	F	G	D	C	
1	Échangeur de chaleur à l'huile-eau)	Transférer la chaleur de l'huile à l'eau de refroidissement	Encrassement-percement	Accumulation de salés et de débris dans l'échangeur -vieillessement de métal	Diminution de l'efficacité du refroidissement de l'huile -Température élever	Surveillance température, inspection visuelle régulière.	1	2	1	2	Mettre en place un programme de nettoyage et de détartrage périodique.

Chapitre IV : Application de la méthode AMDEC

					-Mélange l'huile eau -mauvaise viscosité						
2	Soupape de décharge	Libérer l'excès de pression dans le système lorsqu'elle dépasse un seuil critique	-Fuite	-Usure des joints ou mauvais étalonnage	-permissif de démarrage non accompli	Surveillance pression système, inspection visuelle régulière.	2	3	3	18	Établir un programme de remplacement systématique des joints et des composants critiques, ainsi que des tests de pression réguliers.
3	Pompe hydraulique	Générer le débit d'huile	-Usure des joints -Surchauffe -endommagement des	-fuite d'huile -Bruit anormale -Surcharge	-Fuite d'huile ou perte de pression -Arrêt de système	-Surveillance fuites (bruite) -capture pression débit	3	3	3	27	-Changement des joints -Changement des roulements -Graissage systématique -Changements de moteur

Chapitre IV : Application de la méthode AMDEC

			roulements de palier			-suivi consommation d'Energie de moteur						-Rebobinage de moteur
4	Filtre à l'huile	Filtrer les impuretés de l'huile	-Colmatage	Accumulation de débris ou de contaminants dans le filtre	Diminution de la circulation de l'huile	-Inspection visuelle,	2	2	1	4		Mettre en place un calendrier strict de remplacement des filtres et effectuer des analyses régulières de l'huile pour détecter les contaminants.
5	Réservoir d'huile	Stocker l'huile du système	-Fuite	Corrosion, fissures ou joints défectueux	Risque de perte d'huile et de lubrification insuffisant	Surveillance fuites huile, inspection visuelle	1	3	2	6		Utiliser des matériaux résistants à la corrosion pour les joints et les réservoirs, et mettre en place un programme de surveillance continue par capteurs.
6	Transducteur de position	Mesurer la position des composants	Dysfonctionnement	Problème électronique	Erreur de positionnement	Tests électriques, surveillance	1	2	3	6		Mettre en place des routines de calibration régulière et des tests automatisés pour vérifier la précision des transducteurs.

Chapitre IV : Application de la méthode AMDEC

						signaux position.					
7	Carte de commande d'inversion	Contrôler l'inversion du compresseur	Panne	-Surcharge électrique	-Arrêt du compresseur	Vérification fonctionnement, tests logiciels.	1	3	3	9	Mettre en place des protections contre les surtensions et effectuer des mises à jour logicielles régulières pour prévenir les pannes.
8	Etendeur de gaz	Assure la pression de gaz dans l'entrée de compresseur	Alarme haute/bas pression entre compresseur	-Mauvaise ajustement -Défaillance de détendeur	-Arrêt de compresseur	-Pression entre compresseur	3	3	3	27	-Etalonnage détendeur -Changement d'entendeur

Chapitre IV : Application de la méthode AMDEC

3.2.2. Refroidisseur (chiller) :

ANALYSE DES MODE DE DEFAILLANCE. DE LEURS EFFETS DE LEUR CRITICITE							AMDEC moyen				
Système ; station de production hydrogène Sous système : ROFROIDISSEUR							Criticité				
	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Mode détection	F	G	D	C	Action corrective
1	Filtre d'eau	Filtrer les impuretés de l'eau	-Colmatage	-Encrassement	Réduction du débit d'eau	-Surveillance du débit d'eau et manomètre	1	2	1	2	Changement de filtre

Chapitre IV : Application de la méthode AMDEC

2	Bâche d'eau	Stocker l'eau du système	-Fuite	-Corrosion - usure	Perte d'eau	-visuelle -détection de fuite par capteurs	1	3	2	6	Inspection et réparation semestriellement
3	Pompe de circulation d'eau	Faire circuler l'eau dans le circuit de refroidissement	-Débit insuffisant	-Usure -fuite	Surchauffe	-Surveillance du débit -capteurs de température	3	3	2	18	Vérification des joints mensuellement
4	Échangeur (gaz-eau)	Transférer la chaleur entre gaz et eau	-Baisse de performance	-Encrassement -fuite	Surchauffe ou refroidissement	-Surveillance de la température et de la pression	1	3	3	9	Nettoyage régulier trimestriellement
5	Bâche à gaz	Stocker le gaz du système	-Fuite	-Corrosion -usure	Perte de gaz, baisse de pression	-Capteurs de pression -DéTECTEURS de gaz	1	2	2	4	Inspection et réparation annuellement

Chapitre IV : Application de la méthode AMDEC

6	Échangeur air-gaz	Transférer la chaleur entre l'air et le gaz	-Baisse de performance	Encrassement-fuite	Perte d'efficacité du refroidissement	-Surveillance de la température - inspection visuelle	2	3	3	18	Nettoyage régulier trimestriellement
7	Ventilateur	Faire circuler l'air pour le refroidissement de gaz	Dysfonctionnement	-Endommagement de roulement -Défaut électrique	Surchauffe du système	-Surveillance acoustique -inspection visuelle	2	2	2	8	Inspection et nettoyage trimestriellement
8	Compresseur de gaz	Comprimer le gaz pour le cycle de réfrigération	Mauvais fonctionnement	-Usure mécanique -surcharge électrique	-Perte d'efficacité -arrêt	-Capteurs de pression et de température -surveillance du bruit	2	4	2	16	Nettoyer les surfaces externes pour éliminer la poussière et les débris.

Chapitre IV : Application de la méthode AMDEC

3.2 Solutions proposées :

Une réévaluation de la criticité à été proposée avec des solutions correctives touchant à la gravité, La détectabilité et la probabilité afin de diminuer la criticité de chaque risque ci-dessous le tableau de recalcul de la criticité.

Système 1 : compresseur a piston double effet												
Elément	Fonction	Mode de Défaillance	Criticité				Actions correctives	Nouvelle Criticité				
			F	G	D	C		F'	G'	D'	C'	
1	Soupape de décharge	Libérer l'excès de pression dans le système lorsqu'elle dépasse un seuil critique	-Fuite	2	3	3	18	Établir un programme de remplacement systématique des joints et des composants critiques, ainsi que des tests de pression réguliers	2	2	2	8
2	Pompe hydraulique	Générer le débit d'huile	Surchauffe des moteur	3	3	3	27	-Vérifier les connexions électriques et les câbles pour des signes de surchauffe ou de corrosion.	2	3	1	6

Chapitre IV : Application de la méthode AMDEC

								-Lubrifier les paliers du moteur selon les recommandations du fabricant. -Mesurer les vibrations et les bruits pour détecter des anomalies.				
3	Etendeur de gaz	Assure la pression de gaz dans l'entrée de compresseur	Alarme haute/bas pression entre compresseur	3	3	3	27	-Etalonnage détendeur -Changement d'entendeur				
Système 2 : ROFROIDISSEUR												
Elément	Fonction	Mode de Défaillance	Criticité				Actions correctives	Actions correctives				
			F	G	D	C		F'	G'	D'	C'	
1	Pompe de circulation d'eau	Faire circuler l'eau dans le système	Débit insuffisant	3	3	2	18	-Vérifier les niveaux de lubrifiant et ajouter si nécessaire.	2	2	2	8

Chapitre IV : Application de la méthode AMDEC

								<ul style="list-style-type: none"> -Inspecter les joints d'étanchéité et remplacer si nécessaire. -Vérifier les vibrations et les bruits anormaux. -Mesurer la pression en ajoutons un débitmètre 				
2	Échangeur air-gaz	Transférer la chaleur entre l'air et le gaz	Baisse de performance	2	3	3	18	<ul style="list-style-type: none"> -Nettoyer les surfaces de transfert de chaleur pour éliminer les dépôts. -Inspecter les joints et les connexions pour des fuites. -Vérifier la performance thermique et les comparer avec les spécifications de conception. -Effectuer des tests de pression pour détecter les fuites internes 	2	2	1	4

Chapitre IV : Application de la méthode AMDEC

3	Compresseur de gaz	Comprimer le gaz pour le cycle de réfrigération	Mauvais fonctionnement	2	4	2	16	-effecteur de teste de pression gaz périodique -Inspection de câblage périodique -Nettoyage instruments (capteur de pression capteur de température)	2	1	2	4
---	--------------------	---	------------------------	---	---	---	----	--	---	---	---	---

Chapitre IV :Application de la méthode AMDEC

Conclusion

L'objectif principal de ce chapitre préventive et curative du compresseur et refroidisseur, nous avons effectué une analyse critique de l'état actuel de la station de production d'hydrogène par la méthode AMDEC, puis un classement basé sur la criticité des éléments qui sont analysés est réalisé et Seuls les éléments les plus critiques étant suivi par des actions de maintenances préventive et on propose une gamme d'entretien pour augmenter la dure de vie les nombres des pannes.

Après l'application de la méthode AMDEC sur le compresseur et refroidisseur, nous avons constaté que les pannes les critiques sont au niveau de : (Soupape de décharge, Pompe hydraulique), (Pompe de circulation d'eau, Échangeur air-gaz, Compresseur de gaz)

Pour augmenter la durée de vie du la station de production d'hydrogène et minimiser les pannes répétitives, nous avons proposé une maintenance préventive et corrective.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Conclusion générale

Les applications de l'hydrogène (H₂) sont nombreuses et variées. Outre sa production, il sert de source d'énergie pour les piles à hydrogène qui alimentent divers types de véhicules, tels que les voitures, les bus, les avions, les vélos et les bateaux. Il est également utilisé comme gaz pour alimenter les chaudières à hydrogène, dans l'industrie alimentaire et dans d'autres secteurs comme l'aérospatiale (carburant pour fusées), la dépollution des sables bitumineux, le traitement des combustibles fossiles (hydrocraquage) et la production d'ammoniac, principalement destiné au marché des fertilisants.

Dans notre étude, nous nous intéressons à l'étude AMDEC et à l'utilisation de l'hydrogène dans une centrale thermique à cycle combiné. Une présentation détaillée de la centrale à cycle combiné de Ras-Djinet, ainsi que de ses différents équipements, explique son principe de fonctionnement et permet de mieux comprendre les phénomènes qui se produisent lors de la production d'hydrogène.

Une étude technique de la station de production d'hydrogène est indispensable pour résoudre le problème de notre étude, et cela est bien détaillé dans ce chapitre qui décrit la station, son principe de fonctionnement et les différentes composantes qui se répartissent en trois parties essentielles : électrique, mécanique et hydraulique.

Nous avons réalisé une étude portant sur l'application de la maintenance préventive et corrective de la station de production de H₂, principalement composée du corps Hystat et du compresseur. Cette étude nous a permis de constater que les défaillances se manifestent fréquemment dans le compresseur et les refroidisseurs sous différentes formes mécaniques, électriques et hydrauliques. Les solutions correspondantes sont obtenues dans le dernier chapitre.

Nous avons appliqué la méthode de Pareto qui permet de déterminer les éléments les plus défaillants de la station de production d'hydrogène. Cette approche repose sur l'étude statistique comparatif entre plusieurs éléments selon les temps d'arrêt. Après avoir sélectionné les éléments les plus défaillants on a établi une étude AMDEC sur ces derniers en concluant leur niveau de criticité ensuite appliquer les procédures convenables pour minimiser la criticité.

Reference Bibliographique :

- [1] Deriche rayane – aissi assia, «analyse énergétique et élaboration d'un programme de processus de production del'hydrogene a cyclecombine a cap-djinet», mémoire master de département génie mécaniqueboumerdes ,2021/2022.
- [2] Documentation de la nouvelle centrale ras-djenet société RDJ GM 580 211 rev.01_fr
- [3] : http://voltaweb.elec.free.fr/racinoux/alternat/alter_froid.htm, vu le18/03/2024 à 10h.
- [4] Hemmami zineb, thèse « amélioration du refroidissement par film parmodification de la géométrie de l'aube de turbine a gaz », université oran 2.
- [5] Viseur, mathieu, « etude de faisabilité de l'utilisation de l'hydrogène comme vecteur alternatif d'énergie », master en sciences et gestion de l'environnement, université libre de bruxelles, 2007/2008
- [6] M. M'chid hedjala smail, « etude d'un système de production d'hydrogène pour le refroidissement d'un alternateur d'une centrale électrique», thèse fin d'étude magister, 2019/2020.
- [7] Deriche rayane – aissi assia, «analyse energetique et elaboration d'un programme de processus de production del'hydrogene a cycle combine a cap-djinet», mémoire master de département génie mécaniqueboumerdes ,2021/2022
- [8] RDJ GM 580211 rev.01_fr.pdf : manuel d'utilisation et d'entretien pour station
- [9] M. M'chid hedjala smail, « etude d'un système de production d'hydrogène pour le refroidissement d'un alternateur d'une centrale électrique», thèse fin d'étude magister, 2019/2020.
- [10] <https://www.jalonzeolite.com/fr/product-item/molecular-sievej1ph5/>
- [11] Document de société (sonalgaz) rddp-v-00mkg-1-92-001-09/10/2017
- [12] Document de société RDJ GM 580 211 rev.01_fr
- [13] Technique de l'ingénieur (documents sonalgaz).
- [14] Livre « la fiabilité industrielle » de patrick lyonnet, 176 pages, disponible sur : <https://www.eyrolles.com/entreprise/livre/fiabilite-industrielle-9782124655335/04/2016>.
- [15] (titre : application de la méthode amdec sur une machine clé en service par : belaid, okba kadri, mohammed laakhdar guebailia, moussa)
- [16] (application de l'a.m.d.e.c aux deux broyeurs (à boulet et a galets) de lafargem'sila par essaide arbiha en 2016 / 2017)
- [17] Didi, o. E, elbarmaki, o, elnairi, s, & a.amkassou, y. Gestion de production industrielle méthode amdec en 2012-2013.
- [18] Kélada, j. L'amdec (integrating reengineering with total quality). École des hautes études commerciales centre d'études en qualité totale. Récupéré sur <http://neumann.hec.ca/sites/cours/6-510-96/amdec.pdf> / en 1994.
- [19] Optimisation de la fonction maintenance par la methodeamdec par abdi, adil en 2013
- [20] (analyse des risques liés à l'opération de forage par la méthode amdec par hamouda mounir / benha nia fatah en 2007/2008)
- [21] Monchy, f. Maintenance méthodes et organisations (2e édition). Paris : dunod(2003).

[22] . Lyons, m., adams, s., woloshnowych, m., vincent, c., 2004, human reliability analysis in healthcare: a review of techniques, international journal of risk & safety in medicine, vol.16, pp. 223–237.

[23] Dr. Hakim SIGUERDJIDJENE, Gestion de la maintenance et de production, Université M'Hamed Bougara, FT, Boumerdes UMBB 2023.