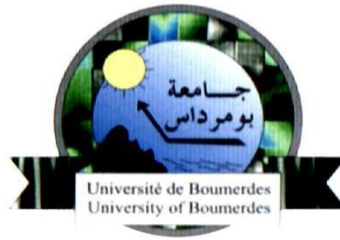


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté de Technologie  
Département Génie Mécanique

## Mémoire de Master

Filière : Electromécanique  
Spécialité : Electromécanique

### THEME

**Automatisation et maintenance de la station de  
production d'hydrogène de la nouvelle centrale à cycle  
combiné Cap Djenet**

Présenté par :

MOKRANI Walid

BOUELHOUADJEB Brahim

Promotrice :

M<sup>me</sup>. BAHLOUL.H

Promotion 2022- 2023

## Résumé :

L'hydrogène (H<sub>2</sub>) offre de nombreuses applications, notamment dans les piles à hydrogène pour alimenter différents types de véhicules, les chaudières à hydrogène, l'industrie alimentaire et d'autres secteurs tels que l'aérospatiale, la dépollution et la production d'ammoniac. Notre étude se concentre sur la production et l'utilisation de l'hydrogène dans une centrale thermique à cycle combiné. Nous fournissons une présentation détaillée de la centrale et de ses équipements, ainsi qu'une description approfondie du processus de production de l'hydrogène en utilisant l'électrolyse de l'eau. Une étude technique de la station de production d'hydrogène est essentielle pour résoudre les problématiques abordées, et nous avons également automatisé par l'élaboration d'un programme de ce processus le fonctionnement en utilisant le logiciel STEP 7 , de même nous avons effectué une étude de la maintenance préventive et corrective de la station de production de H<sub>2</sub> qui est constitué du Hystat et compresseur.

Mots clés : électrolyse, automatisé, maintenance, station de production de H<sub>2</sub>, Hystat, compresseur

## ABSTARCT:

Hydrogen (H<sub>2</sub>) has many applications, including hydrogen fuel cells for different types of vehicles, hydrogen boilers, the food industry and other sectors such as aerospace, pollution control and ammonia production. Our study focuses on the production and use of hydrogen in a combined-cycle thermal power plant. We provide a detailed presentation of the plant and its equipment, as well as a detailed description of the hydrogen production process using water electrolysis. A technical study of the hydrogen production station is essential to solve the problems addressed, and we have also automated by the development of a program of this process the operation using the software STEP 7, We also carried out a study of the preventive and corrective maintenance of the H<sub>2</sub> production station which consists of the Hystat and compressor

Keys-words :electrolysis, automated, maintenance, H<sub>2</sub> production station, Hystat, compressor

ملخص:

للهدروجين العديد من التطبيقات، بما في ذلك خلايا وقود الهدروجين لأنواع مختلفة من المركبات وغلابات الهدروجين وصناعة الأغذية وقطاعات أخرى مثل الفضاء الجوي ومكافحة التلوث وإنتاج الأمونيا. تركز دراستنا على إنتاج واستخدام الهدروجين في محطة طاقة حرارية مدمجة الدورة. نقدم عرضاً تفصيلياً للمنشأة ومعداتنا، بالإضافة إلى وصف مفصل لعملية إنتاج الهدروجين باستخدام التحليل الكهربائي للماء. إجراء دراسة تقنية لمحطة إنتاج الهدروجين أمر ضروري لحل المشاكل التي تمت معالجتها، وقد قمنا أيضا بالآتمة من خلال وضع برنامج لهذه العملية التشغيل باستخدام البرنامج ستاب7، أجرينا أيضاً. دراسة للصيانة الوقائية والتصحيحية لمحطة إنتاج هيدروجين التي تتكون من الهيستات والضاغط.

الكلمات المفتاحية: التحليل كهربائي للماء، آلي، الصيانة، محطة إنتاج الهدروجين، الضاغط

# Remerciements

Tout d'abord, nous remercions **DIEU** le tout puissant de nous avoir donné le *Courage* et la *patience* durant toutes ces années d'études, et que grâce à lui ce Travail a pu être réalisé.

On tient à remercier vivement les membres de nos familles qui nous ont toujours encouragée et soutenue.

Ensuite, nous voulons exprimer nos remerciements à notre promotrice Mme **BAHLOUL HASSIBA** pour son encadrement efficace, son soutien et son disponibilité. Qu'il trouve ici l'expression de notre profonde gratitude.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadreur **Mr. MASSIH EDDINE FARID**, pour nous avoir permis de réaliser notre mémoire et d'effectuer notre stage pratique au sein de la nouvelle centrale de **RAS-DJINET** et grâce à qui nous avons approfondi nos connaissances dans ce domaine.

Nous tenons aussi à remercier les membres du jury d'avoir accepté de juger notre travail. En fin un grand *Merci* à toutes personnes ayant contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce modeste travail.

# Dédicaces



*Avec l'aide du Dieu que j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie ;*

*A mon très cher père, qui m'a enseigné l'exemple dans la vie*

*A ma très chère mère pour tout l'amour, sa tendresse et ses sages conseils qu'elle n'a pas cessé de me les donner, que dieu me la garde*

*A mon frère et ma sœur*

*A mes cousins et mes cousines*

*A Tout mes amis et tous les étudiants en électromécanique*

*A tous ceux que j'ai connu mais je n'ai pas cité*

**MOKRANI WALID**



# Dédicaces



*Avec l'aide du Dieu que j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie ;*

*A mon très cher père, qui m'a enseigné l'exemple dans la vie*

*A ma très chère mère pour tout l'amour, sa tendresse et ses sages conseils qu'elle n'a pas cessé de me les donner, que dieu me la garde*

*A mon frère et mes sœurs*

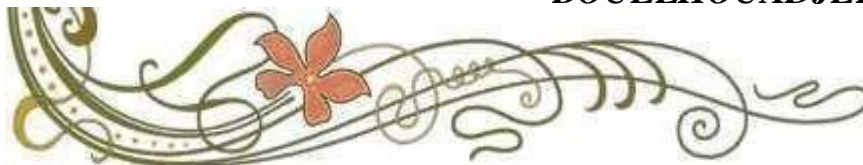
*A mes oncles et mes tantes*

*A mes cousins et mes cousines*

*A Tout mes amis et tous les étudiants en électromécanique*

*A tous ceux que j'ai connu mais je n'ai pas cité*

**BOUELHOUDJEB BRAHIM**



# Table des matières

## Chapitre I: Présentation de la nouvelle centrale à cycle combiné

1	Introduction :	1
2	Historique du cycle combiné :	2
3	La centrale à cycle combiné de la production de l'électricité :	3
4	Eléments de base de cycle combiné :	5
4.1	Turbine à gaz :	5
4.2	Chaudière de récupération (HRSG) :	6
4.3	Turbine à vapeur :	8
4.4	Générateur :	8
4.4.1	Réfrigération de générateur	9
4.4.2	L'étanchéité	10
5	Les fonctionnements d'Eléments de base de cycle combiné :	11
5.1	Fonctionnement de la turbine à gaz en mode cycle combiné :	11
5.2	Fonctionnement de la chaudière de récupération (générateur de vapeur) (HRSG) :	12
5.3	Fonctionnement de la turbine à vapeur en mode cycle combiné :	12
6	Le fonctionnement des autres composantes mécaniques du cycle combiné :	13
6.2	Fonctionnement du système air comprimé-compresseur	13
6.3	Fonctionnement des pompes d'alimentation en eau de la chaudière	13
6.4	Fonctionnement des pompes d'extraction de condensat	13
6.5	Fonctionnement du condenseur	14
6.6	Fonctionnement de Gland Stream Condenseur	14
6.7	Fonctionnement d'éjection d'air à jet de vapeur	14
6.8	Fonctionnement de la chaudière auxiliaire	14
6.9	Fonctionnement des pompes de circulation d'eau (CW)	14
6.10	Fonctionnement des pompes d'alimentation pour installation de dessalement	15
6.11	Fonctionnement des pompes d'eau de refroidissement déminéralisée	15
6.12	Fonctionnement des échangeurs de chaleur (type à plaques)	15
6.13	Fonctionnement des réservoirs de stockage de mazout	15
6.14	La fonction du réservoir de stockage d'eau déminée	15
6.15	Fonctionnement des réservoirs de stockage d'eau dessalée	15
7	Salle de commande :	16
8	Principe de production électricité au niveau de la centrale à cycle combiné :	17
9	Conclusion :	17

## **Chapitre II : La production de l'hydrogène**

1. Généralités sur hydrogène .....	18
1.1. Introduction : .....	18
1.2 Propriétés de l'hydrogène.....	19
2 Production de l'hydrogène : .....	23
2.1 Production de l'hydrogène par électrolyse de l'eau :.....	23
2.1.1.Aspects théoriques de l'électrolyse de l'eau .....	24
2.2. Matériaux.....	28
2.2.1. Matériaux de structure.....	28
2.2.2. Cathodes.....	28
2.2.3. Anodes.....	30
2.2.4. Diaphragmes .....	30
2.3. Conception de appareils industriels .....	31
2.3.1 Structures monopolaire et bipolaire .....	31
2.3.2 Contrôle des températures et des concentrations .....	33
2.3.3 Appareils fonctionnant à pression atmosphérique.....	33
2.3.4 Évolution de la technologie.....	34
3. Conclusion : .....	35

## **Chapitre III : Étude technique de la station de l'H<sub>2</sub>**

1 Introduction.....	36
2 Présentation du système L'unité .....	36
3 Principaux composants .....	37
3.1. Châssis mobile de procédé .....	38
3.2. Sécheur Deoxo .....	44
3.3. Mesure de pureté en ligne (OLP) avec logique de purge .....	45
3.4. Système de refroidissement : .....	46
3.4.1. Refroidisseurs pour le refroidissement des gaz .....	46
3.4.1. Refroidisseurs pour le refroidissement de l'électrolyte et compresseur .....	47
3.5. Réservoir tampon : .....	48
3.6. Compresseur : .....	49
3.7. Poste de remplissage des bouteilles d'hydrogène : .....	50
3.8. Pompe à vide : .....	51
3.9. Armoire électrique de l'EPS :.....	52
3.10. Tableau de commande (CP) : .....	53

3.11. Tableau principal (MP) et tableau de commande du compresseur .....	54
3.12. Centre de commande du moteur(MCC).....	55
4. Les schéma électrique .....	56
5.Conclusion : .....	58

## **Chapitre IV : Automatisation de station de production de l'hydrogène**

1. Introduction.....	59
2. Généralité sur les automates programmable industriel (API) : .....	59
2.1.Définition.....	59
2.2 Types d'automates.....	59
2.3 Mode de fonctionnement : .....	60
2.4 Structure de API .....	61
2.5 Les avantages et les inconvénients : .....	64
2.6 Choix des API : .....	65
2.7 Câblage de API .....	65
3. Le logiciel step7 .....	66
3.1. Définition.....	66
3.2 Les langages de programmation : .....	66
3.3 Structure du programme : .....	67
4. Examin de condition de démarrage.....	68
5 VISUALISATION DE L'IHM .....	68
5.1 Généralités .....	68
5.2 Visualisations de l'écran Principal.....	69
5.3 Écran GGS1. ....	70
5.3.1 Écrans des conditions de démarrage de l'électrolyseur .....	71
5.4 Écrans Utilitaires .....	72
5.1. écran de refroidissement en boucle fermée.....	72
5.4.2 Écran Calcul de remplissage.....	73
5.5 Écran HPS .....	73
5.5.1 Écran Purge à l'azote du HPS.....	75
5.6 Écrans d'informations .....	75
5.6.1 Écran Événements .....	76
6 Création d'un nouveau projet : .....	77
7 Visitation de programme.....	81
7.1 Bloc d'organisation : .....	81
7.2 Bloc de sécheur H2(FC200) : .....	82
7.3. Bloc de électrolyseur.....	83



8	. Conclusion .....	84
---	--------------------	----

## **Chapitre V : La maintenance de la station de production de l'H<sub>2</sub>**

1.	Généralités sur la maintenance : .....	85
1.2.	Evolution de la maintenance : .....	85
1.3.	Les objectifs de la maintenance .....	85
1.4.	les types de la maintenance.....	86
1.4.	Les Types de maintenance : .....	88
1.4.1.	Maintenance préventive.....	88
1.4.1.1.	Maintenance préventive systématique.....	88
1.4.1.2.	Maintenance préventive conditionnelle .....	88
1.4.1.3.	Maintenance préventive prévisionnelle .....	89
1.4.2.	Maintenance corrective.....	89
1.4.2.1	.Maintenance curative .....	89
1.4.2.2.	Maintenance palliative .....	89
1.5.	Les niveaux de maintenance .....	90
2.	Maintenance du compresseur : .....	91
2.1.	Calendrier de maintenance : .....	91
2.2.	Maintenance de l'armoire électrique.....	92
3.	Maintenance du hystat .....	93
3.1.	Calendrier de maintenance : .....	94
3.2.	MAINTENANCE CORRECTIVE DE HYZTAT.....	96
3.3.	Maintenance de la pile : .....	96
3.4.	Maintenance de sécheur :.....	98
3.5.	Armoire électrique : .....	102
4.	Conclusion : .....	106

## LISTES DES FIGURES

Figure I.1: la centrale électrique à cycle combiné de CAP-DJINET .....	1
Figure I.2 : Vue de la centrale Thermique de CAP-DJINET .....	2
FigureI.3 : Station thermique de la nouvelle centrale de CAP-DJINET .....	3
FigureI.4 : Vue en section d'un cycle combiné.....	4
Figure I.5 : Cycle de fonctionnement de la nouvelle centrale (cycle combiné) de CAP-DJINET .....	5
Figure I.6 : Eléments de base de cycle combiné .....	5
Figure I.7 : Composants de la turbine à gaz.....	6
Figure I.8 : Composants de la chaudière de récupération (HRSG) .....	7
Figure I.9 : Vue en coupe d'une turbine à vapeur .....	8
Figure I.10 : plaque de signalisation d'alternateur .....	9
Figure I.11 : circuit de refroidissement d'alternateur .....	10
Figure I.12 : étanchéité d'alternateur .....	11
Figure I.13 : Schéma de turbine à gaz en mode cycle combiné.....	12
Figure I.14: Refroidissement par film.....	16
Figure 12 : Salle de commande de la centrale à cycle combiné .....	16
Figure I.13 principe de fonctionnement d'un cycle combiné.....	17
Figure II.1 : Réaction électrochimique .....	24
Figure II.2. Influence de la pression sur les caractéristiques de fonctionnement de l'électrolyseur.....	25
Figure II.3. Exemple de décomposition d'une courbe caractéristique tension-densité de courant pour une cellule d'électrolyse de l'eau .....	27
Figure II.4. Évolution des performances, en fonction du temps, d'un électrolyseur industriel avec activation nickel-soufre .....	29
Figure II.5. Concentration d'équilibre du silicate dans la solution de potasse (en g de Si par litre) en fonction de la température d'après.....	31
Figure II.6. Électrolyseur à électrodes bipolaires et électrodes monopolaires.....	32
Figure II.7: vue éclatée d'une cellule d'électrolyse .....	39
Figure III.1 : Partie de procédés d'un hystat (vue avant) .....	37
Figure III.2 : Partie de procédés d'un hystat (vue arrière).....	37
Figure III. 3 : Châssis mobile de procéder HySTAT .....	38
Figure III.4: La pile de cellules .....	39
Figure III.5 : Séparateur gaz-liquide.....	39
Figure III.6 : échangeur de chaleur de l'électrolyte.....	40
Figure III.7: Rinçeur .....	40
Figure III.8. Filtre à coalescence .....	41
Figure III.9 : pompe à eau déminéralisée .....	42

Figure III.10 : Panneau HTO .....	42
Figure III.11 : Panneau de conductivité .....	43
Figure III.12 : Réservoir avec coupure d'air .....	44
Figure III.13 : Sécheur Deoxo .....	45
Figure III.14 : Panneau Mesure de pureté en ligne.....	46
Figure III.15 : Refroidisseur de refroidissement des gaz.....	47
Figure III.16 : Refroidisseur de refroidissement de l'électrolyte et du compresseur .....	48
Figure III.17 : Réservoir tampon.....	49
Figure III.18 : Compresseur à piston double effet.....	50
Figure III.19 : Poste de remplissage des bouteilles.....	51
Figure III.20 : Pompe à vide.....	52
Figure III.21 : Armoire électrique de l'EPS.....	53
Figure III.22 : Tableau de commande (CP) .....	54
Figure III.23 : tableau principal (MP) et tableau de commande du compresseur .....	55
Figure III.24 : le centre de commande du moteur (MCC) .....	64
Figure III.25. Schémas électriques d'électrolyseur.....	56
Figure III.25. Schémas électriques d'électrolyseur.....	57
Figure III.27. Schémas électriques de compresseur.....	57
Figure III.27. Schémas électriques de compresseur.....	58
Figure IV.1 : automate modulaire .....	60
Figure IV.2 : cycle de fonctionnement d'un API.....	61
Figure IV.3. Module d'alimentation d'API.....	61
Figure IV.4. Unité centrale de traitement (CPU) .....	62
Figure IV.5. Module de sortie .....	64
Figure IV.6.Réglages simples régissant l'emplacement des modules sur le profilé-support.....	65
Figure IV.7. Présentation d'un schéma logique .....	66
Figure IV.8. Présentation d'un schéma cont.....	67
Figure IV .9. Présentation du langage LIST .....	67
Figure IV.10. Diagramme d'examen des conditions de démarrage.....	68
Figure IV.11. Écran principal .....	69
Figure IV.12 Écran GGS1 .....	70
Figure IV.13. Écran conditions de démarrage de l'électrolyseur .....	71
Figure IV.14. Écran Refroidissement en boucle fermée .....	72
Figure IV.15. Écran Calcul de remplissage .....	73
Figure IV16. Écran HPS .....	73
Figure IV.17. Écran Purge à l'azote du HPS .....	75
Figure IV.18. Écran Synthèse des infos.....	75
Figure IV.19. Écran Événements .....	76
Figure IV.20. Assistant de step 7.....	77
Figure IV.21. Choix de la CPU .....	77
Figure IV.22. Choix de bloc à insérer et du langage de programmation utilisé.....	78
Figure IV.23. Choix du nom et création du projet .....	78
Figure IV.24. Fenêtre simatic manager d'un projet .....	79
Figure IV.25. Configuration du matériel.....	80
Figure IV.26. Bloc existence .....	80

Figure V. 1. Les différents types de maintenance.....	88
Figure. V .2. Démontage des couvercles du filtre.....	92
Figure V.3. Batteries UPS 24 V à l'intérieur du tableau de commande.....	93
Figure V .4. Raccordements électriques à la pile de cellules .....	96
Figure V.5. Contrôle du couple sur la pile de cellules .....	97
Figure V.6. Boucle d'échantillonnage de l'électrolyte.....	97
Figure V.7. Transmetteurs de température (PT100) : Deoxo (à gauche), sécheurA (au milieu) et sécheur B (à droite) .....	98
Figure V.8. Filtre intégré après le sécheur Deoxo.....	99
Figure. V.9. Nettoyage de l'élément filtrant .....	99
Figure V.10. Remplacement de l'électrovanne .....	100
Figure V.11. Sécheur Deoxo .....	100
Figure V.12. Démontage des couvercles du filtre .....	102
Figure V.13. Batteries UPS 24 V à l'intérieur du tableau de commande.....	102
Figure V.14. Diode de la pile (à gauche) et thyristor de la pile (à droite) avec ventilateur..	103
Figure V.15. Contrôle du fonctionnement de l'interrupteur de porte de l'armoire électrique .....	104
Figure V.16. Contrôle du fonctionnement de l'interrupteur du ventilateur du procédé .....	105
Figure V.17. Changement des prises du transformateur dans l'armoire électrique.....	105

## LISTES DES TABLEAU

Tableau II.1: Propriétés physico-chimiques de l'hydrogène.....	19
Tableau V. 1. Evolution de la maintenance depuis 1940 .....	86
Tableau V. 2. Les niveaux de la maintenance.....	90
Tableau V. 3. Tableau de la durée de vie de pièces du compresseur .....	91
Tableau V. 4. Tableau de maintenance de refroidisseur .....	92
Tableau V. 5. Tableau présent le calendrier de maintenance HYSTAT .....	94
Tableau V.6. Présent le calendrier de maintenance corrective de HYSTAT.....	96
Tableau V. 7. Présent le calendrier de maintenance de sécheur.....	101

## LISTE DES SYMBOLES

<b>Symbole</b>	<b>Unité</b>	<b>Signification</b>
R	$J \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	Constante molaire des gaz
<i>E</i>	K	Température thermodynamique
<i>F</i>	V	La tension de cellule
$\Delta H$	$\text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$	Constante de Faraday
<i>E<sub>0</sub></i>	KJ/Kg	Enthalpie totale de la réaction
<i>E<sub>th</sub></i>	V	Tension de décomposition réversible dans les conditions normales
<i>E<sub>rev</sub></i>	V	La tension de cellule réelle
<i>η<sub>a</sub></i>	V	Surtensions anodique
<i>η<sub>c</sub></i>	V	Surtensions cathodique
R	$\Omega \cdot \text{cm}^2$	Résistance globale
<i>C<sub>p</sub></i>	KJ/kg°	Capacité thermique massique
P	Bar	Pression requise d'hydrogène

## 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 Djinet.

Notre travail se concentre sur le système de refroidissement de l'alternateur utilisant le gaz d'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 cinq 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 se consacre aux systèmes de production d'hydrogène.

Le troisième chapitre comprend une étude technologique du système de production et de stockage d'hydrogène.

Le quatrième chapitre porte sur l'automatisation de programme de production de H<sub>2</sub> au sein de la station.

Le cinquième chapitre est consacré à la maintenance de la station de production de l'hydrogène

Nous terminons en fin ensuite par une conclusion générale.

# **Chapitre I:**

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



## 1 Introduction :

De nos jours, la demande en électricité a connu un développement assez conséquent et particulièrement en périodes estivales, atteignant des pics de consommation importants. Cette forte augmentation de la demande est une conséquence directe du changement des habitudes du consommateur et l'amélioration de sa qualité de vie, ainsi que la pulsion donnée au secteur économique et industriel.

Conscient de cet enjeu et de l'importance de l'accès à l'électricité pour les citoyens, le secteur s'est fixé comme priorité de développer tous les axes permettant de garantir la couverture à long terme, des besoins en électricité et en gaz du pays, notamment par la diversification des sources d'énergie, le développement du parc de production électrique et des infrastructures de transport et de distribution de l'électricité et du gaz.

Jusqu'à-là, l'entreprise SONELGAZ détenait le monopole sur la production, le transport, la distribution de l'électricité ainsi que le transport et la distribution du gaz. SONELGAZ en tant qu'entreprise publique au terme du monopole conféré par l'état, assumait seule la mission de service public dans le domaine de la distribution de l'électricité et du gaz.

La centrale thermique de CAP-DJINET est l'une des centrales à cycle combiné vise à la production de l'électricité en Algérie, c'est une société de production, qui contient diverses stations, équipements et ses auxiliaires. Dans ce chapitre nous ferons connaître tous les détails appartenant à cette centrale.

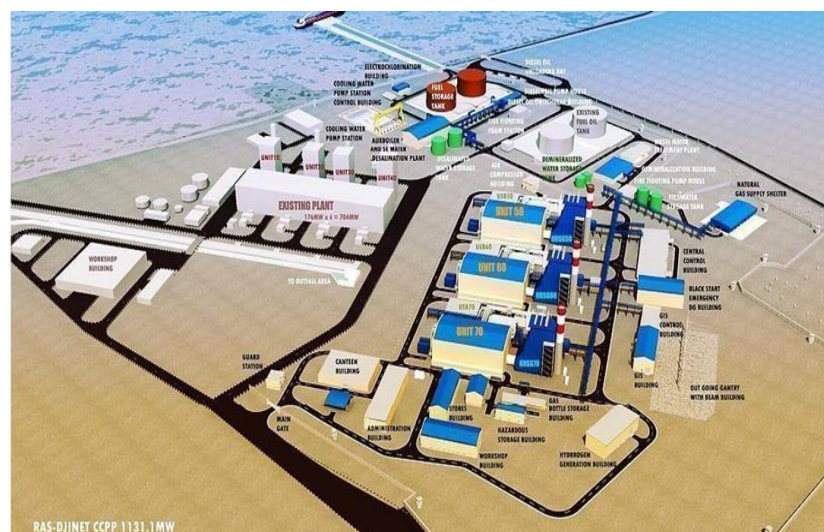


Figure I.1. La centrale électrique à cycle combiné de CAP-DJINET.



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

## **2 Historique du cycle combiné :**

Les cycles combinés avec récupération de la chaleur, qui emploient la chaleur des gaz d'échappement de la turbine à gaz, ont été rendus faisables par augmentation du transfert thermique latéral par l'utilisation des tubes ailés. Les chaudières à tubes ailés ont été mises en service en 1959. Depuis 1960, le type de récupérateur de chaleur du cycle combiné est devenu dominant. Son application initiale était dans des applications de puissance et de chaleur là où son rapport de puissance à la chaleur était favorable dans beaucoup de processus chimiques et pétrochimiques.

Un nombre réduit de récupérateur de chaleur des cycles combiné ont été installés dans les centrales de production d'électricité dans les années 1960. Quand les turbines à gaz dont la capacité est plus de 50 MW ont été introduites dans les années 70 les expériences des récupérateurs de chaleur des cycles combinés ont rapidement augmenté dans les applications des compagnies d'électricité. Les années 80 et le début des années 90 ont apporté un grand nombre de systèmes utilisant le gaz naturel comme combustible (installations de production de puissance et de production de puissance et chaleur (cogénération)).

Les installations de puissance seule utilisent l'extraction minimale de vapeur pour le chauffage d'eau d'alimentation. Les systèmes de cogénération utilisent la vapeur

d'échappement des turbines à vapeur dans d'autres processus. Quelques cycles combinés par cogénération exportent la vapeur directement du HRSG [1].

### 3 La centrale à cycle combiné de la production de l'électricité :

- **Situation :**

La centrale à cycle combiné de CAP-DJINET est une entreprise destinée à la production de l'énergie électrique, elle est située au bord de la mer, à l'est d'Alger, près de la ville de CAP-DJINET, dans la wilaya de BOUMERDES. C'est la surface la plus idéale grâce à son large espace et sa proximité de l'eau de mer et pour ses conditions du Sous-sol favorables, qui ne nécessitent pas de fondations profondes. En plus de sa situation à proximité des consommateurs importants, elle est située notamment dans la zone industrielle Rouïba-Reghaia.

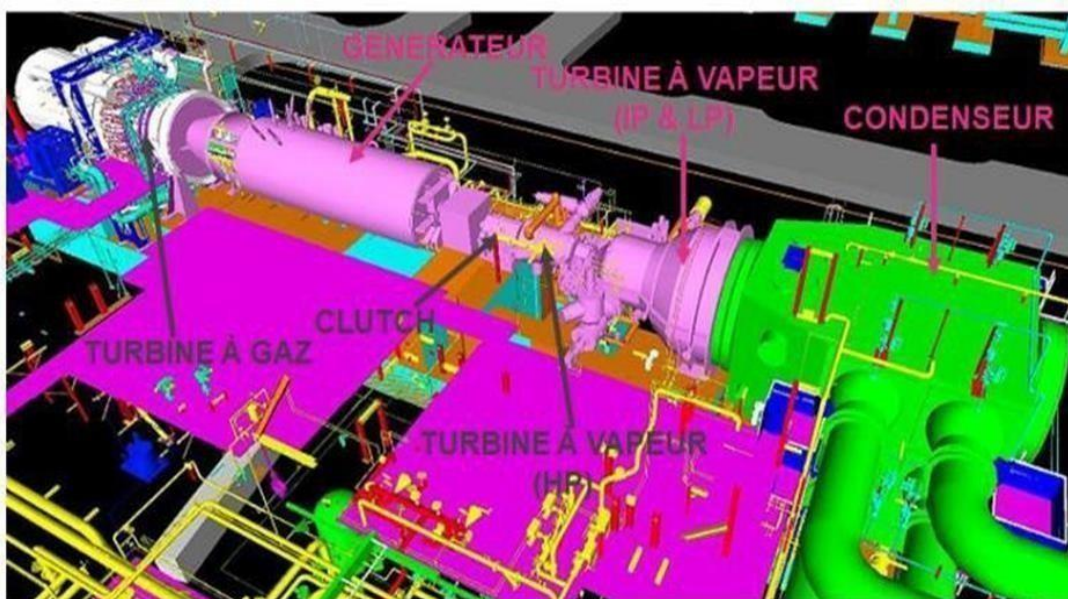
- **Caractéristiques :**

La centrale de CAP-DJINET se compose principalement de trois (3) modules de centrale électrique à cycle combiné à arbre-simple, ainsi que les systèmes qui supportent l'équilibre de la centrale. Chaque module a une turbine à gaz (modèle : SIEMENSSGT5- 4000F), une chaudière de récupération (HRSG) associée, une turbine à vapeur (Modèle : SIEMENSSST5-3000 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 brûler le gaz naturel comme le combustible de base et le carburant diesel comme le combustible de secours [2].



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

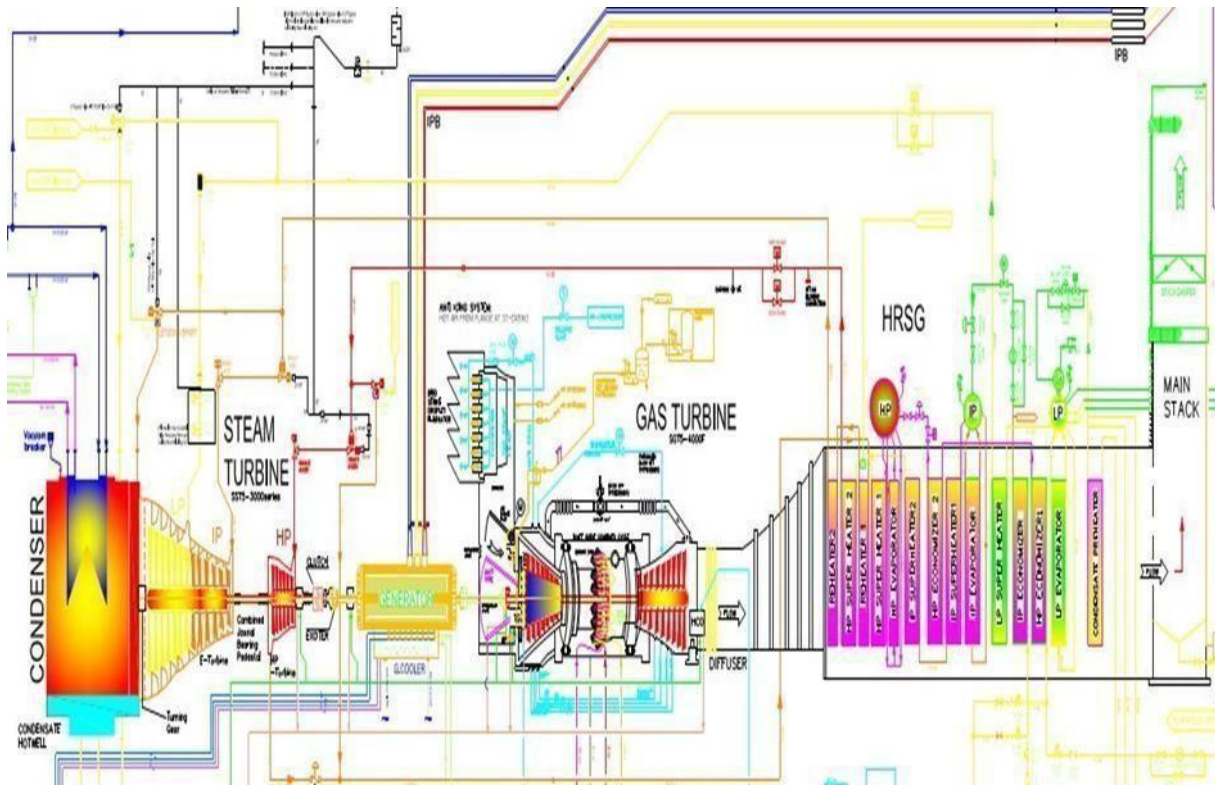




**Figure.I.4.** Vue en section d'un cycle combiné [2].

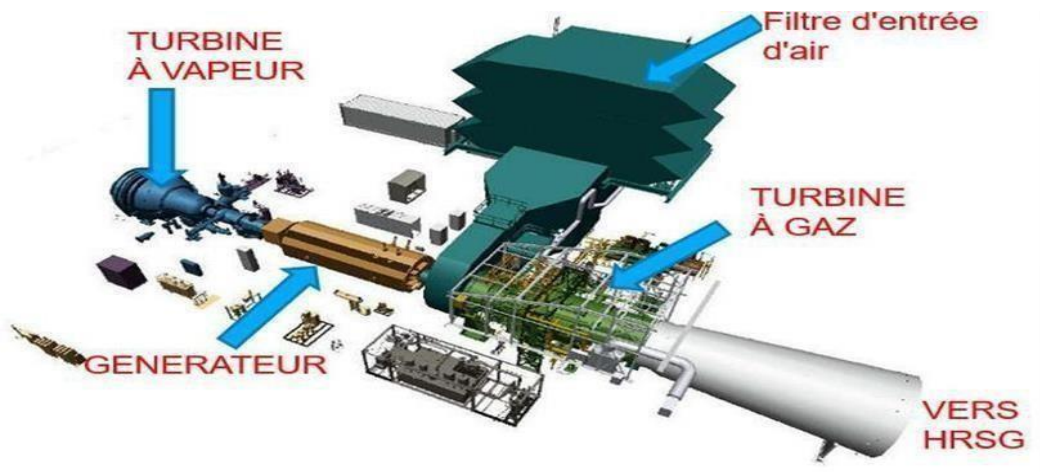
Les principaux composants mécaniques du cycle combiné de la nouvelle centrale de CAP-DJINET sont (figure I.5) :

- 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
- 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]

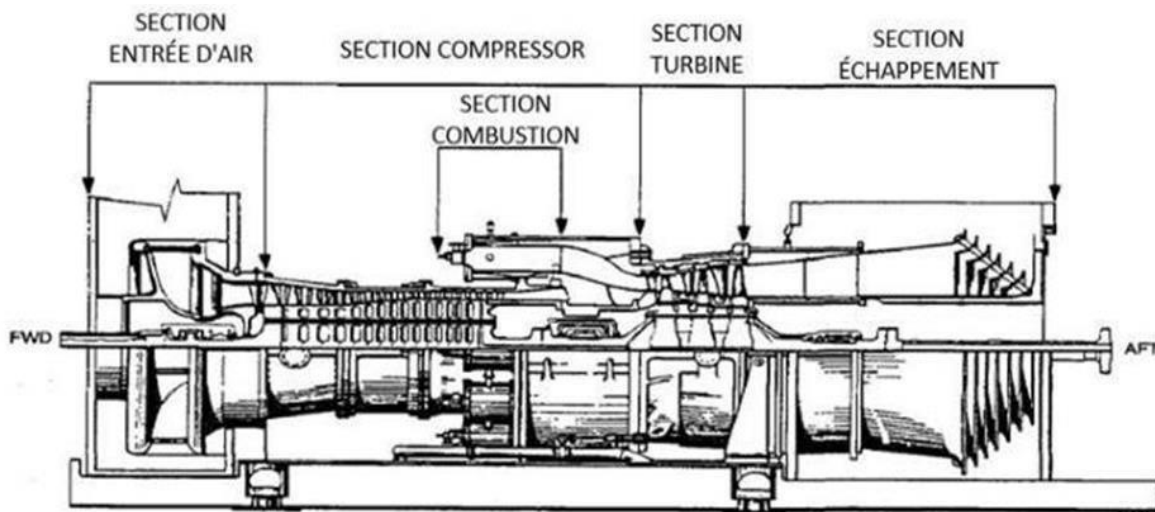
#### 4 Eléments de base de cycle combiné :



**Figure I.6.**Eléments de base de cycle combiné

##### 4.1 Turbine à gaz :

Une turbine à gaz typique se compose d'un système d'air d'admission, d'un compresseur, d'un système de combustion, d'une turbine, d'un système d'échappement et d'un générateur comme il est illustré dans le schéma ci-dessous :



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

#### 4.2 Chaudière de récupération (HRSG) :

Le ballon vapeur est conçu pour séparer le mélange de vapeur et d'eau pour fournir de la vapeur saturée à la surchauffeur et pour absorber les à-coups de l'évaporateur pendant les transitoires de démarrage et de fonctionnement.

- Sections économiseur pour chaque niveau de pression (HP, IP et BP)

La fonction principale de la section économiseur du HSRG est de préchauffer l'eau de condensation (pour économiseur LP) ou bien l'eau d'alimentation (pour économiseur IP et économiseur HP)

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

L'eau de condensation traversant la section économiseur entre dans le ballon vapeur et est répartie sur toute la longueur du ballon par un collecteur de distribution où il se mélange à l'eau saturée revenant de la section évaporateur. L'eau saturée est extraite du fond du ballon vapeur LP et traverse la section de l'évaporateur par le processus de circulation naturelle.

- L'eau saturée entre dans le collecteur situé au fond de l'évaporateur et s'écoule vers le haut par évaporation dans les tubes de l'évaporateur. La section évaporateur fonctionne essentiellement à température constante.

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

- La vapeur saturée est extraite du ballon vapeur vers le collecteur d'entrée de la surchauffeur, puis s'écoule à travers la structure grillagée des tubes à ailettes vers le collecteur de sortie. Le débit de vapeur est à courant du débit des gaz d'échappement. La section surchauffeur élève la température de la vapeur depuis la 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)

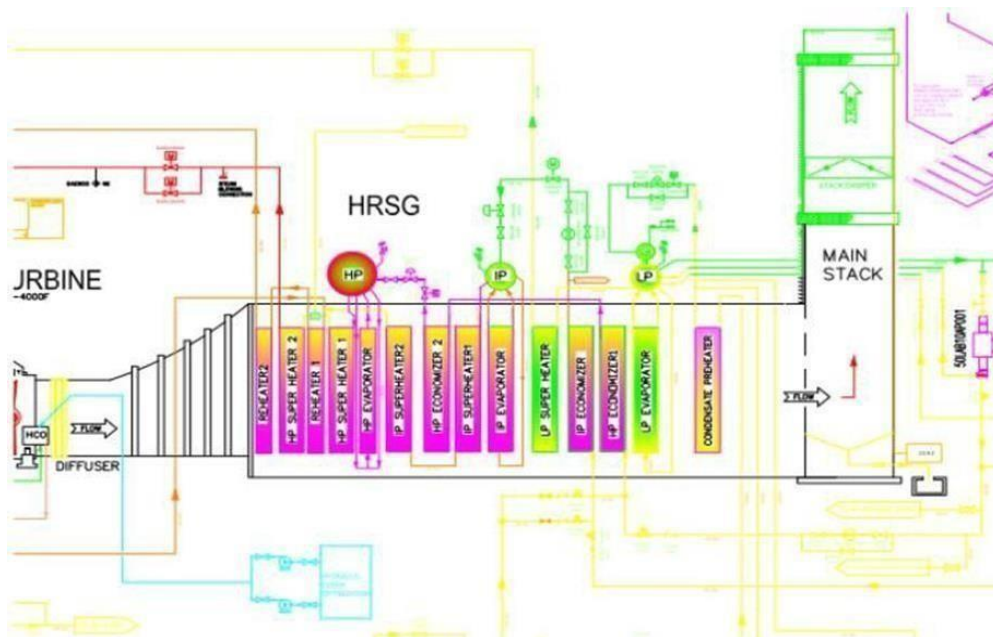
La fonction principale de la section réchauffeur est de chauffer la vapeur de réchauffage à froid (CRH) jusqu'à la température de vapeur de réchauffage à chaud (HRH).

- Dégazeur intégral ballon LP

Le dégazeur a pour fonction d'éliminer les gaz non condensables comme l'O<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub> des condensats lors du remplissage initial de la chaudière et du démarrage de l'installation. Il fait partie intégrante du ballon basse pression (LP). Le ballon LP agit comme un réservoir de stockage pour le dégazeur.

- Cheminée HSRG avec silencieux

La cheminée du HRSG et son silencieux sont fournis pour acheminer les gaz d'échappement de la turbine à gaz depuis la sortie du HRSG vers l'atmosphère. Des ports d'échantillonnage sont fournis dans la cheminée pour les contrôles d'émission. Les gaz d'échappement chauds de la turbine à gaz font du bruit. De ce fait, un silencieux est fourni afin de réduire le bruit en sortie de cheminée.



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

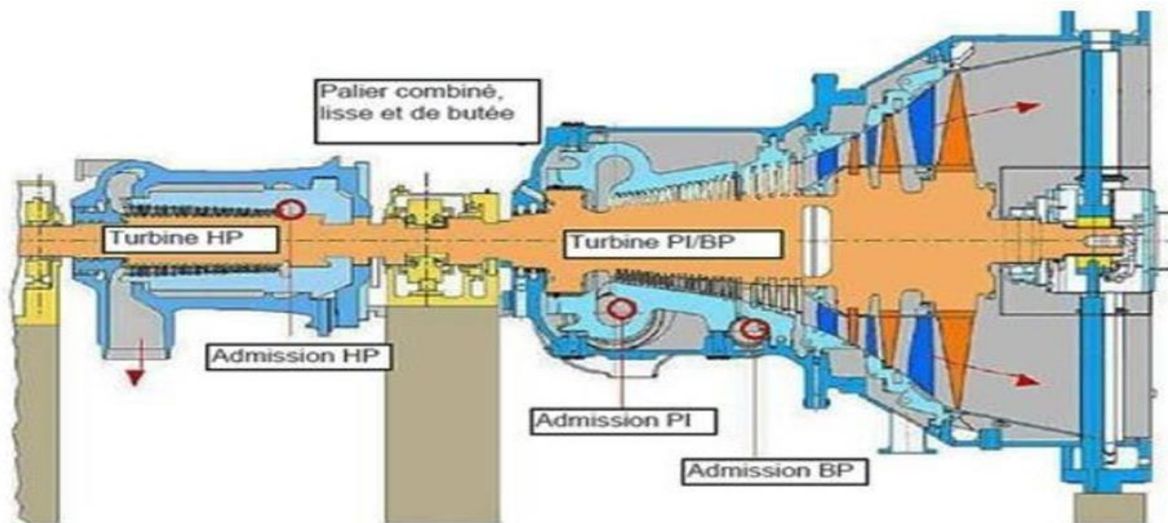


### 4.3 Turbine à vapeur :

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

La vapeur d'échappement sortant de la turbine à vapeur sera condensée dans le condenseur refroidi eau. La turbine HP est de construction à simple flux et à double paroi avec un porte-lame fixe et un carter externe. Elle est munie d'une vanne d'arrêt et de contrôle de vapeur principale, soudée, soutenue par des supports supplémentaires. Le carter extérieure est de type cylindrique.

Le carter extérieur IP/LP est divisé en deux sections, la section du carter d'entrée moulé et la section du carter d'échappement soudé. Les deux sections sont divisées horizontalement. Les demi-carter sont boulonnés ensemble par 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].

### 4.4 Générateur :

Le générateur est l'équipement électrique le plus important de toute la centrale électrique. Il est capable d'évacuer le courant de la sortie de la turbine à gaz (turbine à gaz + turbine à vapeur) à laquelle il est connecté sans dépasser la limite de température admissible stipulée par la norme pertinente 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 <sup>-1</sup>	antihoraire	U V W (EE End)	IP65
Manuel	Masse				
MK	394 000 kg				

**Figure I.10.** Plaque de signalisation d'alternateur

#### 4.4.1. 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 > à 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 à chaque extrémité de celui-ci (voir croquis). Le circuit magnétique est subdivisé en 85

paquets de tôles séparés par des événements de 8 à 10 mm de largeur dans lesquels circule le gaz. La réfrigération de l'hydrogène est assurée par quatre réfrigérants internes à la machine, alimentés en eau.

La température normale du gaz chaud est de 60° avec une limite à 70° ce qui correspond à une température stator de 70°. La différence H2 chaud / H2 froid est de l'ordre de 20°. 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 45m<sup>3</sup>/s

La circulation du gaz s'effectue en circuit fermé à l'intérieur de la carcasse [3].

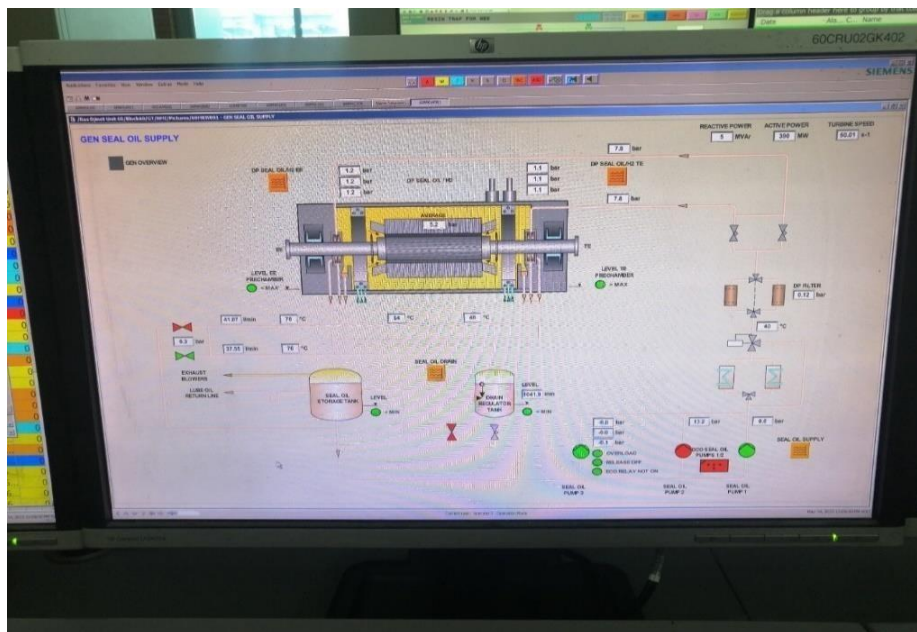


**Figure I.11.** Circuit de refroidissement d'alternateur

#### 4.4.2. L'étanchéité

La carcasse et les paliers sont conçus pour être étanches 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 composées chacune de quatre segments. L'huile arrive sous pression, traverse les jeux entre les bagues et l'arbre et s'échappe en deux flux de part et d'autre du joint, séparant ainsi la partie H2 et la partie en air.

Le débit d'huile côté H2 est récupéré et dégazé par pulvérisation sous vide. La circulation du fluide est assurée par deux motos pompes alimentées en alternatif. Une seule assurant le débit Une troisième pompe alimentée sur batterie assure le troisième secours [3] (voir croquis du joint)

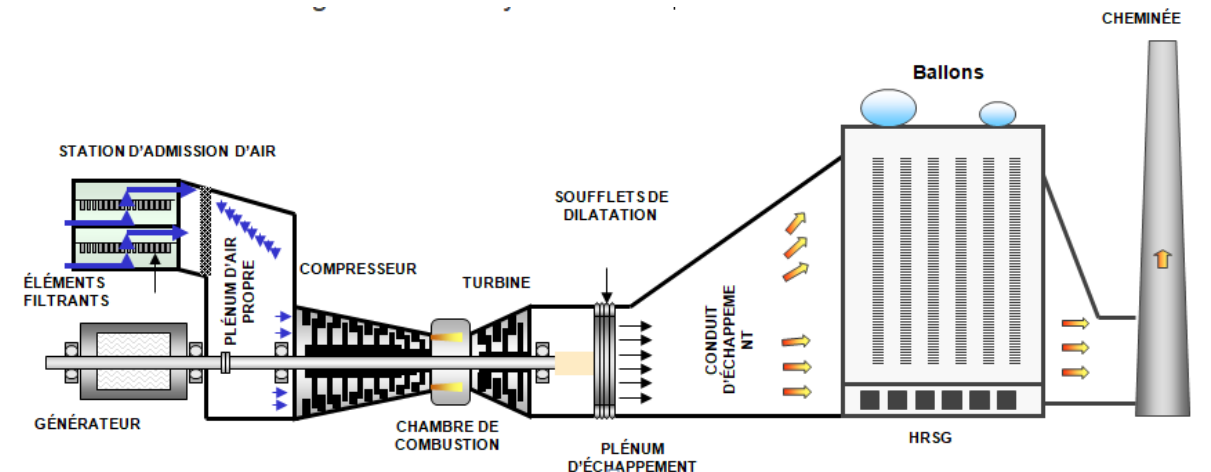


**FigureI.12.** Étanchéité d'alternateur

## 5 Les fonctionnements d'Éléments de base de cycle combiné :

### 5.1 Fonctionnement de la turbine à gaz en mode cycle combiné :

Quand la turbine à gaz est mise en marche, l'air ambiant est aspiré à travers le système d'air d'admission où il est filtré et puis dirigé vers l'entrée du compresseur. L'air est 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 ou mazout ou les deux ou un autre carburant) et le mélange est allumé. Les gaz de combustion chauffés et comprimés circulent ensuite vers la turbine. Les gaz de combustible se dilatent au fur et à mesure qu'ils circulent à travers la turbine, induisant sa rotation. La turbine rotative actionne le compresseur et les équipements accessoires avec un excès d'énergie disponible pour produire une puissance d'arbre qui actionne le générateur électrique. Les gaz sortant de la turbine s'échappent dans l'atmosphère et sont 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].

## 5.2 Fonctionnement de la chaudière de récupération (générateur de vapeur) (HRSG) :

La chambre de combustion annulaire est située entre le compresseur et la turbine ; C'est une (HRSG) à débit horizontal sans postcombustion qui produira la vapeur échauffée à trois niveaux de pression.

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

La fonction principale du générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG) est de générer la quantité et la qualité nécessaires de vapeur en utilisant la chaleur rejetée par les gaz d'échappement du turbogénérateur à gaz (GTG) qui est ensuite transportée à la turbine à vapeur pour générer de l'électricité.

Chaque module de la centrale à cycle combiné (CCPP) est fourni avec un générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG) ainsi que tous les accessoires nécessaires [2].

## 5.3 Fonctionnement de la turbine à vapeur en mode cycle combiné :

La turbine à vapeur est un des matériels stratégiques des installations de production d'énergie électrique. Les cycles des turbines à vapeur utilisent un fluide compressible, qui change d'état au cours du cycle. Le changement d'état de la vapeur génère des variations importantes de l'enthalpie qui permet de transformer de grandes quantités de chaleur en travail. Dans une turbine la vapeur est d'étendue de façon continue dans un système de roues à aubes. Cette propriété permet de fonctionner avec des débits importants et de pousser la détente sans l'effet de troncature, comme dans les machines alternatives [2].

## **6. Le fonctionnement des autres composantes mécaniques du cycle combiné :**

### **6.1 Fonctionnement des vannes de by-pass HP, IP et LP**

La fonction de la vanne de by-pass est de dévier la vapeur vers la conduite de réchauffage à froid (CRH) ou à chaud (HRH) et de maintenir le HRSG en fonctionnement pendant le démarrage ou l'arrêt de la turbine à vapeur, ou pendant d'autres état parti culiers.

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

### **6.2 Fonctionnement du système air comprimé-compresseur**

Les compresseurs d'air sont de type à vis sans fin, sans huile, à entraînement par moteur, avec filtre d'aspiration, refroidisseurs d'air et instruments nécessaires. Les compresseurs sont de construction robuste et conçus pour un fonctionnement continu et intermittent à pleine ou faible capacité.

### **6.3 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 du ballon LP, à la section économiseur haute pression (HP) du générateur de vapeur à récupération de chaleur et, par un étage intermédiaire, à la section économiseur pression intermédiaire (IP) du générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG). Les pompes d'alimentation en eau de la chaudière fournissent également de l'eau de pulvérisation désurchauffeur pour le système de by-pass HP et de l'eau de pulvérisation désurchauffeur pour la surchauffeur HP [2].

### **6.4 Fonctionnement des pompes d'extraction de condensat**

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

- Maintenir le niveau du puits du condenseur à son niveau normal en extrayant les condensats du puits du condenseur et fournir de l'eau de condensation au dégazeur 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].

### **6.5 Fonctionnement du condenseur**

Le condenseur axial refroidi à l'eau remplit la fonction de condenser la vapeur d'échappement de la turbine à vapeur et / ou du système de by-pass de vapeur haute pression (HP), pression intermédiaire (IP) et basse pression (LP).

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.

### **6.6 Fonctionnement de Gland Stream Condenseur**

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

### **6.7 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 en fonctionnement normal. La source de vapeur motrice pour l'éjecteur d'air à jet de vapeur doit provenir du collecteur auxiliaire.

### **6.8 Fonctionnement de la chaudière auxiliaire**

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

### **6.9 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 pour absorber la chaleur du cycle. Chaque ligne de refoulement des pompes de circulation d'eau est équipée d'une vanne papillon motorisée. Deux (2 x

50%) pompes de circulation d'eau sont prévues pour chaque module de la centrale à cycle combiné (CCPP).

#### **6.10 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.

#### **6.11 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 des équipements et composants de la turbine à gaz, de la turbine à vapeur, du cycle eau / vapeur et du générateur.

#### **6.12 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].

#### **6.13 Fonctionnement des réservoirs de stockage de mazout**

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

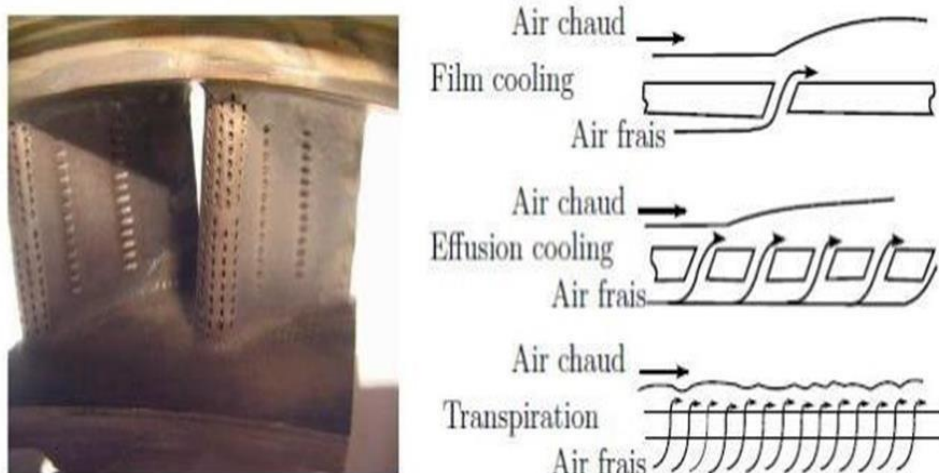
#### **6.14 La fonction du réservoir de stockage d'eau déminée**

Le Fonctionnement des réservoirs de stockage d'eau déminéralisée est de stocker l'eau déminéralisée pour eau d'appoint du cycle de puissance, 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 GT.

#### **6.15 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 est utilisée selon le système de refroidissement par film [4].





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

### 7. 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

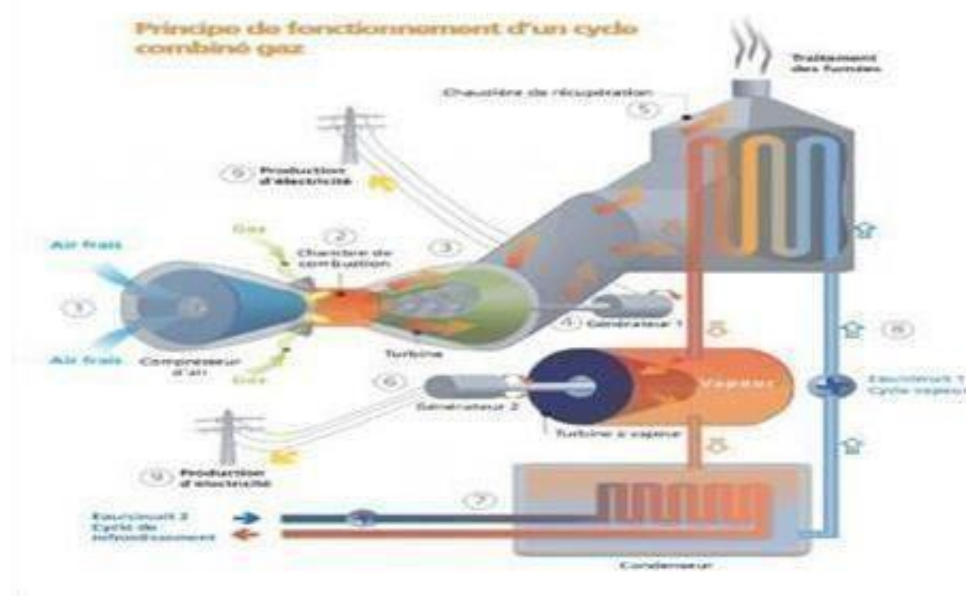


**Figure 15.** Salle de commande de la centrale à cycle combiné.



## 8. Principe de production d'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, dirigée vers une deuxième turbine, la TAV. TAC et TAV entraînent alors un ou deux alternateurs. La même quantité de combustible sert ainsi à une double production d'électricité : celle de la TAC et celle de la TAV, améliorant d'autant le rendement de la centrale.



**Figure I.16.** Principe de fonctionnement d'un cycle combiné [2].

## 9. Conclusion :

Une présentation complète de la centrale à cycle combiné de CAP-DJINET, comprenant une explication détaillée de son fonctionnement et de ses différents équipements, permet de saisir en profondeur les mécanismes liés à la production d'électricité. Assurer une production électrique continue revêt une importance capitale pour répondre aux besoins des clients, garantir la sécurité des personnes, préserver l'environnement et optimiser la durée de vie des équipements de la centrale.

## **Chapitre II :**

# **La production de l'hydrogène**

## 1. Généralités sur hydrogène

### 1.1. Introduction :

En fait, c'est au 16<sup>e</sup> 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-immersées 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].

## 1.2 Propriétés de l'hydrogène

### ➤ Les caractéristiques physico-chimiques de l'hydrogène :

L'hydrogène est l'élément chimique le plus simple ; son isotope le plus commun est constitué seulement d'un proton et d'un électron. L'hydrogène est ainsi le plus léger atome existant. Comme il ne possède qu'un électron, il ne peut former qu'une liaison covalente : c'est un atome univalent. Les propriétés physico-chimiques de l'hydrogène sont données dans le tableau I.1.

L'élément hydrogène est extrêmement abondant sur Terre, dans l'eau des lacs, des rivières et des océans ainsi que dans les combustibles fossiles ; c'est le constituant essentiel de notre univers mais il n'existe pas à l'état libre. Le dihydrogène est la forme moléculaire de l'élément hydrogène, qui existe à l'état gazeux aux conditions normales de température et de pression. Les molécules comportent deux atomes d'hydrogène, sa formule chimique est  $H_2$ . Il est également appelé « molécule d'hydrogène » ou « gaz hydrogène » et, dans le langage courant, lorsqu'il n'y a pas d'ambiguïté avec l'élément chimique du même nom, il est très fréquemment désigné par hydrogène ». Le dihydrogène est un gaz incolore, inodore et non corrosif, et présente l'avantage d'être très énergétique [7].

**Tableau II.1:** Propriétés physico-chimiques de l'hydrogène. [8].

Désignations	Caractéristiques
Série chimique	Non- métaux
Groupe ; période ; bloc	1 ; 1 ; s
Masse volumique	0,0085 Kg / m <sup>3</sup>
Masse molaire	2,016
Masse atomique	1,008 u

Configuration électronique	1s <sup>1</sup>
Structure cristalline	Hexagonale
Densité gazeuse	À 273K : 0,08988Kg / m <sup>3</sup>
Densité gazeuse	A Te : 1.34 KG / Nm <sup>3</sup>
Densité liquide	A Te : 70.79 KG / Nm <sup>3</sup>
Température de fusion	-259,14°C (D'hydrogène)
Température d'ébullition	-252,8 °C (D'hydrogène)
Température critique	-239.9 °C (D'hydrogène)
Energie d'évaporation	445 KJ/ Kg
Energie théorique de liquéfaction	14112 KJ / Kg
Chaleur spécifique	3.41 KJ / Kg. K
Chaleur latente de vaporisation	109 cal/g
Chaleur latente de fusion	15 cal/g
Chaleur spécifique à V= ct	2.42 cal/g
La solubilité dans l'eau	La solubilité dans l'eau
Coefficient de dilatation du gaz à V= ct	3662 10 <sup>-6</sup>
Coefficient de diffusion dans l'air	0,61cm /s
Rapport des chaleurs spécifiques (γ)	1.41
Electronégativité	2.1
Volume de gaz par kg de liquide	11.743 m <sup>3</sup>
Volume de gaz par litre de liquide	0.8315 m <sup>3</sup>
Poids du litre de gaz à (0 °C)	0.08987 g
Poids du litre de gaz à (15 °C)	0.08616 g
Pouvoir calorifique inférieur	120 MJ/kg
Pouvoir calorifique supérieur	142 MJ/kg

➤ **Caractéristiques énergétiques, pratiques et sécuritaires**

L'hydrogène est l'élément chimique le plus simple ; son isotope le plus commun est constitué seulement d'un proton et d'un électron. De ce fait, c'est un atome univalent. La masse de l'électron étant négligeable devant celle des protons et des neutrons, ce sont ces derniers qui déterminent la masse des atomes (donc leur poids). L'hydrogène est ainsi le plus léger atome existant.

L'hydrogène est l'élément le plus abondant de l'Univers : 75 % en masse et 95 % en nombre d'atomes. Cet élément se trouve en grande quantité dans les étoiles et les planètes gazeuses. Relativement à son abondance dans l'univers, l'hydrogène est très rare dans l'atmosphère terrestre.

Sur Terre, l'hydrogène est néanmoins très abondant mais sous forme d'eau et dans la plupart des matières organiques. Sa molécule est la plus énergétique : 120MJ/kg, soit 2,2 fois le gaz naturel. L'hydrogène a un contenu énergétique de 39,4kWh/kg tandis que le charbon, selon sa forme, oscille dans la fourchette 7,8 - 8,7 kWh/kg, soit environ 5 fois moins par unité de masse. Il n'est ni polluant, ni toxique et sa combustion dans l'air ne génère que de l'eau. C'est le plus léger des gaz, ce qui est un facteur positif vis-à-vis de la sécurité (grande vitesse de diffusion dans l'air). En conséquence, en dehors d'une situation dite "confinée" (c'est-à-dire emprisonné avec de l'air dans un volume fermé), l'hydrogène est moins dangereux que le gaz naturel. Néanmoins, la faible densité de l'hydrogène implique aussi une densité énergétique volumique moins favorable au transport et au stockage sous forme gazeuse, que pour le gaz naturel (facteur 4 à 200 bars, par exemple). L'hydrogène a un large domaine d'inflammabilité dans l'air : 4 à 75% (contre de 5 à 15% pour le méthane), ce qui augmente les risques pour un gaz riche en hydrogène. Sa combustion thermique à haute température, en présence d'air, génère des oxydes d'azote. La flamme de l'hydrogène est à peine visible à l'œil nu, ce qui peut représenter un danger pour les secours intervenant en cas d'incendie, sa température est de 2300°C dans l'air. Ces conditions sont valables à températures et pression ambiantes, et varient en fonction de la pression, de la température et de la présence d'autres constituants inertes dans le mélange gazeux. L'énergie d'inflammation est très faible (10 fois plus faible comparativement aux autres hydrocarbures) : 0,02 MJ. Dans certains cas de confinement, on peut assister à une explosion. Il y a deux types d'explosions : la

déflagration et la détonation, on peut parfois assister à une transition de la déflagration à la détonation. Néanmoins, l'hydrogène a pour avantage de se diffuser très vite dans l'air : de ce fait, en cas de fuite, l'hydrogène s'échappe vers le haut et sa concentration diminue très rapidement, passant sous la Limite Inférieure d'Inflammabilité ; ceci représente un facteur de sécurité. Enfin, en raison de sa faible densité, l'hydrogène aura tendance à fuir par toutes les micro- ouvertures possibles. Considéré comme un gaz dangereux, son image dans le public n'est pas bonne et son acceptabilité n'est donc pas encore acquise. Cet aspect sécuritaire ne doit néanmoins pas faire oublier que l'hydrogène est utilisé depuis longtemps dans l'industrie et, qu'avant la guerre, le gaz de ville en était composé à 60%.

Les techniques actuelles de stockage et de distribution sont donc aujourd'hui éprouvées. La maîtrise des risques liés à l'hydrogène fait depuis longtemps l'objet de recherches approfondies. Il s'agit d'abord de réduire la possibilité d'accumulation d'hydrogène dans le domaine d'inflammabilité, éventuellement de réduire ce volume de gaz et enfin d'empêcher que l'hydrogène passe à l'état de détonation. Des moyens de prévention existent comme l'ajout d'un gaz inerte (type Azote, CO<sub>2</sub>), la recombinaison catalytique de l'hydrogène avec l'oxygène ou encore l'inflammation délibérée de l'hydrogène pour éviter l'augmentation de sa concentration et le passage au niveau de détonation et enfin, la ventilation pour diluer la concentration d'hydrogène présent dans un milieu confiné.

L'hydrogène peut être utilisé à grande échelle mais il faut naturellement définir les mesures de sécurité adéquates à chaque étape (production, transport, stockage et distribution) de façon à garantir son utilisation par le grand public. Mais la législation correspondante reste encore à définir ! Pour l'instant il n'existe pas de législation adaptée à une consommation et utilisation grand public de l'hydrogène.

Le projet Hysafe ("Safety of Hydrogène as an Energy Carrier"), subventionné par l'Union Européenne, vise ainsi à créer un réseau comprenant 24 partenaires européens (+ un canadien), coordonnés par le centre de recherche de Karlsruhe.

Leur but est d'améliorer la sûreté d'utilisation de l'hydrogène : simulations de cas de fuite d'hydrogène, limitation et prévention des dommages, standardisation des analyses de risques en cas d'incendie ou d'explosion [5].

## 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 [1].

### 2.1 Production de l'hydrogène par électrolyse de l'eau :

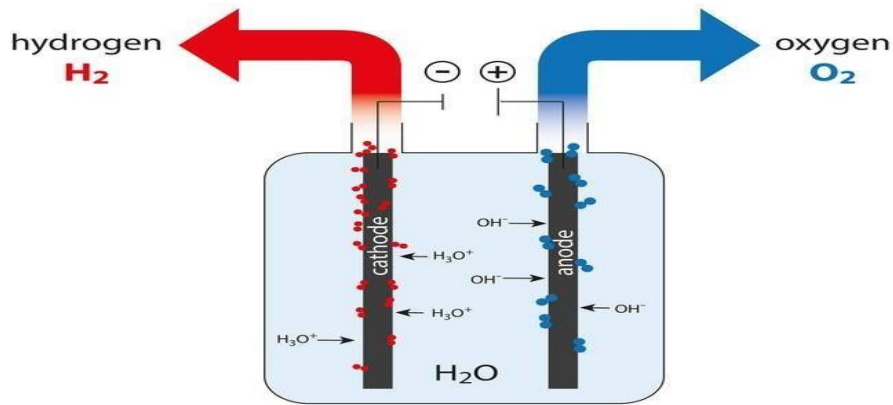
L'électrolyse de l'eau est un procédé électrolytique qui décompose l'eau en oxygène et hydrogène gazeux avec l'aide d'un courant électrique.

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. [1].





**Figure II 1.** Réaction électrochimique

### 2.1.1. Aspects théoriques de l'électrolyse de l'eau

#### ➤ Thermodynamique :

En solution acide, on admet généralement que la décomposition de l'eau s'effectue suivant les réactions :

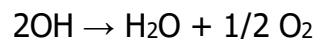
À la cathode :



À l'anode :

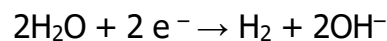


Puis :

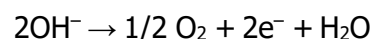


En solution alcaline, par contre, les ions  $\text{OH}^-$  prédominent et le phénomène est habituellement exprimé par :

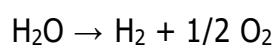
À la cathode :



À l'anode :



Dans les deux cas, la réaction globale s'écrit :



Avec  $\Delta H = 285 \text{ kJ/mol}$  de  $\text{H}_2\text{O}$  : enthalpie de dissociation de l'eau.

Par ailleurs, l'équation de Nernst exprime la tension de décomposition réversible sous la forme :

$$E_{rev} = E_0 + \frac{RT}{2F} \ln \frac{p_{H_2} P_{O_2}^{1/2}}{a_{H_2O}}$$

**R** : constante molaire des gaz (= 8,314 4 J • mol<sup>-1</sup> • K<sup>-1</sup>),

**T** : (K) température thermodynamique,

**F** : constante de Faraday (= 96 487 C • mol<sup>-1</sup>),

**E<sub>0</sub>** : (V) tension de décomposition réversible dans les conditions normales (0°C, pression atmosphérique).

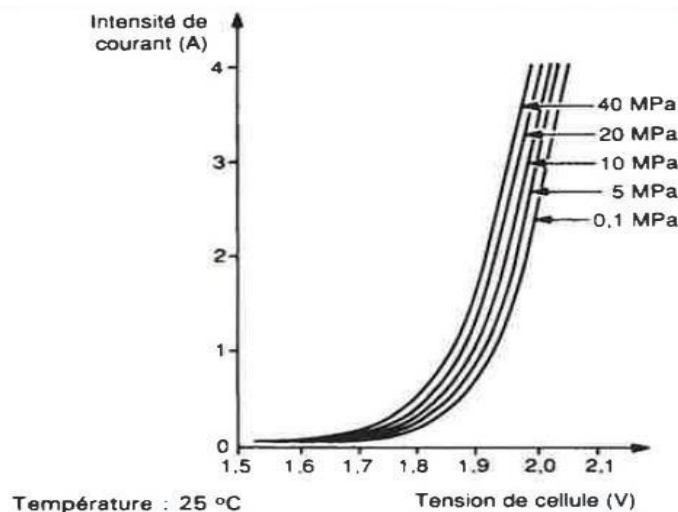
Pression de service de l'électrolyseur :  $P_{H_2} = P_{O_2} = P$  (Pa)

D'où :

Cette tension de décomposition réversible s'établit à 1,229 V dans les conditions normales. À température ambiante (2°C), on a (1) :

$$E_{rev} = 1,233 + 0,0435 \lg P$$

Un accroissement de pression augmente la tension de décomposition réversible, mais, en pratique, le fonctionnement irréversible des électrolyseurs industriels a pour effet de réduire la tension de cellule effective à densité de courant et température constantes lorsque la pression augmente.



**Figure II 2.** Influence de la pression sur les caractéristiques de fonctionnement de l'électrolyseur

La tension thermo-neutre correspond au fonctionnement isotherme de l'électrolyseur. Elle s'exprime par :

$$E_{\text{rev}} = E_0 + \frac{3RT \ln(P)}{4F} - \frac{RT \ln(a_{H_2O})}{2F}$$

Cette tension ne dépend que faiblement de la température. Un accroissement de température entraîne par contre une diminution de la tension de décomposition réversible. Cette diminution se répercute aux bornes de l'électrolyseur où l'on peut, en général, constater un gain de 2 à 5 mV/°C [9].

### ➤ Cinétique

La tension de cellule réelle d'un électrolyseur s'exprime en fonction de quatre termes :

$$E = E_{\text{rev}} + \eta_a + \eta_c + RJ$$

Avec :

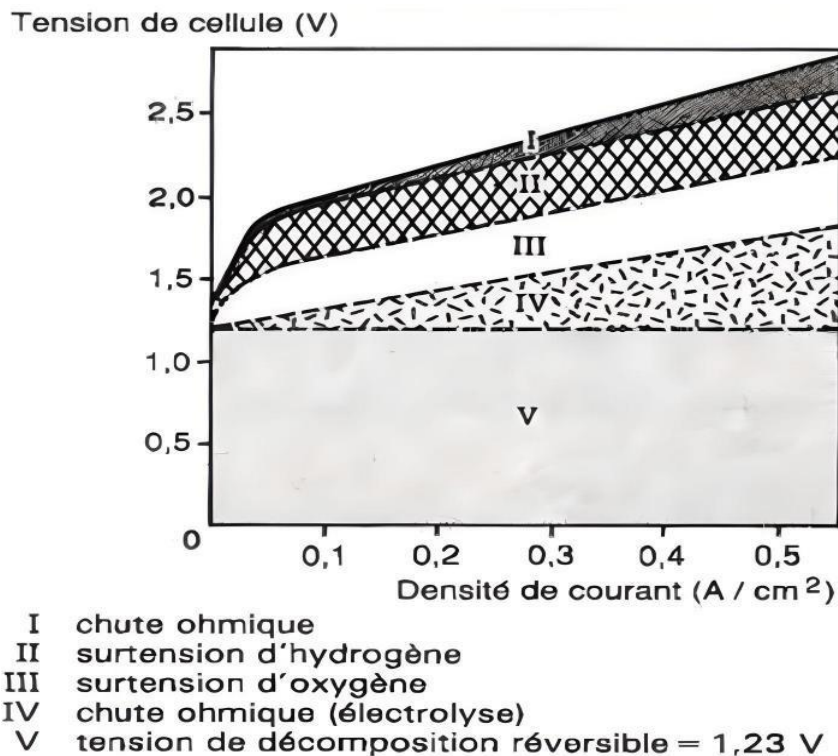
$\eta_a$  : (V) surtension anodique,

$\eta_c$  : (V) surtension cathodique,

$R$  : ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ ) résistance globale (chute ohmique du diaphragme, épaisseur des compartiments, effet d'écran des bulles),

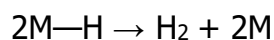
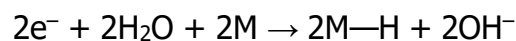
$J$  : ( $\text{A}/\text{cm}^2$ ) densité de courant

La figure 3 présente un exemple de répartition de la tension en fonction de la densité de courant.



**Figure II 3.** Exemple de décomposition d'une courbe Caractéristique tension-densité de courant pour une Cellule d'électrolyse de l'eau.

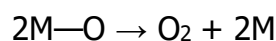
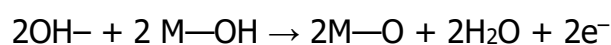
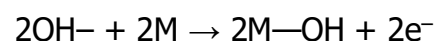
Les dégagements d'hydrogène et d'oxygène aux électrodes se trouvent plus ou moins facilités par l'action catalytique de la surface de l'électrode. Dans un électrolyseur comportant une solution alcaline, la réaction cathodique sur support métallique s'effectue suivant un processus à deux étapes de la forme :



Où M désigne un atome métallique de la surface.

Différentes hypothèses ont été émises concernant le processus de réaction anodique.

La plus probable serait :



La turbulence engendrée par les bulles qui se dégagent et la concentration élevée de l'électrolyte évitent la polarisation de concentration.

Les surtensions anodique et cathodique d'électrodes activées ( $\eta_a$  et  $\eta_c$ ) obéissent à une loi du type :

$$\eta = A + B \lg J$$

Par exemple :

$$\eta_a = 0,242 + 0,064 2 \lg J$$

$$\eta_c = 0,080 + 0,061 3 \lg J$$

Avec :  $\eta_a$  et  $\eta_c$  exprimés en V,  
 $J$  exprimée en kA/m<sup>2</sup> [9].

## 2.2. Matériaux

### 2.2.1. Matériaux de structure

Les premiers appareils industriels travaillaient en milieu acide (acide sulfurique) et utilisaient le plomb comme matériau conducteur pour les électrodes et les tuyauteries. Or les problèmes de corrosion des électrodes ont rapidement conduit tous les constructeurs employer des solutions alcalines.

Les aciers austénitiques à 18 % de chrome et 10 % de nickel conviennent pour des températures de fonctionnement inférieures à 90°C. Entre 90 et 120°C, l'emploi du Monel Alloy 400 ou d'aciers austénitiques à 25 % de chrome et 20 % de nickel devient nécessaire. Au-delà de 120°C, le Nickel 200 ou 201 demeure la seule alternative.

Les étanchéités et l'isolement des cellules les unes des autres nécessitent l'emploi de matériaux isolants compatibles avec le milieu basique. Les matériaux en usage sont le poly-sulfone jusqu'à 120° et les résines fluorées (PTFE, FEP, PFA) aux températures supérieures. Certains joints à base d'amiante et d'élastomères sont employés afin d'introduire un peu d'élasticité [9].

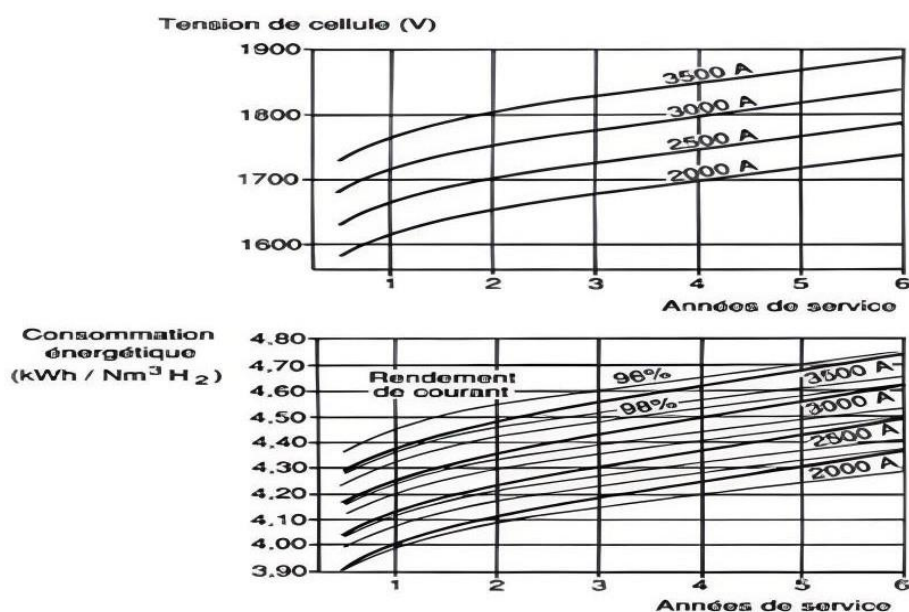
### 2.2.2. Cathodes

La protection cathodique et le milieu basique limitent les problèmes de

Corrosion de la cathode. Ainsi, le fer (acier doux) se trouve dans une de ses zones de passivité et peut-être employé jusqu'à 100°C.

La recherche d'une surtension cathodique plus faible conduit à activer la cathode par formation d'un dépôt de surface à action catalytique :

- Le nickel-soufre continue à être employé sur certains appareils industriels (Norsk-Hydro) ; il s'obtient par dépôt électrolytique dans des bains comportant par exemple des sulfatés de nickel et d'ammonium, du thiosulfate de sodium, du citrate de sodium ou du sulfate de nickel et de la thio-urée (Norsk-Hydro).
- L'alliage nickel-zinc est employé par Bamag : il peut être obtenu par dépôt électrolytique dans un bain de sulfates de nickel et de zinc, de chlorure d'ammonium, d'acétate de sodium et d'acide borique (d'autres compositions de bain ont été proposées. Ces alliages binaires ou ternaires de nickel [10].
- Divers alliages à base de fer, de cobalt, de tungstène, de molybdène, de sélénium, de tellure, d'arsenic, d'antimoine et de vanadium sont cités comme un moyen d'activation des cathodes. L'emploi de sels insolubles de molybdates de nickel a fait l'objet d'un développement récent par les Ateliers et Chantiers de Bretagne. Un revêtement d'alliage nickel-molybdène- vanadium a également été proposé [11].



**Rappel :** 1 Nm<sup>3</sup> = 1 m<sup>3</sup> de gaz mesuré à 0 °C et à pression atmosphérique.

**Figure II 4.** Évolution des performances, en fonction du temps, d'un électrolyseur industriel avec activation nickel-soufre

### 2.2.3. Anodes

Les anodes sont constituées d'acier nickelé pour une température de fonctionnement inférieure à 90°C, et de nickel massif au-delà.

Le dépôt catalytique des anodes reste l'objet de nombreuses recherches et la stabilité dans le temps demeure encore aujourd'hui un point délicat :

- Le dépôt galvanique de nickel-soufre en bain de sulfate de nickel et de thiosulfate de sodium est employé par Norsk-Hydro jusqu'à 80°C.
- Les oxydes mixtes semi-conducteurs font l'objet d'un développement récent pour les températures supérieures à 100°C ; une activation anodique à base de pérovskite  $LaxSr_{1-x}CoO_3$  fixée à l'électrode par un liant à base de résine fluorée a été proposée [9].

### 2.2.4. Diaphragmes

Membrane poreuse disposée entre l'anode et la cathode, le diaphragme sépare les bulles d'hydrogène des bulles d'oxygène en permettant le passage des ions. Le diamètre moyen des pores demeure de préférence inférieur à 1 µm. Il est nécessairement constitué d'un matériau hydrophile.

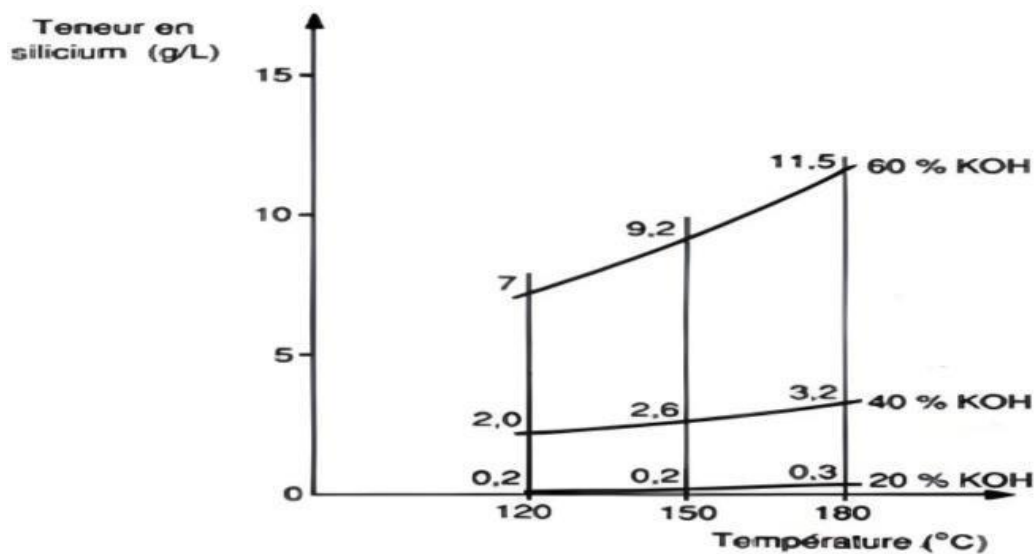
Un matériau conducteur (nickel fritté, toile métallique) peut être utilisé sous réserve que la chute ohmique inhérente au passage du courant entre ses deux faces demeure inférieure à 1,23 V de façon à éviter une électrolyse secondaire sur chaque face. On peut utiliser une feuille de nickel de faible épaisseur (0,1 mm) munie de trous carrés (2 000 trous/m<sup>2</sup>). Ces diaphragmes doivent être isolés des électrodes par des entretoises (grillages isolants par exemple) afin d'éviter les courts-circuits internes créés par des déformations sous l'effet de variations de pression instantanées.

Afin d'éviter ces problèmes d'isolation, on emploie de préférence des matériaux isolants. Le matériau le plus utilisé est l'amiante blanc (variété chrysotile) sous forme de carton (Lurgi) ou de toile (SRTI, Bamag) dont la température maximale d'emploi fut longtemps limitée à 90°C.

L'analyse des solutions de potasse permet de détecter des traces de silicate ; Il se produit dans la solution de potasse un équilibre chimique entre les ions silicates et le chrysotile, ce qui a pour effet de limiter la corrosion de ce dernier. Il est donc

recommandé, pour les électrolyseurs opérant à température inférieure à 90°C, d'éviter le renouvellement de l'électrolyte et, pour un fonctionnement à température supérieure, d'introduire le silicate nécessaire à l'équilibre dès le remplissage. La concentration d'équilibre en fonction de la température est donnée sur la figure 5.

La structure des toiles d'amiante est variable ; on recherche un tissu très serré qui conserve une faible épaisseur, par exemple des toiles renforcées par des fils de nickel. Le diaphragme d'amiante convient aujourd'hui aux conditions opératoires d'exploitation. La recherche de meilleures performances par un accroissement de la température de fonctionnement d'une part, les problèmes posés par l'apparition de cancers liés à l'emploi de l'amiante d'autre part, laissent penser qu'un matériau de substitution devra être mis en œuvre dans le futur. La zircone, dont les tests de corrosion en autoclave ont donné satisfaction jusqu'à 200 °C, pourrait sans doute convenir si le coût des tissus baissait [6].



**Figure II 5.** Concentration d'équilibre du silicate dans la solution de potasse (en g de Si par litre) en fonction de la température d'après. Conception des appareils industriels

## 2.3. Conception de appareils industriels

### 2.3.1 Structures monopolaire et bipolaire

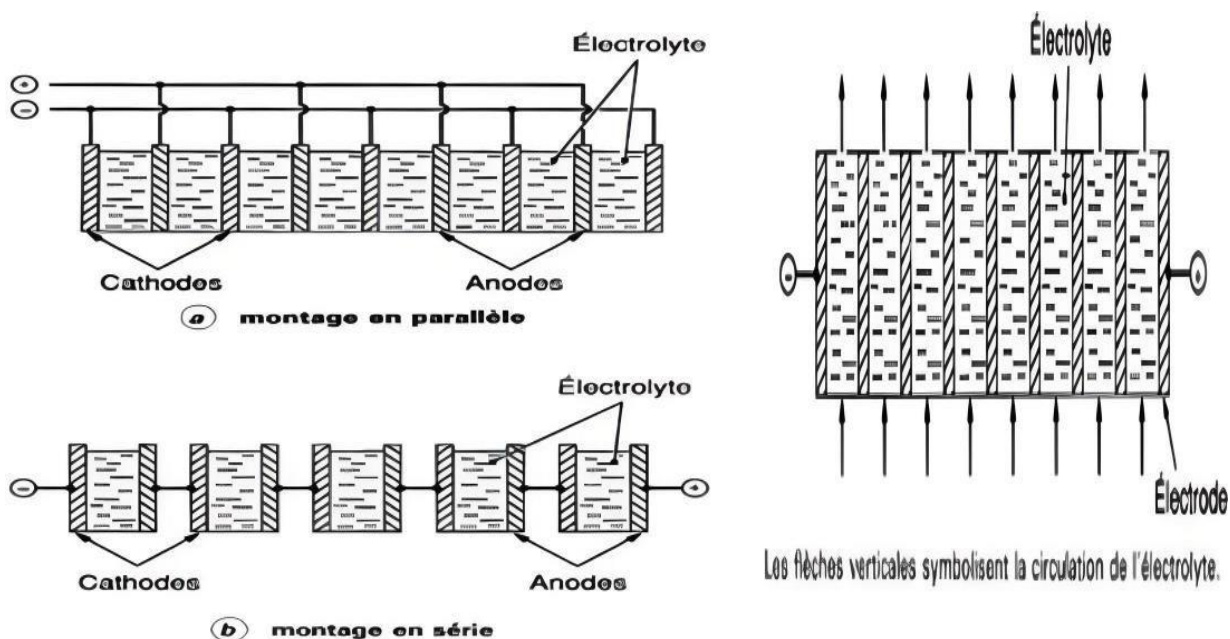
Les premiers appareils d'électrolyse disposaient d'électrodes monopolaires (figure 6) : chaque anode est connectée au pôle plus, chaque cathode au pôle moins. Cette disposition conduit à utiliser des transfo-redresseurs fonctionnant sous basse



tension et forte intensité, de coût onéreux et engendrant des chutes ohmiques de contact importantes. Une première amélioration consiste à mettre en série des cuves d'électrolyse, mais la liaison de cuve à cuve nécessite toujours des conducteurs de forte section.

Le perfectionnement ultime est obtenu grâce aux électrode 15 s bipolaires (figure 6) : une cellule d'électrolyse est définie par deux électrodes se faisant face et constituant les fonds. Chaque électrode est cathode sur une face et anode sur l'autre face. Les liaisons externes de cuve à cuve sont supprimées, la conduction s'opère à l'intérieur de l'électrode au travers de son épaisseur : la chute ohmique devient minimale.

Cette conception se retrouve aujourd'hui sur tous les appareils industriels, à l'exception de ceux de Noranda (Canada) qui semble attaché à la structure mono polaire héritée de Comino. Cette conception introduit cependant une difficulté : l'électrode présente une face en milieu oxydant (l'anode) et une face en milieu réducteur (la cathode). En milieu basique, le choix du matériau d'électrode devient alors fort limité. Jusqu'à 90°C, l'acier doux muni d'un nickelage soigné du côté anodique convient parfaitement ; au-delà, les nickelages ne présentent pas une durée de vie suffisante, il devient nécessaire de faire appel au nickel massif [9].



**Figure II 6.** Electrolyseur à électrodes bipolaires et électrodes Monopolaires.

### 2.3.2 Contrôle des températures et des concentrations

Un électrolyseur industriel fonctionne en général sous une tension comprise entre 1,8 et 2,2 V, située au-dessus de la tension thermomètre. La consommation énergétique est comprise entre 4,5 et 5 kWh/Nm<sup>3</sup> d'hydrogène. Le rendement énergétique est donc toujours inférieur à 1 et il convient d'éliminer en permanence la chaleur dégagée liée aux irréversibilités. De plus, les réactions qui s'opèrent aux électrodes engendrent des déséquilibres de concentration qu'il convient de compenser.

La circulation de l'électrolyte dans tous les compartiments anodiques et cathodiques assure le refroidissement des cellules et le maintien des concentrations ioniques. L'écart de température entre l'entrée et la sortie des cellules d'électrolyse est généralement compris entre 5 et 15°C. Dans ces conditions, l'écart de concentrations ioniques entre l'anolyte et le catholyte demeure limité [9].

### 2.3.3 Appareils fonctionnant à pression atmosphérique

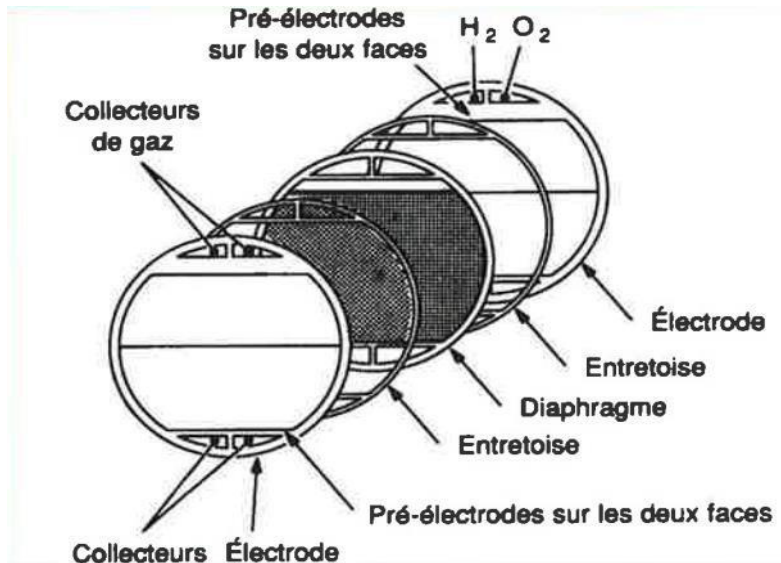
La majorité des appareils industriels (Demag, Bamag, Oerlikon, CJB, Norsk-Hydro, Noranda, De Nora) opèrent sous une pression voisine de la pression atmosphérique.

Chaque cellule comporte plusieurs cadres empilés (figure 8). L'ensemble des cellules est maintenu par des tirants externes pourvus de rondelles élastiques destinées à compenser les écarts de dilatation entre les tirants à température fixe et l'empilement de cellules à température variable.

Après sortie de leurs dégazeurs respectifs, l'anolyte et le catholyte sont refroidis et remélangés avant réintroduction dans le collecteur d'entrée des cellules d'électrolyse (figure 7).

À la sortie de son séparateur, l'hydrogène est refroidi afin d'atteindre la pointe rosée souhaitée, subit une déviation de couleur et passe sur un catalyseur de type Déoxo qui élimine les traces d'oxygène présentes par combustion.

Une très grande pureté (> 99,99% en volume) est alors atteinte [9]



**Figure II 7.** Vue éclatée d'une cellule d'électrolyse

### 2.3.4 Évolution de la technologie

- L'électrolyse de l'eau en milieu alcalin profite d'une longue expérience. Son développement futur s'appuiera essentiellement sur la mise au point et le développement de nouveaux matériaux permettant un fonctionnement à plus haute température autorisant une densité de courant plus importante sous une tension de cellule sensiblement constante.
- L'électrolyse en milieu acide connaît une nouvelle jeunesse avec les travaux de la General Electric Compagnie sur les piles à combustibles. La principale caractéristique réside dans l'emploi d'une membrane cationique de type Nafion (polymère per fluoré d'acide sulfonique) et de catalyseurs à base de métaux précieux en cathode (noir de platine) et en anode. Actuellement, l'application industrielle porte sur la production de faibles quantités d'hydrogène très pur pour les laboratoires [12].
- L'électrolyse de la vapeur d'eau pourrait modifier totalement la technique : la tension de décomposition réversible chute de 1,23 V (à 25 °C) à 0,95 V (à 1 000°C). Le support constituant le diaphragme serait alors constitué d'un oxyde électrolyte solide (zircone stabilisée à l'oxyde d'yttrium par exemple), la cathode d'un dépôt de nickel fixé sur ce support et l'anode d'un dépôt d'oxyde mixte (oxyde d'indium stabilisé par de l'oxyde d'étain) [13].

**3. Conclusion :**

Ce chapitre examine en détail de la production d'hydrogène, soulignant la complexité du fonctionnement du système dans une station. Cette complexité résulte de plusieurs facteurs, notamment les principes théoriques de l'électrolyse de l'eau et l'incorporation des caractéristiques physicochimiques et hydrauliques. De plus, la complexité est également influencée par la conception avancée des appareils industriels utilisés dans le processus.

## **Chapitre III :**

# **Étude technique de la station de l'H<sub>2</sub>**

## 1 Introduction

La station de production de l'hydrogène de la centrale de CAP DJINET est fournie par Hydrogéniques, c'est un système à hydrogène tout en un comprenant 2 lignes à 100 % composées chacune de :

- Un électrolyseur d'eau HySTAT 15 d'une capacité de maximale de 15 Nm<sup>3</sup>/h.
- D'hydrogène, d'une pureté jusqu'à 99,998 % et d'une pression de 10-20 bar

Un petit réservoir tampon intermédiaire.

Un compresseur installé sur châssis mobile pour augmenter la pression jusqu'à 160 bars.

L'hydrogène est alimenté au départ du compresseur dans une station de remplissage où jusqu'à trois racks de 16 bouteilles de 50 l de H<sub>2</sub> peuvent être remplies simultanément.

L'ensemble HySTAT/compresseur est configuré par défaut pour être démarré manuellement par l'opérateur chaque fois que le remplissage des bouteilles de H<sub>2</sub> est jugé nécessaire.

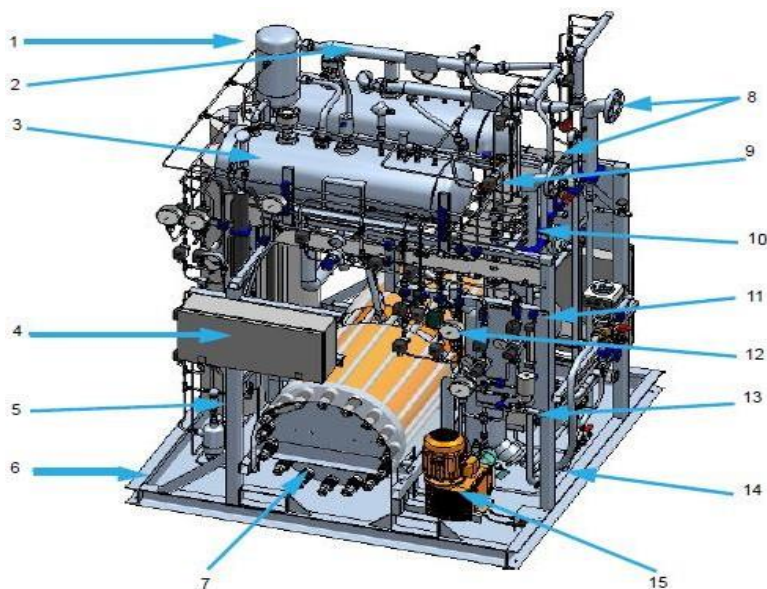
## 2 Présentation du système L'unité

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 d'eau 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 des 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

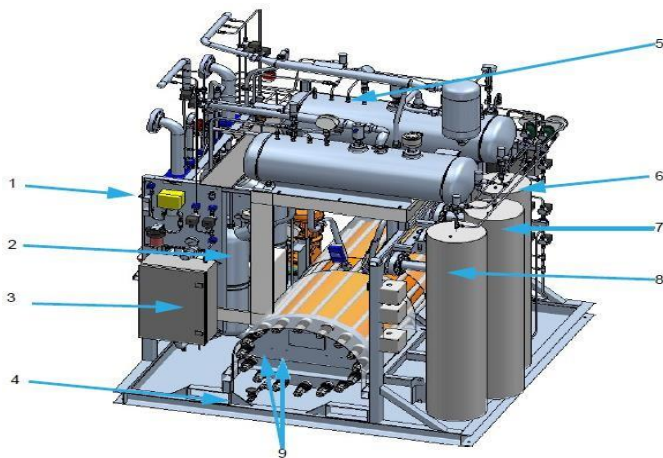
tableau de commande du compresseur, l'armoire électrique et les détecteurs d'hydrogène. Des schémas d'agencement général d'usine H<sub>2</sub> [15].

### 3 Principaux composants



**Figure III.1.** Partie des procédés d'un HySTAT (vue avant)

- |   |   |
|---|---|
| 1. Rinceur  | 9. Électrovanne                             |
| 2. Filtre coalescent                              | 10. Raccordement de la conduite utilisateur |
| 3. Séparateur de gaz                              | 11. Panneau de l'analyseur                  |
| 4. Boîtier de commande GGS autoportant A          | 12. Panneau du gaz purgé                    |
| 5. Châssis (ou châssis mobile)                    | 13. Réservoir avec coupure d'air            |
| 6. Cuvette d'égouttage                            | 14. Water lock                              |
| 7. Pile de cellules                               | 15. Pompe à eau déminéralisée.              |
| 8. Raccordement de conduite de mise à l'air libre |   |



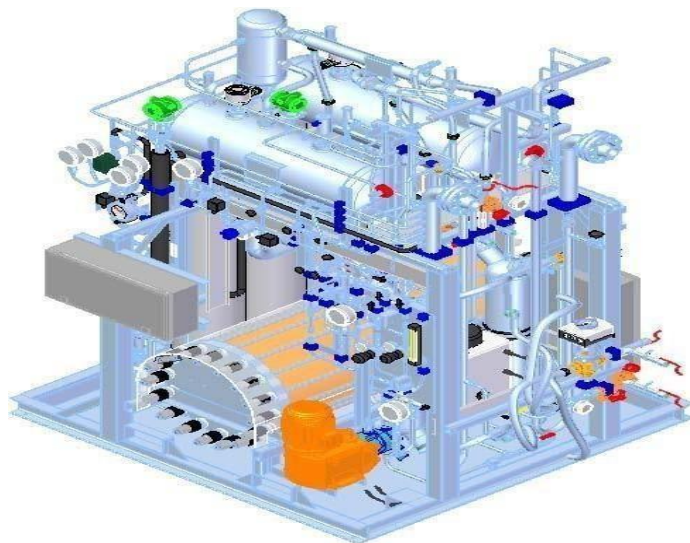
**Figure III.2.** Partie des procédés d'un HySTAT (vue arrière)



- |   |  |
|---|--|
| 1. Panneau HTO  | 6. Sécheur Deoxo                                     |
| 2. Refroidisseur d'électrolyte (échangeur de chaleur) | 7. Sécheur A   |
| 3. Boîtier de commande GGS autoportant B              | 8. Sécheur B   |
| 4. Vanne d'électrolyte                                | 9. Trous taraudés pour le Raccordement des câbles CC |
| 5. Séparateur de gaz                                  |  |

### 3.1. Châssis mobile de procédé

Cet équipement est destiné à une installation à l'intérieur. La partie Procédé assurant la production d'H<sub>2</sub> est classée uniquement pour les zones II. La partie Procédé se présente sous forme de châssis entièrement assemblé prêt à être utilisé et facile à installer et comprend les équipements référencés ci-dessous :



**Figure III.3.** Châssis mobile de procédé HySTAT

#### ➤ La pile de cellules

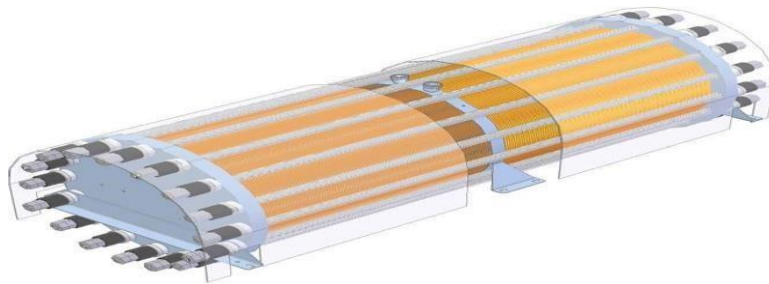
La pile de cellules par électrolyse sous pression est le composant principal du générateur d'hydrogène HySTAT.

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



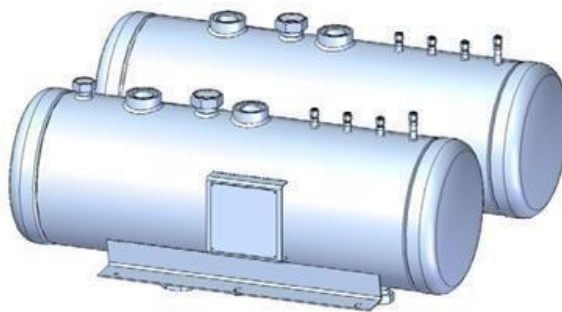
La bride centrale est mise à la terre [15].



**Figure III.4.** La pile de cellule

➤ **Séparateurs gaz-liquide**

Les gaz produits dans la pile de cellules sont dirigés vers les séparateurs de gaz qui sont deux récipients sous pression en acier inoxydable conçus pour séparer le H<sub>2</sub> et l'O<sub>2</sub> de la solution d'électrolyte.



**Figure III.5.** Séparateur gaz-liquide.

➤ **Échangeurs thermiques pour électrolyte**

L'électrolyte refluant des séparateurs de gaz vers la pile de cellules passe dans les échangeurs de chaleur pour être refroidie.



**Figure III.6.** Échangeur de chaleur de l'électrolyte

➤ **Unité de rinçage des gaz**

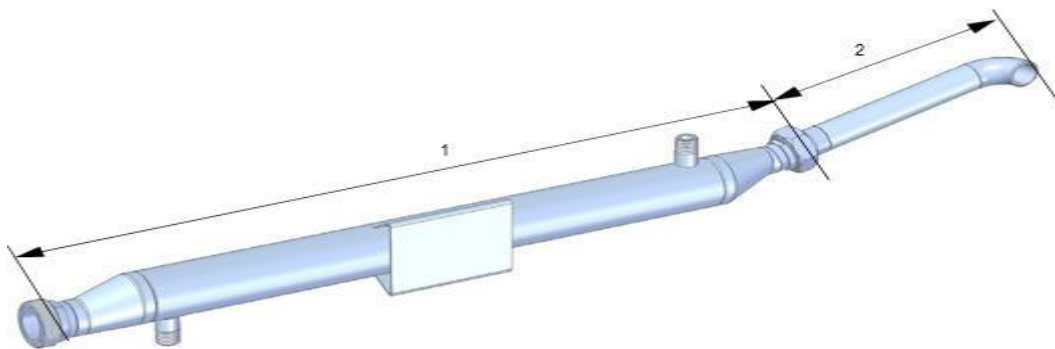
Le rinceur est un petit réservoir placé au-dessus et raccordé au séparateur gaz-liquide de l'hydrogène. Dans le rinceur, le KOH restant est rincé ou lavé de l'hydrogène produit. Le flux gazeux passe dans un garnissage spécial et un joint hydraulique, à haute pression, ce qui rend le processus de rinçage du gaz très efficace. L'approvisionnement régulier en eau pure à partir de la pompe à eau déminéralisée améliore encore l'efficacité.



**Figure III.7.** Rinceur

➤ **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 dévésiculateur (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 dévésiculateur (élément filtrant en treillis métallique), où les gouttelettes d'eau restantes sont extraites du flux gazeux [15].



**Figure III.8.** Filtre coalescent

➤ **Pompe à eau déminéralisée**

La pompe à eau déminéralisée pompe de l'eau déminéralisée pure vers le système. Elle récupère de l'eau déminéralisée dans le réservoir avec coupure d'air et la pompe vers le rinceur, faisant ainsi passer la pression de l'eau déminéralisée de la pression atmosphérique du réservoir avec coupure d'air à la pression du système dans le rinceur. Si la somme des deux niveaux dans les séparateurs gaz-liquide est inférieure à une certaine valeur, la pompe est actionnée pour rétablir les niveaux.



**Figure III.9.** Pompe à eau déminéralisée

➤ **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 III.10.** Panneau HTO.

➤ **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.



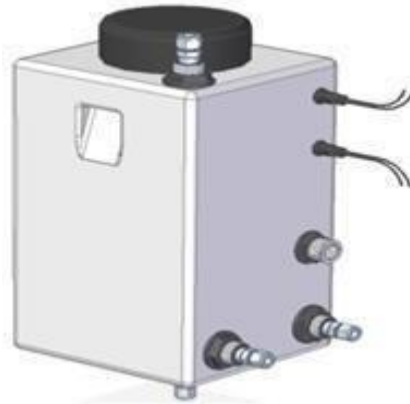
**Figure III.11.** Panneau de conductivité

#### ➤ Purge de N<sub>2</sub> automatique

Un système de conduites et d'électrovannes permet la purge d'azote à partir du tableau de commande sans intervention manuelle Ceci permet à la séquence de purge du N<sub>2</sub> dans le HySTAT et le sécheur DEOXO de s'effectuer automatiquement. La purge de l'azote est nécessaire avant de démarrer l'unité lorsque la pression interne est inférieure à 15kPa. L'API du système active dans l'ordre les différentes valves du système, assurant l'évacuation de tout l'air avant la production d'hydrogène.

- Instruments, détecteurs, capteurs, commutateurs, tuyauterie, valves et évents (H<sub>2</sub> et O<sub>2</sub>).
- Réservoir tampon d'eau déminéralisée.
- Le réservoir tampon d'eau déminéralisée 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.
- Le réservoir tampon d'eau déminéralisée est raccordé à l'atmosphère.

- Le volume est limité pour réduire la contamination atmosphérique en CO<sub>2</sub> dans l'eau déminéralisée.



**Figure III.12.** Réservoir avec coupure d'air [15].

### 3.2. Sécheur Deoxo

Le sécheur Deoxo, intégré dans le châssis mobile de procéder HySTAT, est conçu pour améliorer la pureté de l'hydrogène à un niveau minimum de 99,998 % par absorption (tamis moléculaire) et régénération. Cette pureté est atteinte en 2 étapes

➤ **Étape 1 :** Deoxo

La teneur en O<sub>2</sub> dans le flux d'H<sub>2</sub> gazeux est réduite par réaction catalytique. L'O<sub>2</sub> résiduel dans le H<sub>2</sub> est inférieur à 2 ppm.

➤ **Étape 2 :** séchage

Cette étape élimine l'humidité dans 2 tours de séchage. Une tour fonctionnera pendant que l'autre sera en mode veille/régénération. L'hydrogène produit aura un point de rosée atmosphérique inférieur à -75°C. Le point de rosée à la pression de remplissage (160 bars) sera inférieur à -36°C.

Le sécheur Deoxo est intégré dans le châssis mobile de procédé. Le sécheur Deoxo est contrôlé par l'API central dans le tableau de commande et comprend :

- Récipient Deoxo avec catalyseur pour éliminer le H<sub>2</sub> dans l'O<sub>2</sub> (chauffé et isolé)
- Échangeur de chaleur



- Séparateurs d'humidité
- Système de pot de vidange pour l'évacuation de l'eau
- Instruments
- Deux tours de séchage remplies avec un tamis moléculaire (chauffé et isolé) (régénérées à intervalle, remplissage d'adsorption)
- Raccordements au circuit de refroidissement des gaz
- Raccordement aux événements de la partie Procédé (H<sub>2</sub> et O<sub>2</sub>)



**Figure III.13.** Sécheur Deoxo

### 3.3. Mesure de pureté en ligne (OLP) avec logique de purge

Le H<sub>2</sub> produit est surveillé en continu et en temps réel sur le plan de la teneur en eau (point de rosée) et de la teneur en oxygène. La logique de purge évacuera automatiquement le H<sub>2</sub> dans l'atmosphère si sa qualité n'est pas conforme aux spécifications tout en générant une alarme. Une fois que la qualité répond de nouveau aux spécifications, la valve à l'atmosphère se ferme et la valve de la conduite ouvre.







**Figure III.15.** Refroidisseur de gaz

### **3.4.2. 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 [15].



**Figure III.16.** Refroidisseur de l'électrolyte et du compresseur

### 3.5. 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.



**Figure III.17.** Réservoir tampon

### 3.6. 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 [6].



**Figure III .18.** Compresseur à piston double effet

### **3.7. Poste de remplissage des bouteilles d'hydrogène :**

Afin de remplir les racks de bouteille pour le transport de l'hydrogène produit vers le site requis, il existe un poste de remplissage des bouteilles/racks. Le système est composé de conduites, valves, raccords en acier inoxydable SS316L et est équipé de 3 points de remplissage adaptés au remplissage simultané.



**Figure III.19.** Poste de remplissage des bouteilles

### **3.8. 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 III.20.** Pompe à vide.

### 3.9. 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 [6].



**Figure III .21.** Armoire électrique de l'EPS

### 3.10. 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.





**Figure III.22.** Tableau de commande (CP)

### 3.11. 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.



**Figure III.23.** Tableau principal (MP) et tableau de commande du compresseur

### **3.12. Centre de commande du moteur (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 défailante est ouvert.



Figure III.24. Le centre de commande du moteur (MCC) [15].

### 4. Les schémas électriques :

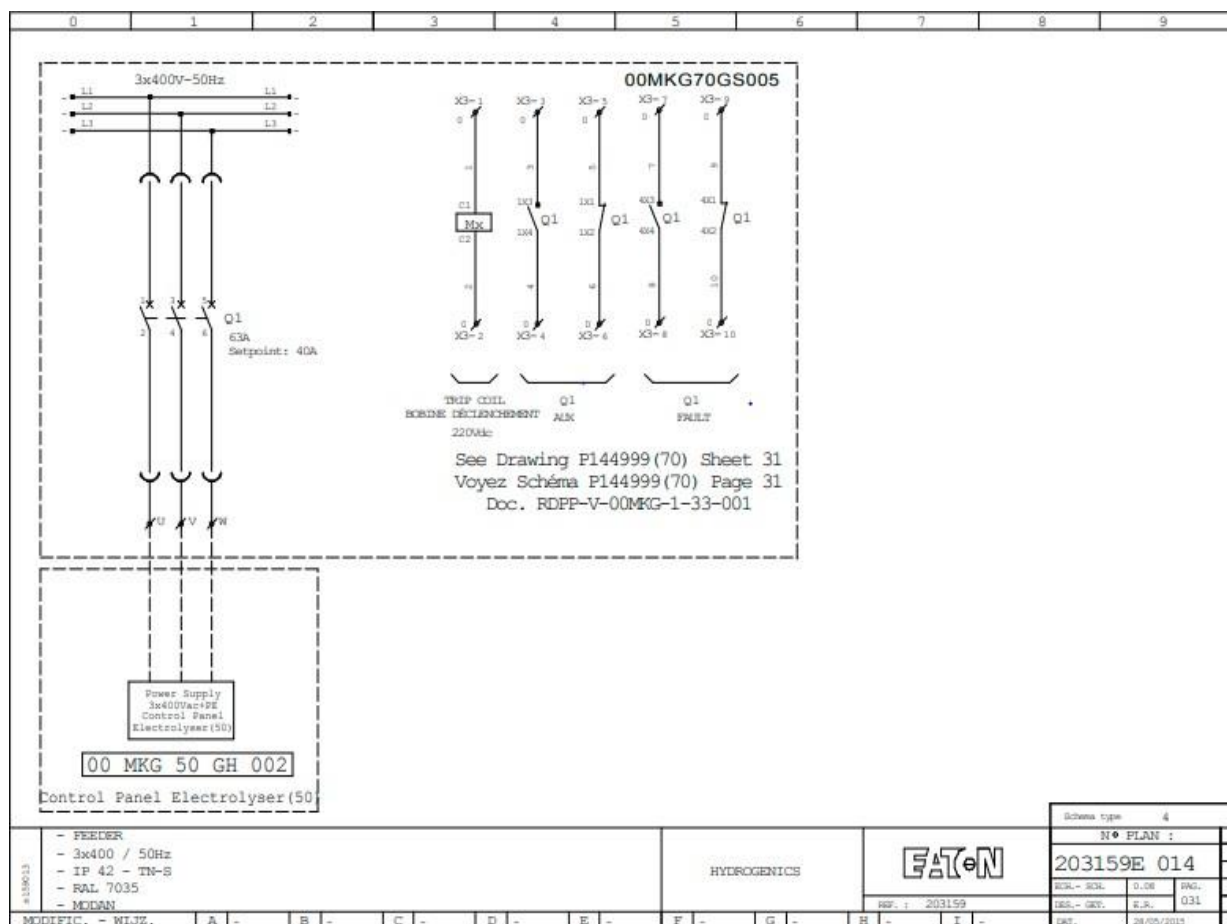


Figure III.25. Schémas électriques d'électrolyseur

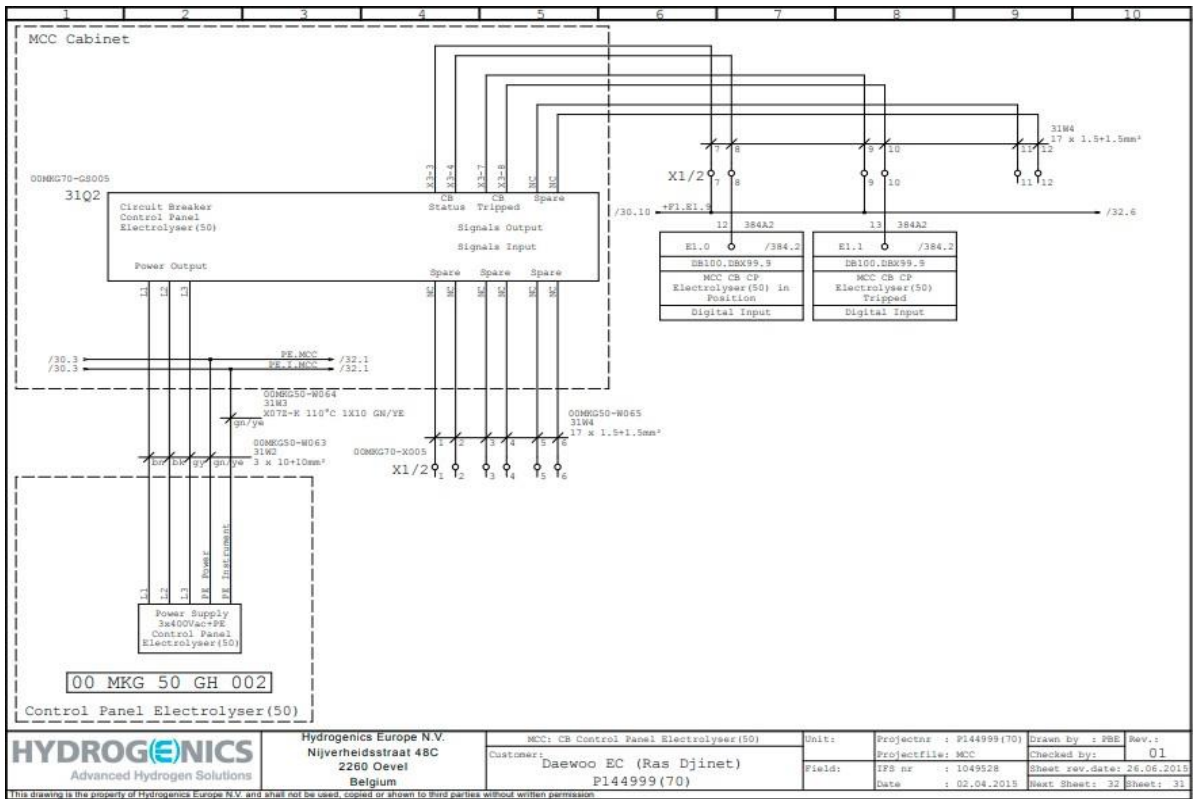


Figure III.26. Schémas électriques d'électrolyseur

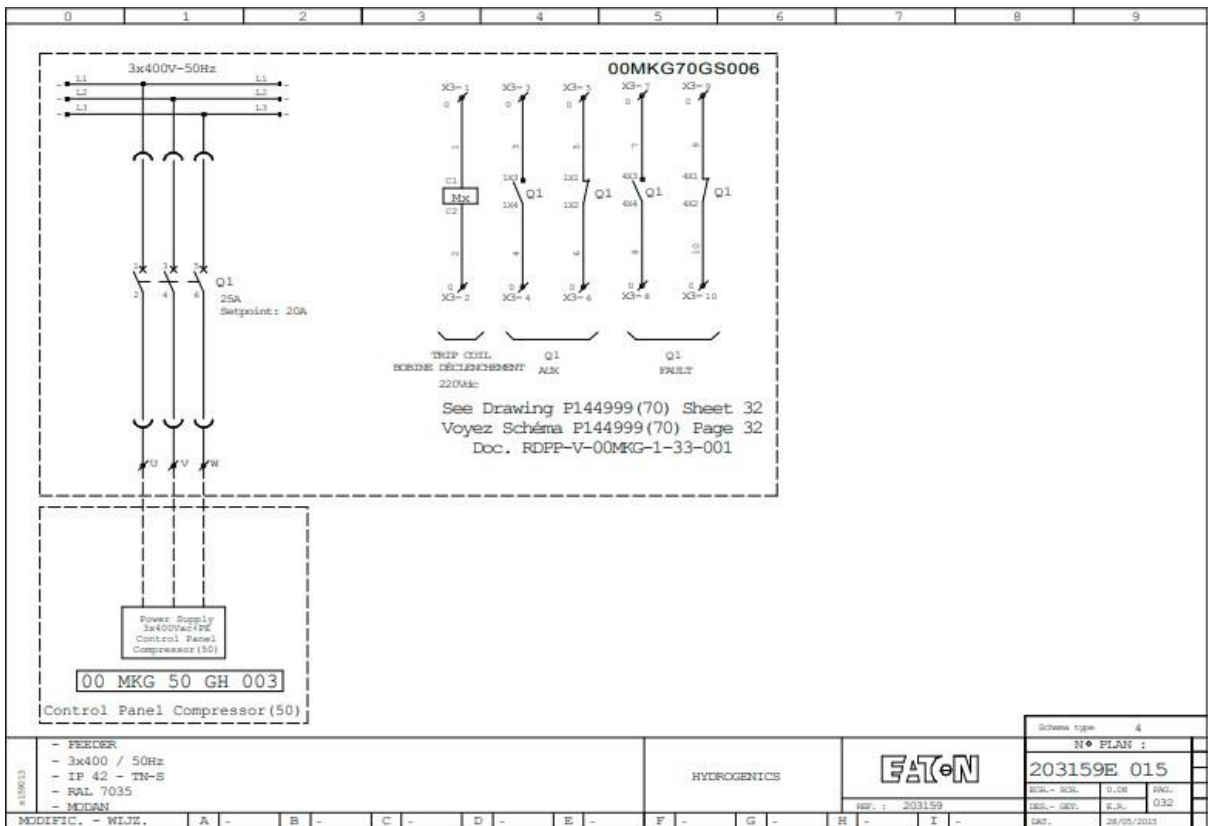


Figure III.27. Schémas électriques de compresseur

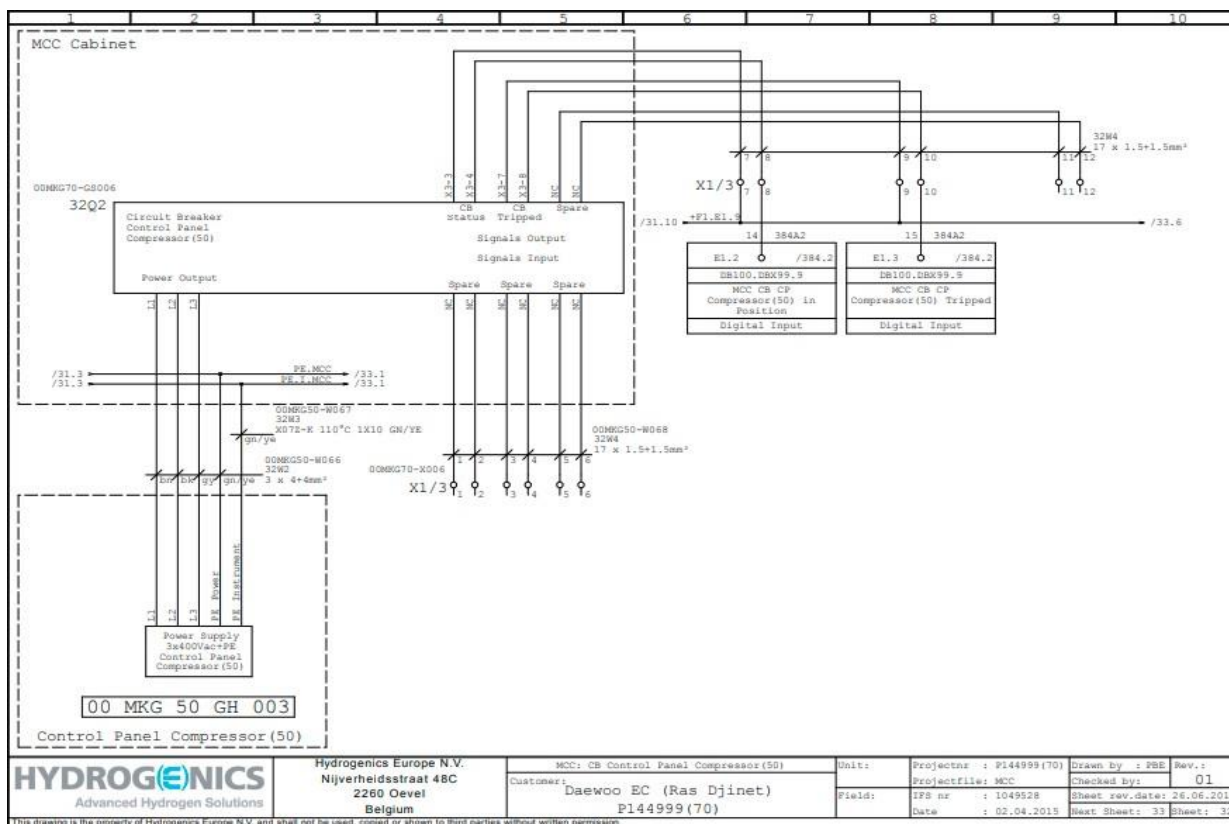


Figure III.28. Schémas électriques de compresseur

## 5. Conclusion :

C’été 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 ; qui se répartissent en trois parties essentielles : électrique, mécanique et hydraulique.

## **Chapitre IV :**

# **Automatisation de station de production de L'hydrogène**

## 1. Introduction

Les systèmes automatisés sont en plein essor de nos jours sur tous dans les domaines industriels de production de le H2 qui est l'un des domaines les plus important dans l'économie d'un pays. Le présent document est supposé être exhaustif et représente donc une image directe des éléments implémentés dans le programme d'automatisation du processus énergétique de la production de le H2. Les fonctions supplémentaires ont toujours le statut « Ture » (vrai) afin qu'elles n'influencent pas les fonctionnalités des logiques.

## 2. Généralité sur les automates programmable industriel (API) :

### 2.1 Définitions :

Selon la norme française EN 61131-1, un automate programmable est un système électronique programmable fonctionnant de manière numérique, destiné à être utilisé dans un environnement industriel, qui utilise une mémoire programmable pour le stockage interne des instructions orientées utilisateur aux fins d mise en œuvre des fonctions spécifiques, telles que des fonctions de logique, de mise en séquence, de temporisation, de comptage et de calcul arithmétique, pour commander au moyen d'entrées et de sorties Tout ou Rien ou analogiques divers types de machines ou de processus Il a comme rôles principaux dans un processus [24] :

- D'assurer l'acquisition de l'information fournie par les capteurs.
- En faire le traitement des informations des systèmes.
- Élaborer la commande des actionneurs et les capteurs.
- Assurer également la communication pour l'échange d'informations avec l'environnement.

### 2.2 Types d'automates

Les automates peuvent être de type compact ou modulaire [25] :

- **Compact** : Il intègre le processeur, l'alimentation, les entrées et les sorties. Selon les modèles et les fabricants, il pourra réaliser certaines fonctions supplémentaires (comptage rapide, E/S analogiques...) et recevoir des extensions en nombre limité, ils sont généralement destinés à la commande de petits automatismes





**Figure IV. 1 :** Automate compact (Allen-Bradley). [25]

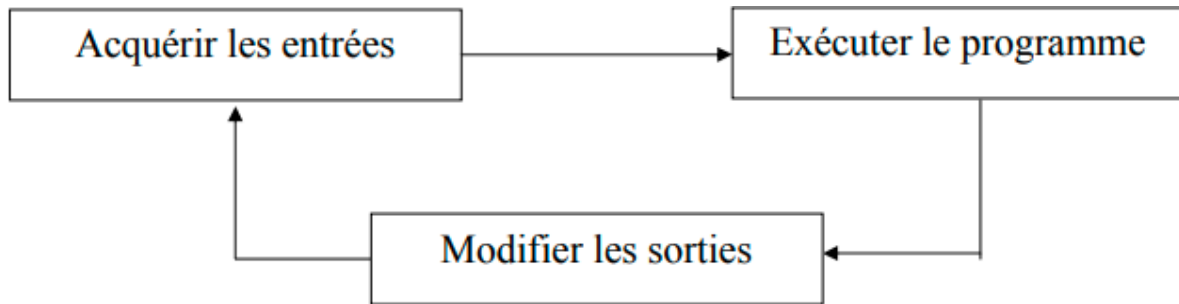
- **Modulaire :** Dans ce modèle, le processeur, l'alimentation et les interfaces entrées/sorties sont des unités séparées (modules). Ces automates sont intégrés dans les automatismes complexes de grande puissance de traitement.



**Figure IV. 2 :** Automate modulaire (Siemens). [26]

### 2.3 Mode de fonctionnement :

L'API fonctionnement suivant un programme, il reçoit les informations des dispositifs d'entrée, et prend des décisions sur les actions à exécuter (activer ou désactiver des sorties). Principalement son rôle consiste à fournir à la partie opérative des instructions afin d'exécuter un travail précis, Exemple : la sortie ou la rentrée d'une tige de vérin. [27]

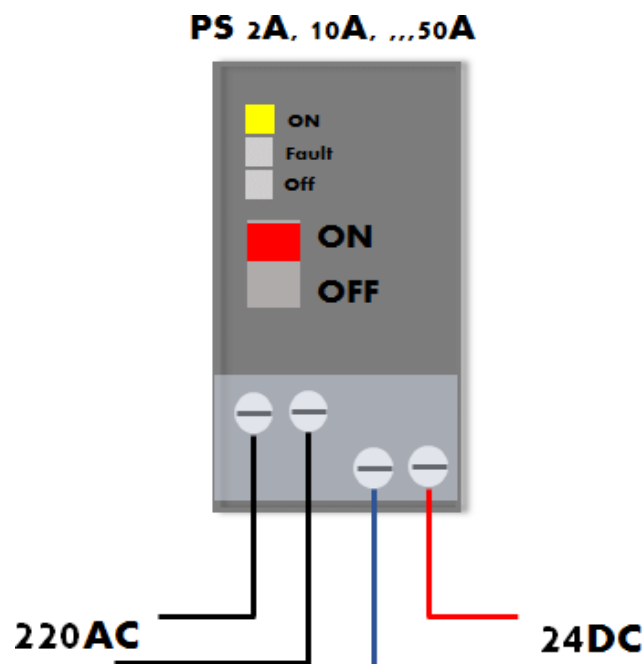


**Figure IV.3 :** cycle de fonctionnement d'un API

## 2.4 Structure de API

### ➤ Module d'alimentation (PS) :

Permettant à l'automate de recevoir l'énergie électrique nécessaire à son fonctionnement, à partir d'une alimentation en 220V alternatif. Ce module délivre des tensions dont l'automate à besoin (5v, 12v, 24v) continu, et une mise à la terre doit être prévue. [27]



**Figure IV.4:** module d'alimentation d'API [28]

➤ **Unité centrale de traitement (CPU) :**

Elle représente le regroupement du processeur et de la mémoire centrale, commande l'interprétation et l'exécution des instructions programmes, ces dernières sont effectuées les unes après les autres, séquencées par une horloge. Si deux actions doivent être simultanées, l'API les traite successivement. L'unité centrale est caractérisée principalement par la vitesse de traitement, voir le temps de réponse (scrutation des entrées, vitesse de traitement et affectation des sorties). Elle se compose de deux éléments qui sont : Le processeur et la mémoire.



**Figure IV.5** Unité centrale de traitement (CPU)

➤ **Processeur :**

Il assure une bonne commutation entre la zone mémoire et les interfaces d'entrées et de sorties, et génère les instructions du programme.

Il est composé des éléments suivants :

- Unité logique (UL), qui traite les opérations logiques ET, OU...
- Unité arithmétique et logique (UAL) traitants les opérations de temporisation de comptage et de calcul
- Un accumulateur, représentant le registre de travail, dans lequel se range une donnée ou un résultat.
- Un registre d'instructions, qui contient durant le temps de traitement, l'instruction à exécuter.

- Un décodeur d'instructions, qui décode l'instruction à exécuter en y associant le microprogramme de traitement.

➤ **Mémoire**

Une mémoire est conçue sous forme d'un circuit électrique complexe, permettant de stocker des données binaires, ces dernières peuvent être lus par l'automate. On distingue deux types de mémoires :

- Une mémoire volatile dont le contenu peut être effacé ou modifié facilement, l'exemple des mémoires programmables (EPROM).

- Une mémoire non volatile, avec un contenu qui ne peut être ni effacé, ni modifié, elle porte toutes les instructions permettant d'interroger les modules d'entrées, et avoir des données sur l'état du procédé, ainsi que l'interprétation et l'exécution des instructions provenant de la console de programmation, et la transmission des ordres aux modules de sorties, cette mémoire est appelée la mémoire morte (ROM).

- La mémoire vive (RAM), nécessitant une batterie de sauvegarde pour éviter de perdre son contenu au cas de coupure du courant.

➤ **Modules d'entrées :**

Ils Permettent à l'automate d'acquérir les informations provenant soit du pupitre de commande, ou bien des capteurs et détecteurs. Des diodes électroluminescentes sur le module indiquent l'état de chaque entrée, et facilitent graduellement le contrôle du bon fonctionnement des dispositifs d'entrées et leur raccordement.

➤ **Modules de sorties :**

Offrent à l'automate la possibilité de commander les divers pré-actionneurs (contacteurs, électrovanne, etc.), actionneurs (vérins, moteurs, etc.), et éléments de signalisation. Les tensions de sorties sont de 5v en contenu ou de 24, 48, 110, 220 volts en contenu ou en alternatif. Les sorties peuvent être logiques, analogiques, ou bien numériques [27]



**Figure IV.6** Modules de sorties

## 2.5 Les avantages et les inconvénients :

**Tableau. V .1** : les avantages et inconvénients. [29]

Les avantages	Les inconvénients
<p>Il facilite la documentation des applications, donc leur maintenance.</p> <p>L'API est favorable aux traitements évalués, calculs numérique, régulation etc.</p> <p>La possibilité d'agir deux paramètres matériels et programme.</p> <p>Les API permettent d'ajuster la disponibilité du système aux besoins</p>	<p>L'API ne supprime pas tout le reliage, il reste le câblage du circuit de puissance</p> <p>Sa vitesse peut s'avérer insuffisante.</p> <p>Le déroulement cyclique des programmes peut s'avérer un facteur de complexité et limite les possibilités d'organisation des tâches.</p>

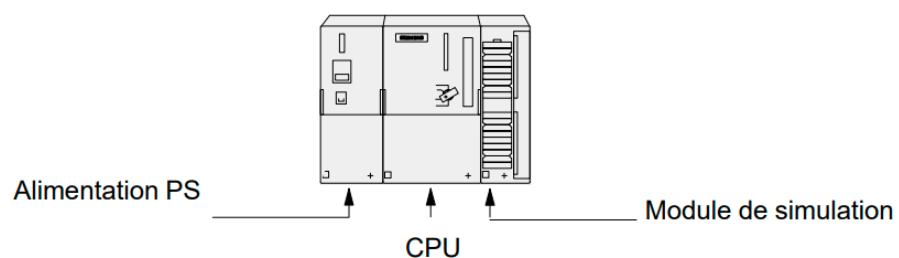
## 2.6 Choix des API :

- Le type des entrées/sorties nécessaire.
- Le nombre d'entrées/sorties nécessaire.
- La qualité du service après-vente.
- Les capacités de traitement du processeur (vitesse, données, opérations, temps réel...)
- Les compétences/expériences de l'équipe d'automaticiens en mise en œuvre.
- Programmation de la gamme d'automate.
- Détermination de l'emplacement de l'API

## 2.7 Câblage de API

Il existe effectivement quelques règles qui régissent les emplacements :

- L'alimentation (PS) doit toujours figurer comme premier module à l'extrême gauche sur le profilé-support.
- La CPU doit toujours être placée comme second module à droite de l'alimentation.
- A droite, à la suite de la CPU, vous pouvez monter 8 modules de signaux au maximum.



**Figure IV.7 :** Règles simples régissant l'emplacement des modules sur le profilé-support

### 3. Le logiciel step7

#### 3.1 Définitions :

STEP 7 est le logiciel de base pour la configuration et la programmation des systèmes SIMATIC (S7-300). Il fait partie de l'industrie logicielle SIMATIC. Les tâches de base qu'il offre à son utilisateur lors de la création d'une solution d'automatisation sont :

- La création et gestion de projet.
- La configuration et le paramétrage du matériel et de la communication.
- La gestion des mnémoniques.
- La création des programmes.
- Le test de l'installation d'automatisation.

Il s'exécute sous les systèmes d'exploitation de Microsoft à partir de la version Windows 95. Par conséquent, il s'adapte à l'organisation graphique orientée objet qu'offrent ces systèmes d'exploitation [30]

#### 3.2 Les langages de programmation :

Pour créer un programme sous STEP7, on dispose de trois langages de programmation CONT, LIST et LOG :

- **Programmation à schéma logique (LOG) :** Le logigramme (LOG) est un langage de programmation graphique qui utilise les boîtes de l'algèbre de Boole pour représenter les opérations logiques et les fonctions complexes [31]

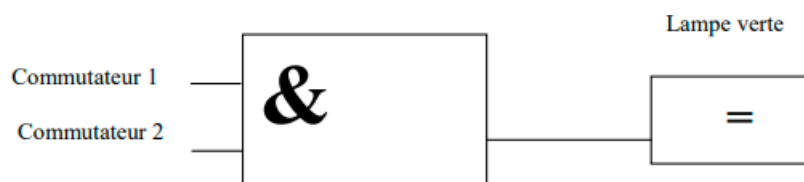
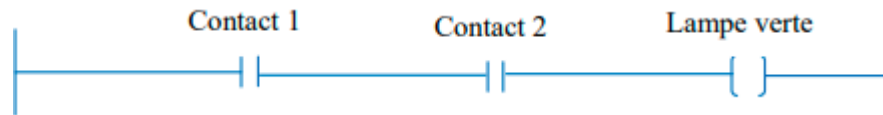


Figure IV.8 : Présentation d'un schéma logique (LOG).

- **Programmation à schéma contact (CONT) :** C'est un langage de programmation graphique. La syntaxe des instructions sont très

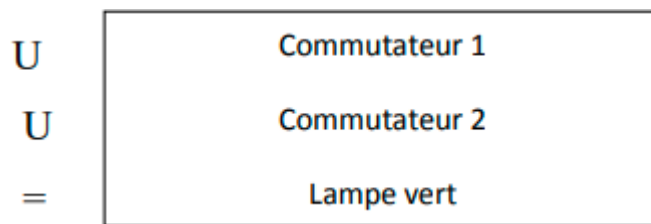


Sembla le aux schémas de circuits électriques. Le langage à CONT permet de suivre facilement le trajet du courant entre les barres d'alimentation en passant par les contacts, les éléments complexes et les bobines.



**Figure IV.8** : Présentation d'un schéma CONT.

- **Programmation à liste (LIST)** : C'est un langage de programmation textuel proche de la machine. Dans cette programmation, les différentes instructions correspondent, dans une large mesure, aux étapes par lesquelles la CPU traite le programme. Pour faciliter la programmation, LIST a été complété par quelques structures de langage évoluées (paramètres de blocs et accès structurés aux données) [31].



**FigureV.9.** Présentation du langage LIST

### 3.3 Structure du programme :

La programmation structurée permet la rédaction claire et transparente de programmes. Elle permet la construction d'un programme complet à l'aide de modules qui peuvent être échangés et/ou modifiés à volonté. Pour permettre une programmation structurée confortable, il faut prévoir plusieurs types de modules : (OB) Bloc d'organisation, (FB) Bloc fonctionnel, (FC) Fonction, (SFB) Bloc fonctionnel système, (SFC) Fonction système, (DB) Bloc de données [31].

### 4 Examen des conditions de démarrage

L'organigramme ci-dessous montre comment examiner les conditions de démarrage. Une liste détaillée des conditions de démarrage et leur explication se trouve dans « Annexe A : Conditions de démarrage » [2].

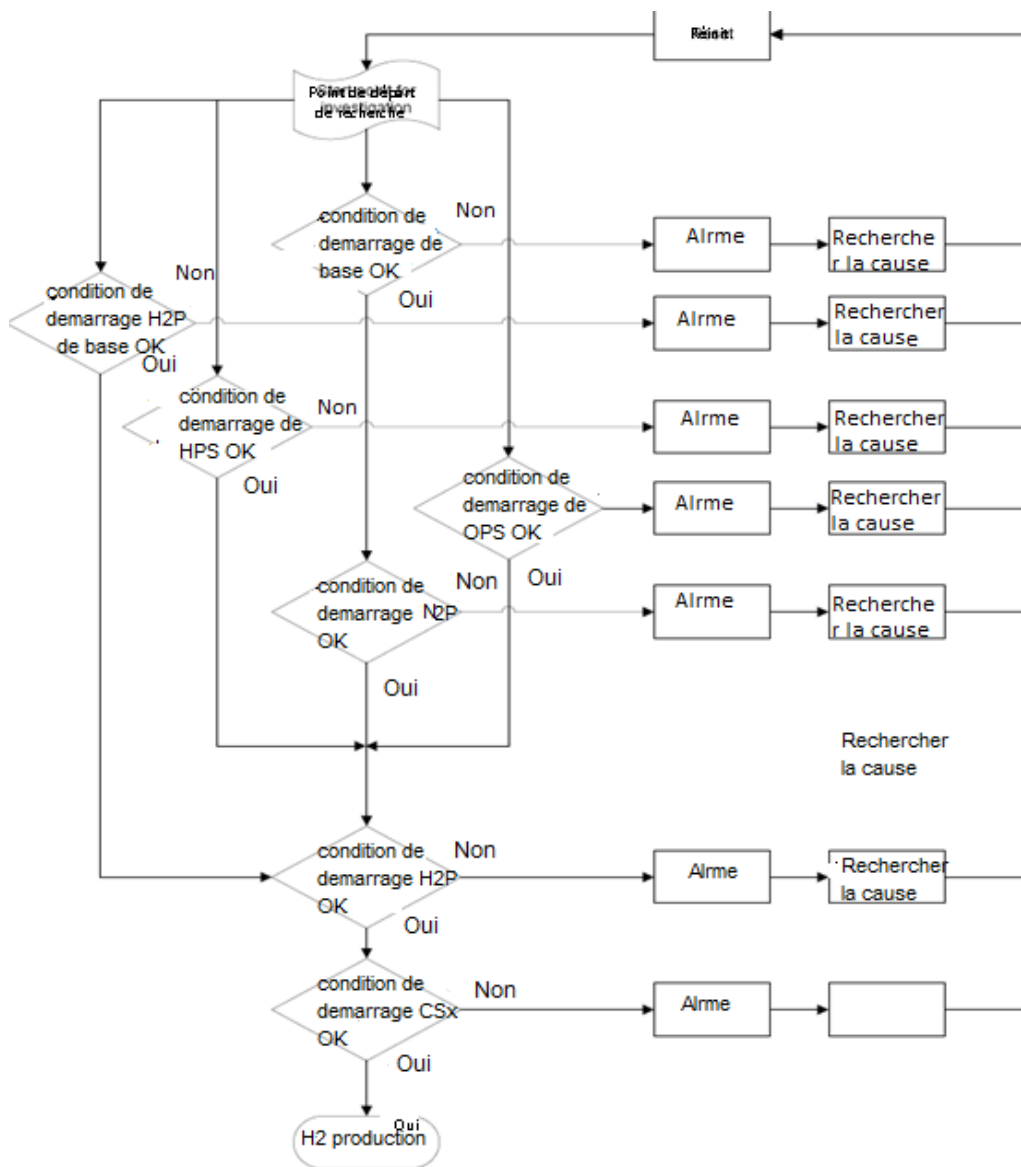


Figure IV.10. Diagramme d'examen des conditions de démarrage

## 5 VISUALISATION DE L'IHM

### 5.1 Généralités

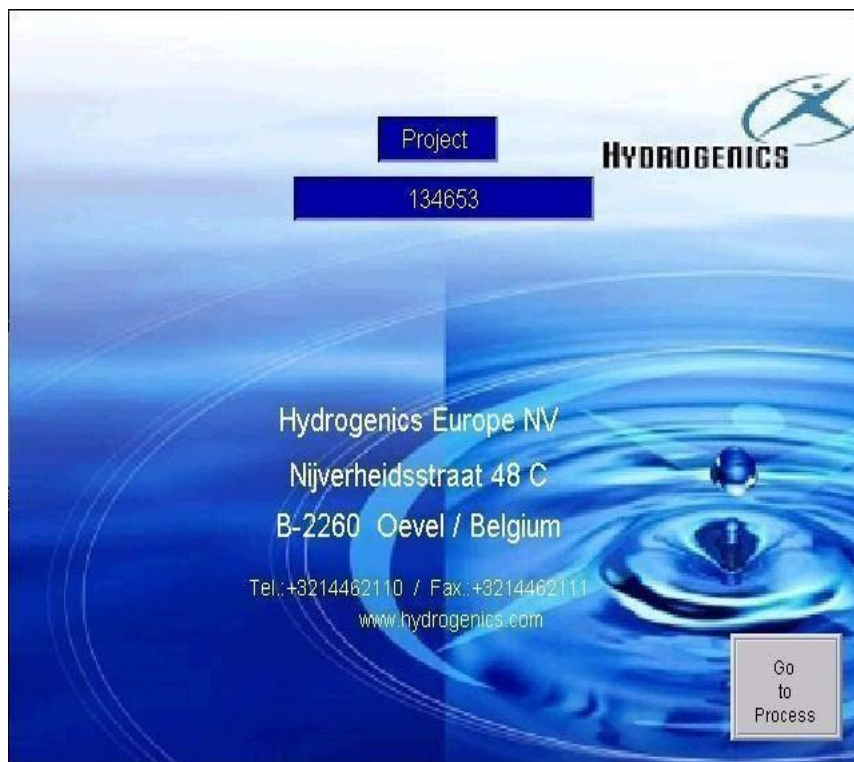
La visualisation de l'IHM Exter T70®, Exter T100® ou Exter T150® installé dans votre HySTAT affiche toutes les informations requises pour utiliser le HySTAT et peut être utilisé comme appareil de saisie pour entrer des points de réglage et autres données. Cette annexe

montre les écrans les plus courants et la manière d'y accéder et de les utiliser. Chaque HySTAT peut être divisé en plusieurs sous-ensembles : l'électrolyseur, les utilitaires (comme le refroidissement en boucle fermée, le système à osmose inverse, le refroidisseur, etc.), le sécheur Deoxo et le sécheur déshydrater. Ces sous-ensembles et outils de commande et débogage du HySTAT sont les principaux composants de l'IHM. On trouve les groupes suivants :

- i. GGS : informations et actions de commande de l'électrolyseur
- ii. UTIL : informations et actions pour les utilitaires (refroidissement en boucle fermée, système à osmose inverse, refroidisseur, boîtier externe de refroidissement et ventilation, etc.)
- iii. HPS : informations et actions pour le sécheur Deoxo
- iv. OPS : informations et actions pour le sécheur déshydrateur
- v. Info and Debug : informations générales et outils pour déboguer et superviser l'ensemble de l'unité [2].

## 5.2 Visualisations de l'écran Principal

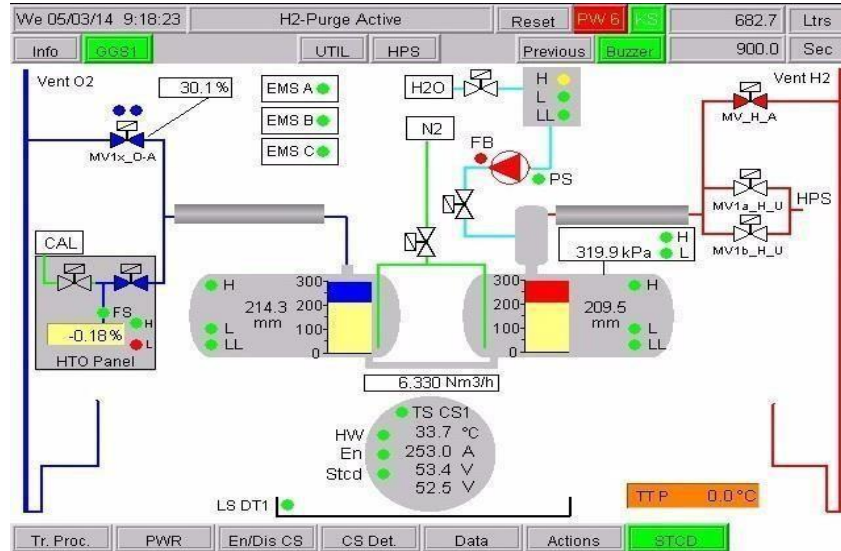
Au démarrage, l'écran Principal s'affiche : [14].



**Figure IV.11.** Écran principal

Dans cet écran, vous pouvez voir le numéro de projet de l'installation et les informations de contact de Hydrogéniques Europe NV.

### 5.3 Écran GGS1 [15].



**Figure IV.12.** Écran GGS1

**Chemin d'accès :** Principal - Go to Process

L'écran GGS1 affiche toutes les informations disponibles des procédés de l'électrolyseur. Les principaux éléments de l'écran sont les piles de cellules et les deux séparateurs gaz-liquide. Des couleurs spécifiques sont utilisées pour les différents médias

:

- Lignes bleues pour l'oxygène
- Lignes rouges pour l'hydrogène
- Lignes vertes pour le gaz inerte
- Lignes bleu clair pour l'eau déminéralisée

Les états des vannes doivent être interprétés de la manière suivante :

- Un symbole de vanne en couleur signifie que la vanne est ouverte
- Un symbole de vanne blanc signifie que la vanne est fermée

Les points verts ( ) ou rouges ( ) indiquent l'état des contacteurs du système (contacteurs débit métriques, contacteurs de niveau, thermostats, etc.). Un point vert signifie que le statut du contacteur est OK, un point rouge signifie NOK (pas OK). Les statuts des

alarmes des mesures analogiques, comme le TTCS, ITCS, etc., sont également indiqués par un point vert ou rouge, ainsi que le statut de la pompe à eau déminéralisée : un point vert signifie que la pompe fonctionne, un point rouge qu'elle ne fonctionne pas. Quand on appuie dessus, les boutons de commande du bas de l'écran appellent l'action indiquée comme suit :

**Tr. Proc.** Affiche l'écran des tendances du procédé

**PWR** Affiche l'écran des systèmes électriques

**En/Dis CS** Affiche l'écran Activation/Désactivation des piles de cellules

**CS Det.** Affiche l'écran des détails des piles de cellules

**Data** Affiche l'écran des compteurs de production

**Actions** Affiche l'écran Actions

**STCD** Affiche les conditions de démarrage N2P du GGS1

### 5.3.1 Écrans des conditions de démarrage de l'électrolyseur

We 05/03/14 9:23:33		H2-Purge Active		Reset	PW 6	137.5	Ltrs
Info	GGs1	UTIL	HPS	Previous	Buzzer	900.0	Sec
0	Basic Start Conditions	TRUE	24	N2P Spare 24	TRUE		
1	Level Switch High H2-GLS	TRUE	25	N2P Spare 25	TRUE		
2	Level Switch Low H2-GLS	TRUE	26	N2P Spare 26	TRUE		
3	Level Switch Low Low H2-GLS	TRUE	27	N2P Spare 27	TRUE		
4	Level Switch High O2-GLS	TRUE	28	N2P Spare 28	TRUE		
5	Level Switch Low O2-GLS	TRUE	29	N2P Spare 29	TRUE		
6	Level Switch Low Low O2-GLS	TRUE	30	N2P Spare 30	TRUE		
7	Pressure high high	TRUE	31	N2P Spare 31	TRUE		
8	Pressure Broken Wire	TRUE	32	N2P Spare 32	TRUE		
9	Level Transmitter H2-GLS High High	TRUE	33	N2P Spare 33	TRUE		
10	Level Transmitter H2-GLS Low Low	TRUE	34	N2P Spare 34	TRUE		
11	Level Transmitter H2-GLS Broken Wire	TRUE	35	N2P Spare 35	TRUE		
12	Level Transmitter O2-GLS High High	TRUE	36	N2P Spare 36	TRUE		
13	Level Transmitter O2-GLS Low Low	TRUE	37	N2P Spare 37	TRUE		
14	Level Transmitter O2-GLS Broken Wire	TRUE	38	N2P Spare 38	TRUE		
15	Nitrogen Purge not failed	TRUE	39	N2P Spare 39	TRUE		
16	Major Faults on Levels Not Actif	TRUE	40	N2P Spare 40	TRUE		
17	24 V P Rio Island Proc A	TRUE	41	N2P Spare 41	TRUE		
18	24 V P Rio Island Proc B	TRUE	42	N2P Spare 42	TRUE		
19	GGs_MV_BkBd_N2_FB_OK_MEM	TRUE	43	N2P Spare 43	TRUE		
20	N2P Spare 20	TRUE	44	N2P Spare 44	TRUE		
21	N2P Spare 21	TRUE	45	N2P Spare 45	TRUE		
22	N2P Spare 22	TRUE	46	N2P Spare 46	TRUE		
23	N2P Spare 23	TRUE	47	N2P Spare 47	TRUE		

**Figure IV.13.** Écrans Conditions de démarrage de l'électrolyseur

**Chemin d'accès:** Main - Go to Process - STCD

Les écrans Start conditions, dont l'écran N2 Purge start conditions est affiché ci-dessus, contiennent une liste de toutes les conditions de démarrage applicables pour l'action ou l'unité d'équipement sélectionnée. Les mots TRUE et FALSE sont utilisés pour indiquer si la condition de démarrage listée est vraie ou fausse.

Les boutons de commande du bas de l'écran peuvent être pressés pour ouvrir les écrans de

conditions de démarrage suivants :

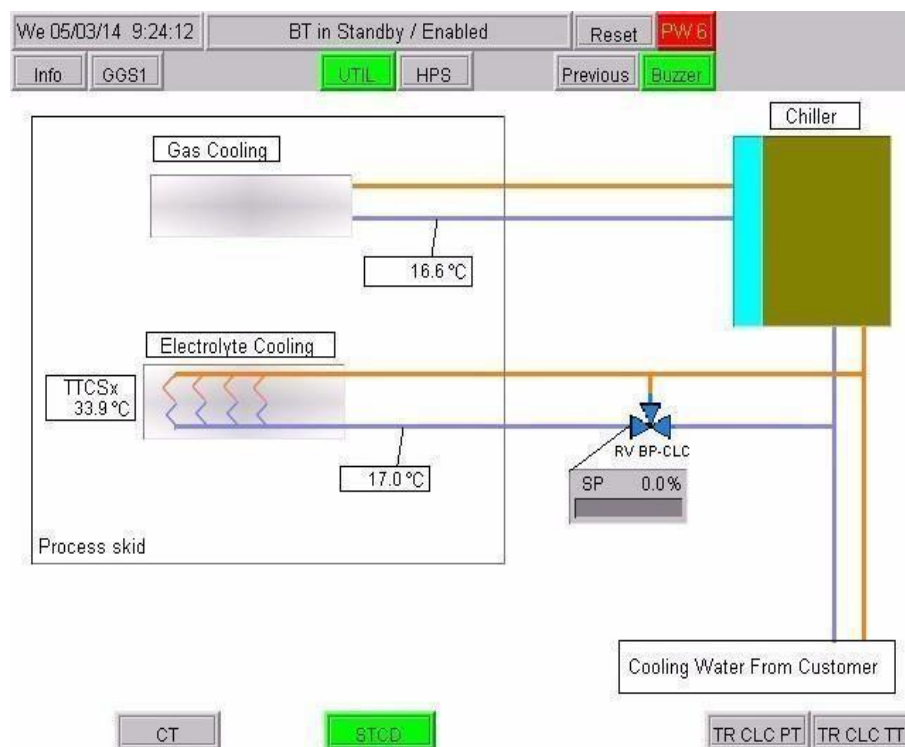
**N2P** Affiche l'écran Conditions de démarrage de la purge à l'azote

**H2P** Affiche l'écran Conditions de démarrage de la purge à l'hydrogène

**CS1/2/3/4** Affiche l'écran Conditions de démarrage de la pile de cellules

## 5.4 Écrans Utilitaires

### 5.4.1 Écran Refroidissement en boucle fermée



**Figure IV.14.** Écran Refroidissement en boucle fermée

**Chemin d'accès:** Main - Go to Process - UTIL

L'écran Closed Loop cooling affiche toutes les informations disponibles : valeurs de température et de pression, valeurs de l'analyseur, états des contacteurs, états des vannes, etc., du refroidisseur, du système de refroidissement de l'électrolyte et du système de refroidissement en boucle fermée.

Boutons de commande en bas de l'écran :

**ROS** Affiche l'écran du système à osmose inverse

**OH** Affiche l'écran de la garniture extérieure

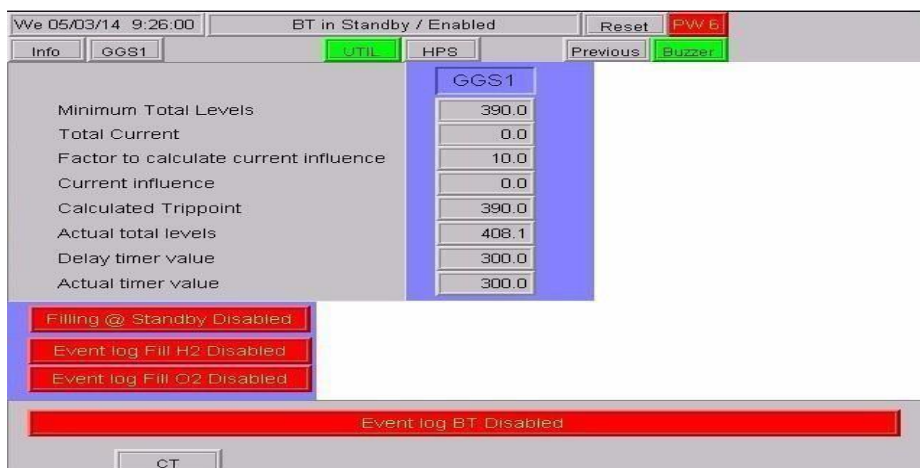
**STCD** Affiche l'écran des conditions de démarrage de base des utilitaires



**TR CLC PT** Affiche l'écran de tendance des transmetteurs de pression du refroidissement en boucle fermée

**TR CLC TT** Affiche l'écran de tendance des transmetteurs de température du refroidissement en boucle fermée [14].

### 5.4.2 Écran Calcul de remplissage

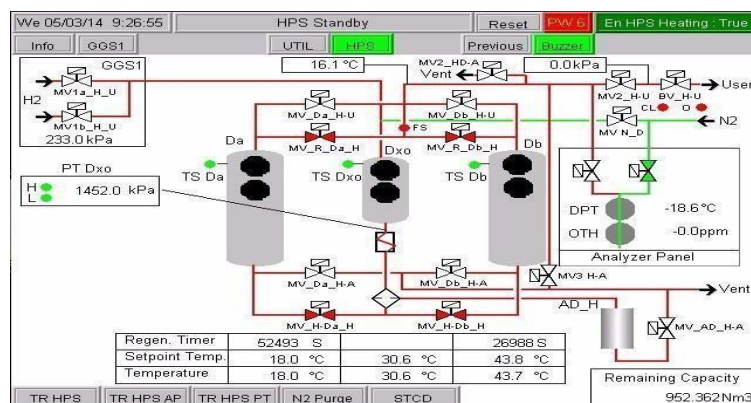


**Figure IV.15.** Écran Calcul de remplissage

**Chemin d'accès :** Main - Go to Process - UTIL - ROS - Fill Calc.

L'écran Fill calculassions sert à contrôler et réguler le remplissage du réservoir tampon. Certains paramètres de remplissage du réservoir tampon peuvent être réglés ici. En fonctionnement normal, le remplissage est activé en veille. Avec les trois boutons de commande placés en dessous du bouton de commande du remplissage, certains événements peuvent être enregistrés.

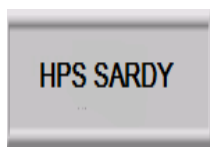
### 5.5 Écran HPS



**Figure IV.16.** Écran HPS

**Chemin d'accès :** Main - Go to Process – HPS





Indication du statut actuel du HPS



Indication de la capacité de production de H2 restante jusqu'à l'échange du lit du sécheur

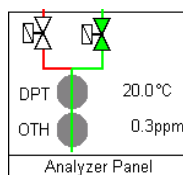
751.2 KPa



Valeurs du transmetteur de pression



États des thermostats (sécheur Da, sécheur DB, réservoir Deoxo Dxo)



Statut du contacteur débit métrique

Valeurs des transmetteurs du panneau de l'analyseur (le cas échéant)

Boutons de commande en bas de l'écran :

**TR HPS** Affiche l'écran de tendance du HPS

**TR HPS AP** Affiche l'écran de tendance du panneau de l'analyseur HPS (le cas échéant)

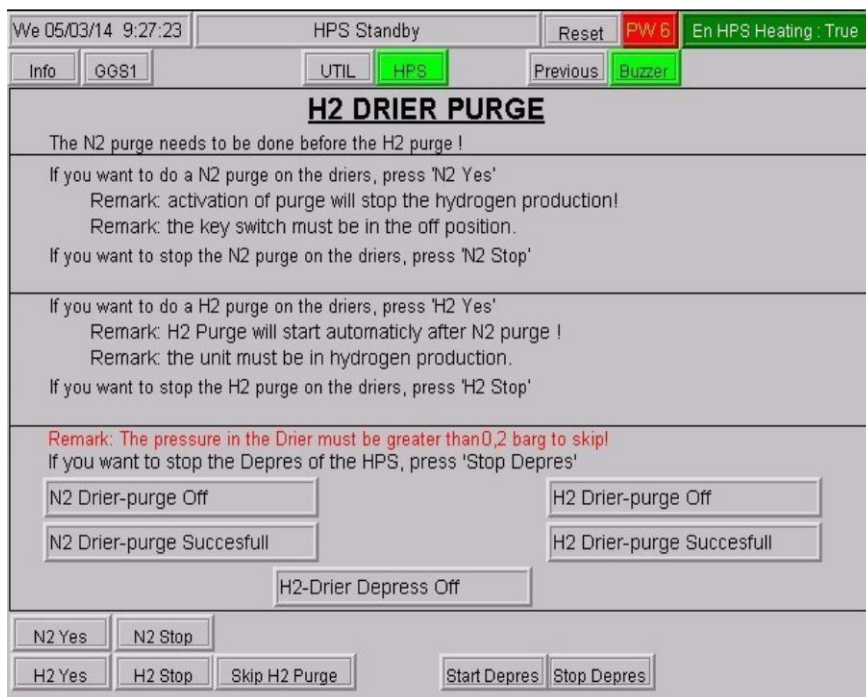
**TR HPS PT** Affiche l'écran de tendance du transmetteur de pression de la conduite utilis- tuer (le cas échéant)

**N2 Purge** Affiche l'écran de purge N2 du HPS

**STCD** Affiche l'écran des conditions de démarrage du HPS

**Booster ON/OFF** Met la pompe de surpression en MARCHE ou ARRET

### 5.5.1 Écran Purge à l'azote du HPS



**Figure IV 17.** Écran Purge à l'azote du HPS

**Chemin d'accès:** Main - Go to Process - HPS -N2P

Suivez les instructions de l'écran pour effectuer une purge à l'azote du HPS.

### 5.6 Écrans d'informations



**Figure IV.18.** Écran Synthèse des infos

**Chemin d'accès:** Main - Go to Process - Info

L'écran Info affiche des boutons de commande qui ouvrent un autre écran quand on appuie dessus :

**Main** Affiche l'écran principal

**Password** Affiche l'écran de connexion

**Clock & Language** Affiche l'écran Horloge et langue

L'écran Info affiche également des informations sur le statut des différents sous-ensembles comme les utilitaires (UTIL), l'électrolyseur (GGS1) et le sécheur Deoxo (HPS).

### 6.6.1 Écran Événements

Nr.	Day	Time	Code	Event	Val.	E.U.
001	05	09H 32M 50S	010601	HPS L pre-alarm: Temp Deoxo	37.0	°A
002	05	09H 31M 11S	010611	HPS L pre-alarm: Pressure Deoxo	1411.6	kPa
003	05	09H 30M 40S	031219	GGS1: Level O2 GLS LL Alarm Ch. to:	175.0	mm
004	05	09H 30M 40S	031211	GGS1: Level H2 GLS LL Alarm Ch. to:	175.0	mm
005	05	09H 30M 11S	032950		0.0	No Un
006	05	09H 29M 37S	030611	GGS1 L alarm: Current Cell Stack 1	157.5	A
007	05	09H 29M 22S	032863	GGS1: Start H2 prod. (key switch)	0.0	No Un
008	05	09H 24M 53S	032869	GGS1: End of H2 purge	0.0	No Un
009	05	09H 15M 05S	032866	GGS1: Start H2 purge (remote)	0.0	No Un
010	05	09H 14M 17S	005845	LL alarm: Diff Pr Vent Basic	4.8	
011	05	09H 14M 17S	005645	L pre-alarm: Diff Pr Vent Basic	4.8	
012	05	08H 59M 08S	032852	GGS1: End of nitrogen purge	0.0	No Un
013	05	08H 53M 32S	032850	GGS1: Start N2P (KS)	0.0	No Un
014	05	08H 53M 32S	033110	GGS1: Cell Stack 1 Enabled for Purge (HM)	0.0	No Un
015	05	08H 53M 32S	033100	GGS1: Cell Stack 1 Enabled for Prod. (HM)	0.0	No Un
016	05	01H 14M 37S	031003	GGS1 BW alarm: Hydrogen in Oxygen	-0.4	%
017	04	22H 14M 23S	030803	GGS1 LL alarm: Hydrogen in Oxygen	-0.1	%
018	04	21H 34M 53S	030603	GGS1 L alarm: Hydrogen in Oxygen	0.0	%
019	04	20H 51M 25S	008100	Chiller NOK	0.0	No Un
020	04	20H 28M 56S	008101	Chiller NOK (pre alarm)	0.0	No Un

From 05/03 to 04/03

F Page - H Page - Line - Line + H Page + F Page +

**Figure IV.19.** Écran Événements

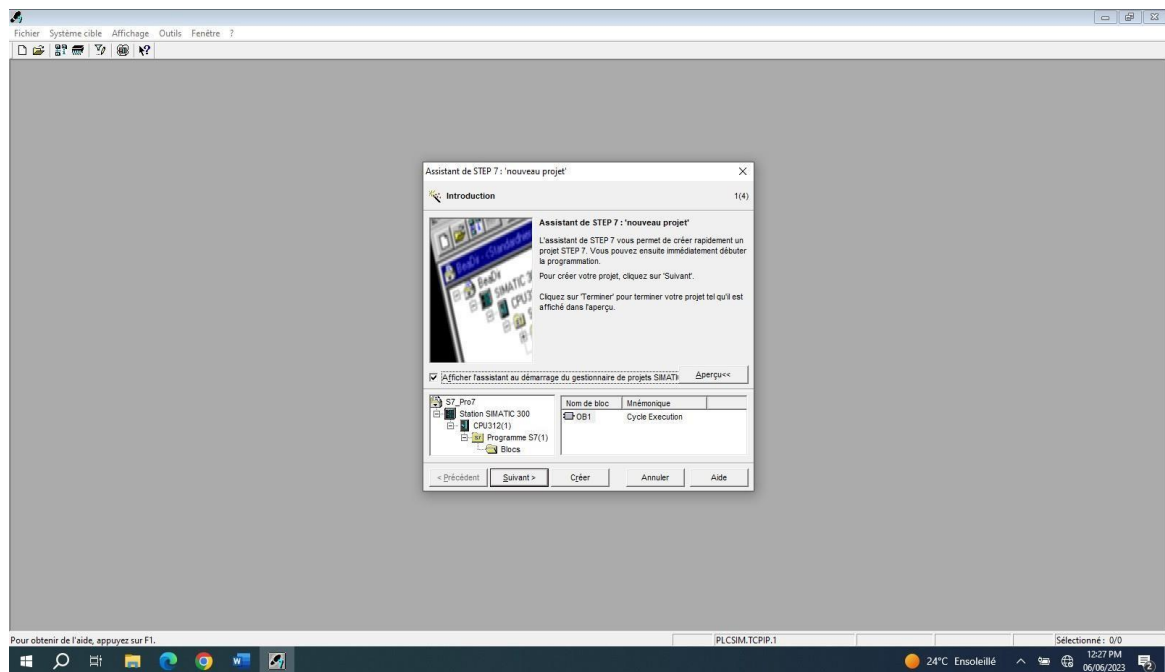
**Chemin d'accès:** Main - Go to Process - Info - Events

L'écran Events affiche une liste d'événements, en commençant par le plus récent. Le numéro d'événement, la date et l'heure où il s'est produit, son code d'événement, sa description et le cas échéant sa valeur analogique sont affichés. Il est possible d'utiliser les boutons de commande du bas de l'écran pour naviguer dans l'historique des événements, vers le haut d'une seule ligne, d'une demi-page ou d'une pleine page, et vers le bas de la même manière [15].

## 6 Création d'un nouveau projet :

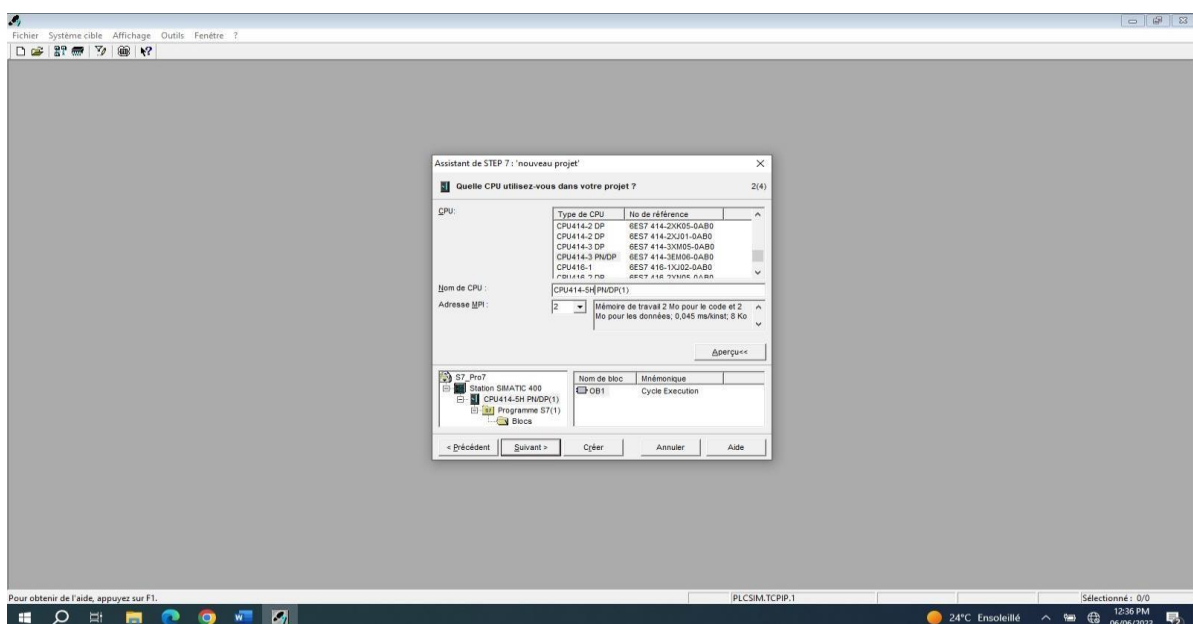
Dans le but de créer un nouveau projet sur STEP7, nous devons suivre les étapes suivantes :

1. Double-clique sur l'icône SIMATIC MANAGER qui se trouve dans le bureau **Figure IV. 20**.



**Figure IV. 20** : Assistant de STEP7

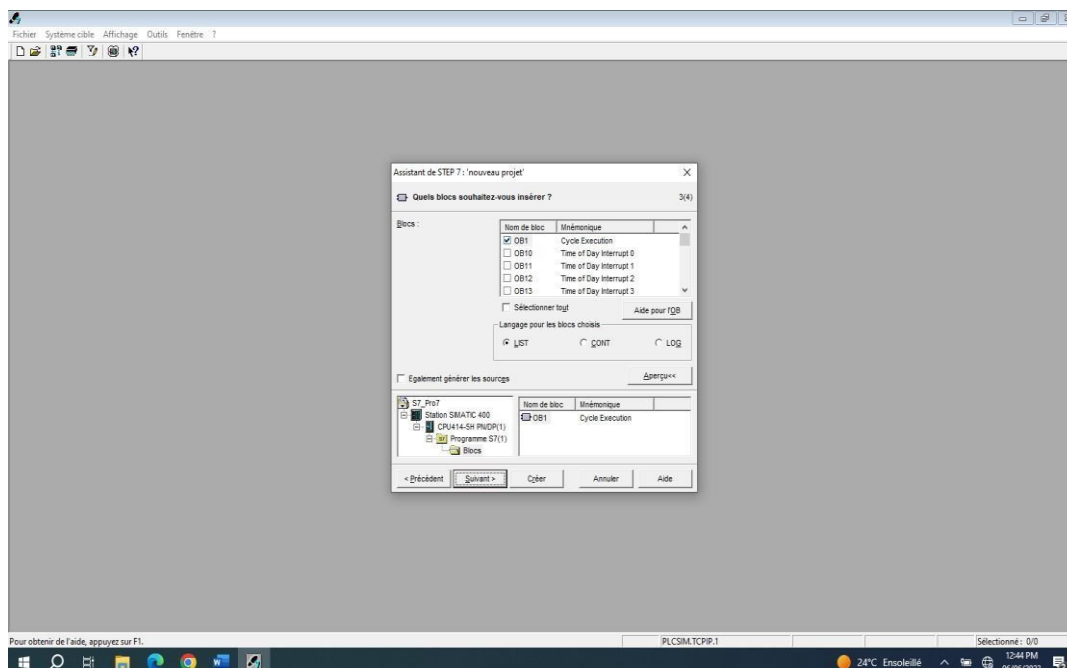
2. En cliquant sur l'icône « suivant », la fenêtre qui apparaîtra nous permettra de choisir la CPU avec laquelle nous voulons travailler. (Dans notre cas nous avons choisi la CPU 414-5H PN /DP) **Figure IV.21**.



**Figure V.21**. Choix de la CPU

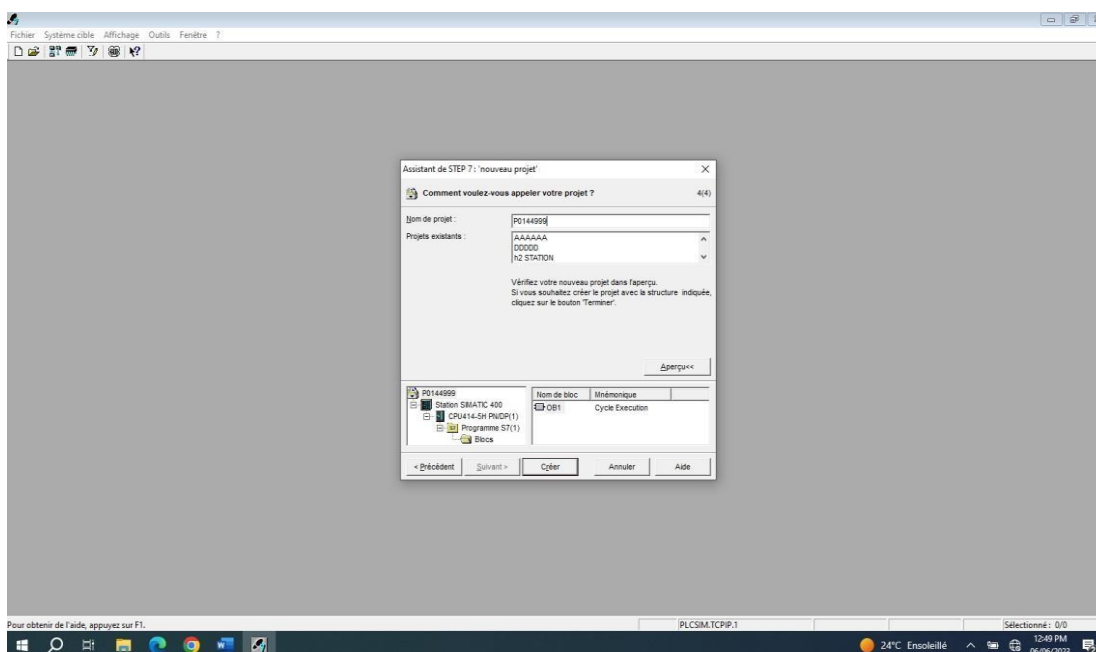
3. Apres avoir choisi la CPU qui nous convient, la fenêtré qui apparait va nous permettre de choisir les blocs à insérer, ainsi que de choisir le langage de programmation (LIST, LOG ou CONT).

Dans notre cas, nous avons choisi le bloc OB1 (bloc d'organisation) et le langage à contact (LIST) comme langage de programmation **Figure. IV.22.**

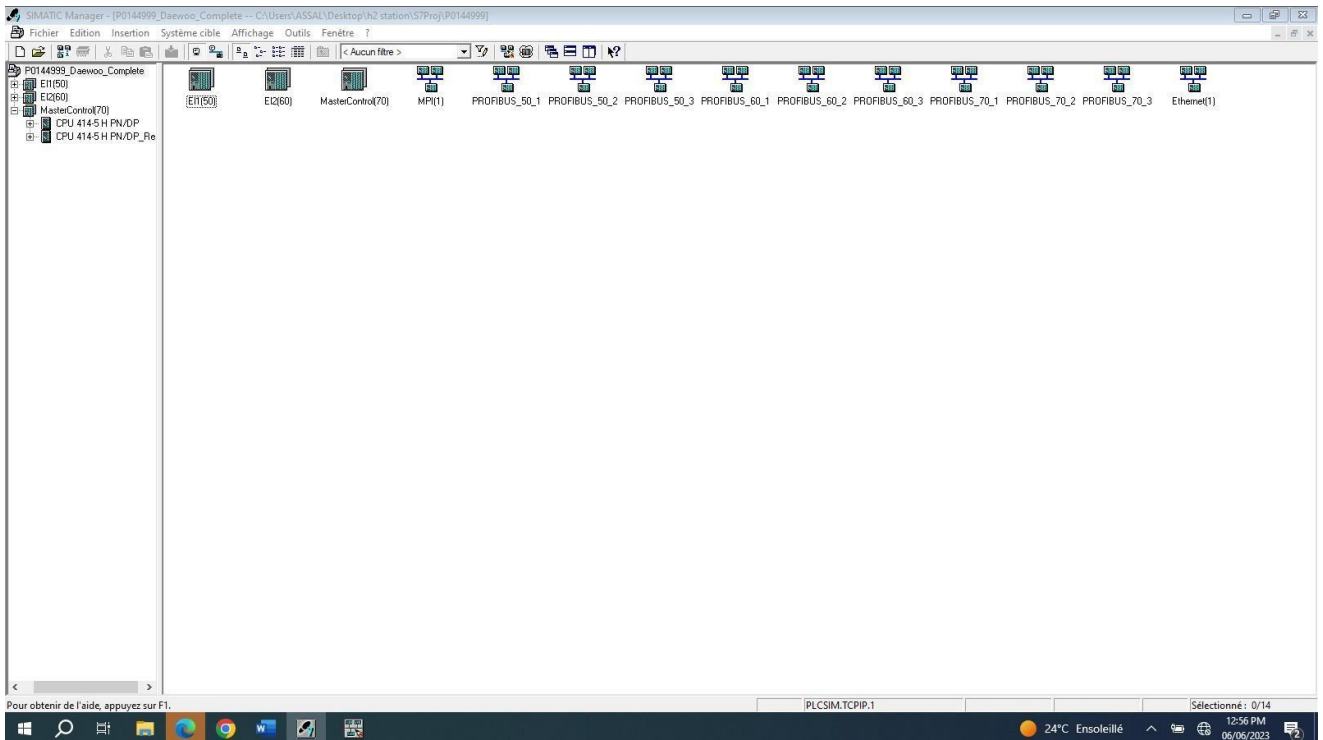


**Figure. IV.22 :** Choix du bloc à insérer et du langage de programmation utilisé

4. En cliquant sur suivant, l'icône de la création de projet apparait afin de le créer **Figure. IV.23.**



**Figure. IV.23 :** Choix du nom et création du projet

**5. En cliquant sur créer, la fenêtre suivante apparaît Figure IV.24.****Figure IV. 24** : Fenêtre SIMATIC MANAGER d'un projet**6. Configuration matérielle :**

La configuration matérielle est une étape importante. Elle consiste à disposer les Châssis (rack), les modules et les appareils de la périphérie centralisée. Les châssis sont représentés par une table de configuration dans laquelle on peut placer un nombre défini de modules comme dans les châssis réels.

Dans notre cas, nous avons choisis une alimentation PS405 10A, la CPU414 5H PN/DP, un module d'entrée / sortie LIST pour la configuration de notre matériel. (Le choix du nombre d'entrée/sortie doit être fait en fonction des besoins de notre station).

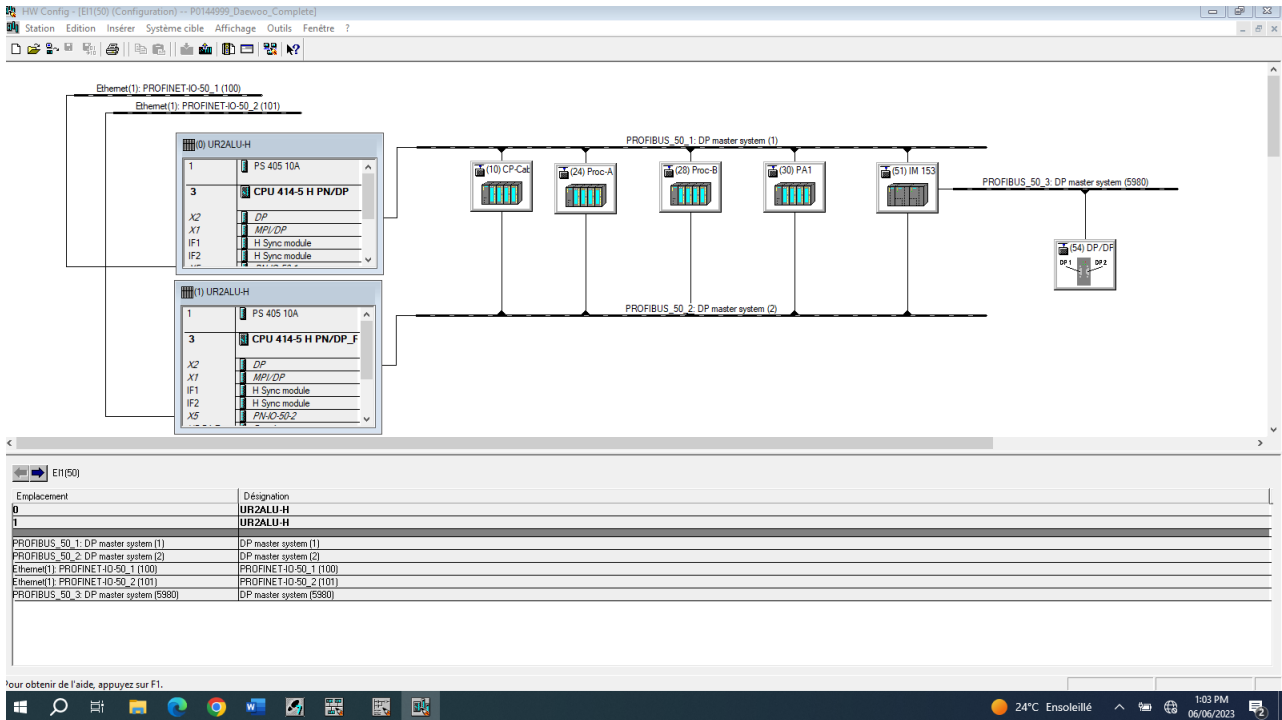


Figure IV.25 : Configuration du matériel

### 7. Blocs existants :

Le système d'automatisation utilise différents types de blocs dans lesquels peuvent être mémorisés le programme utilisateur et les données correspondantes. Selon les exigences du processus, le programme peut être structuré en différents blocs.

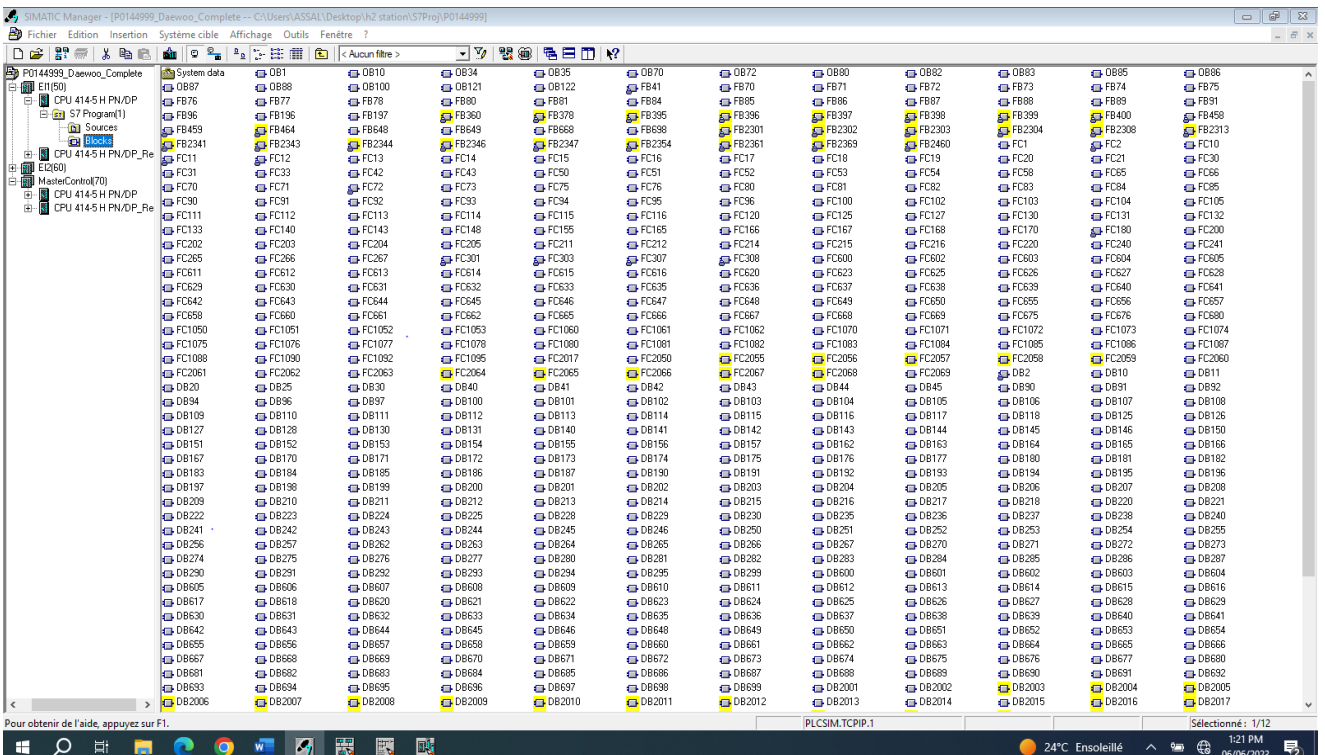


Figure IV.26: blocs existants



## 7 Visitation de programme

### 7.1 Bloc d'organisation :

Le blocs d'organisation (OB) constituent l'interface entre le système d'exploitation et le programme utilisateur.

```

CONT/LIST/LOG - [OB1 -- "Main Program" -- P0144999_Daewoo_Complete/EI(50)/CPU 414-5 H PN/DP.../OB1]
Fichier Edition Insertion Systeme cible Test Affichage Outils Fenetre ?
Contenu de 'Environnement\Interface'
Interface
  TEMP
OB1 : "Main Program Sweep (Cycle)"
Commentaire :
Common things
CALL "TIMEBASE"          FC51          -- System-time Provider
CALL "Initialisation"    FC11          -- Initialization and timer-pulse management
  restart:=#OB1_SCAN_1
CALL "Enter-Functions"   FC50          -- Functions for Enter-display
NOP 0
L #OB1_PREV_CYCLE        DB91.DBX90    -- Cycle time of previous OB1 scan (milliseconds)
T "GLOBAL_DATA".OB1_PREV_CYCLE DB91.DBX90 -- Previous Cycle-time OB 1
NOP 0
O "Enter_System_Signals".Enter_Alarms_Reset DB96.DBX50.0 -- Enter Reset Alarms
O "Inputs_Bas".EMS_Reset DB100.DBX2.0 -- Emergency Stop Relay Reset
S "GLOBAL_DATA".RESET_ALARMS DB91.DBX12.0 -- STATUS=1 RESET ALL ALARMS

Réseau 2 : call basic-program
CALL "Main_Program_Basic" FC100        -- Main Complete Program for Basic

Réseau 3 : Call H2-drier-program
U "CONFIG_DATA".Present_H2_Drier DB92.DBX10.0 -- Present in this Project : H2-Drier
SPB c113
UN "CONFIG_DATA".Present_H2_Drier DB92.DBX10.0 -- Present in this Project : H2-Drier
SPB rst3
SPA con3
c113: NOP 0
CALL "Main_Program_H2Drier" FC300      -- Main Complete Program for H2-Drier
SPA con3
rst3: NOP 0
U "LOG=1" M90.1 -- logical 1
= "GLOBAL_DATA".H2_DRIER_STC DB91.DBX24.2 -- H2-DRIER STARTCONDITIONS ARE OK
con3: NOP 0
  
```

```

CONT/LIST/LOG - [OB1 -- "Main Program" -- P0144999_Daewoo_Complete/EI(50)/CPU 414-5 H PN/DP.../OB1]
Fichier Edition Insertion Systeme cible Test Affichage Outils Fenetre ?
Contenu de 'Environnement\Interface'
Interface
  TEMP
CALL "Main_Program_Basic" FC100        -- Main Complete Program for Basic

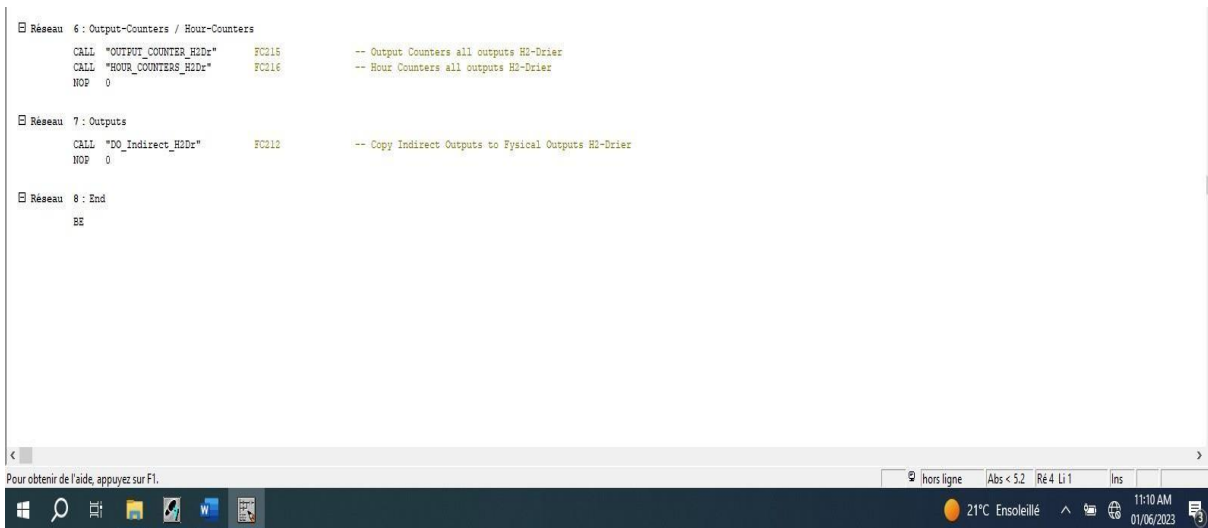
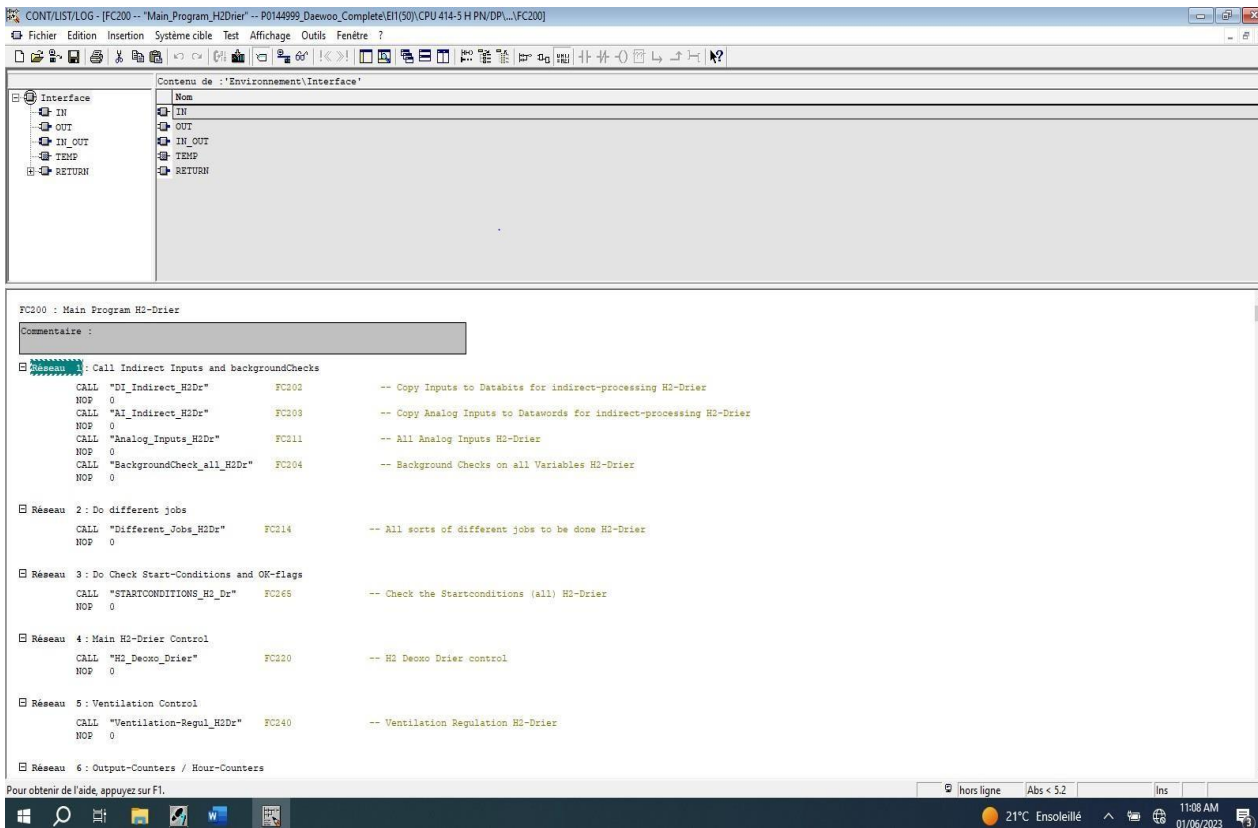
Réseau 3 : Call H2-drier-program
U "CONFIG_DATA".Present_H2_Drier DB92.DBX10.0 -- Present in this Project : H2-Drier
SPB c113
UN "CONFIG_DATA".Present_H2_Drier DB92.DBX10.0 -- Present in this Project : H2-Drier
SPB rst3
SPA con3
c113: NOP 0
CALL "Main_Program_H2Drier" FC300      -- Main Complete Program for H2-Drier
SPA con3
rst3: NOP 0
U "LOG=1" M90.1 -- logical 1
= "GLOBAL_DATA".H2_DRIER_STC DB91.DBX24.2 -- H2-DRIER STARTCONDITIONS ARE OK
con3: NOP 0

Réseau 4 : Call Electrolyser-1-program
U "CONFIG_DATA".Present_Electr_1 DB92.DBX10.4 -- Present in this Project : Electrolyser 1
OC "Main_Program_Electr_1" FC600      -- Main Complete Program for Electrolyser 1

Réseau 5 : Alarm-Reset control
R "GLOBAL_DATA".RESET_ALARMS DB91.DBX12.0 -- STATUS=1 RESET ALL ALARMS
R "GLOBAL_DATA".RESET_ALARMS DB91.DBX12.0 -- STATUS=1 RESET ALL ALARMS
R "Enter_System_Signals".Enter_Alarms_Reset DB96.DBX50.0 -- Enter Reset Alarms
R "Inputs_Bas".EMS_Reset DB100.DBX2.0 -- Emergency Stop Relay Reset

End
BEA
  
```

## 7.2 Bloc de sécheur H2(FC200) :





## 8 . Conclusion

Dans ce chapitre nous avons participé à l'automatisation par logiciel de STEP 7 du processus de fonctionnement de la station de production de l'hydrogène pour les systèmes hydrauliques (systèmes de refroidissement, compresseur, réservoir, poste de remplissage, pompe à vide, pompe d'azote) et des systèmes électriques ( MCC , électrolyseur, ....).

## **Chapitre V :**

# **La maintenance de la station de production de l'H<sub>2</sub>**

## 1. Généralités sur la maintenance :

### 1.1. Introduction :

En industrie, la Maintenance est l'une des fonctions essentielles du système de production et dans les systèmes fortement automatisés, elle est une fonction capitale.

La notion de maintenance est définie par la norme NF 60 010 :

**« C'est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé »**

Parfois, la Maintenance constitue un élément stratégique de l'entreprise qui nécessite des moyens importants et beaucoup de dépenses.

Une Maintenance mal organisée, mal gérée ou mal exécutée, peut avoir des impacts néfastes sur le fonctionnement du système de production :

- Arrêts multiples et indisponibilité des installations,
- Surcoûts de production,
- Grands risques de mauvaise qualité et d'indisponibilité des produits.

De même, une mauvaise Maintenance ou une Maintenance insuffisante, peut être parfois à l'origine d'importantes catastrophes (aéronautique, transport, nucléaire, ...) et peut mettre en danger l'existence même de l'entreprise.

### 1.2. Evolution de la maintenance :

Dans le contexte de concurrence économique à l'échelle planétaire, la gestion de la maintenance est loin d'être stabilisée dans un environnement où l'automatisation et le processus de fabrication deviennent de plus en plus complexe. Depuis les années 1940, l'évolution de la maintenance peut être tracée à travers trois générations [16].

**Tableau V. 1.** Evolution de la maintenance depuis 1940 [16].

1ère génération	2ème génération	3ème génération		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remplacement du composant lorsqu'il est détruit.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le processus a une disponibilité supérieure.</li> <li>• La durée de vie des composants est supérieure.</li> <li>• Réflexions sur l'optimisation des coûts.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmentation de la disponibilité et de la fiabilité dans une grande sécurité.</li> <li>• Meilleure qualité des produits.</li> <li>• Réflexion sur les dommages causés à l'environnement.</li> <li>• Meilleur rapport coût efficacité.</li> </ul>		
<b>1940</b>	<b>1950</b>	<b>1970</b>	<b>1980</b>	<b>2000</b>

### 1.3. Les objectifs de la maintenance :

D'une manière générale, la maintenance a pour but d'assurer la disponibilité maximale des équipements de production à un coût optimal.

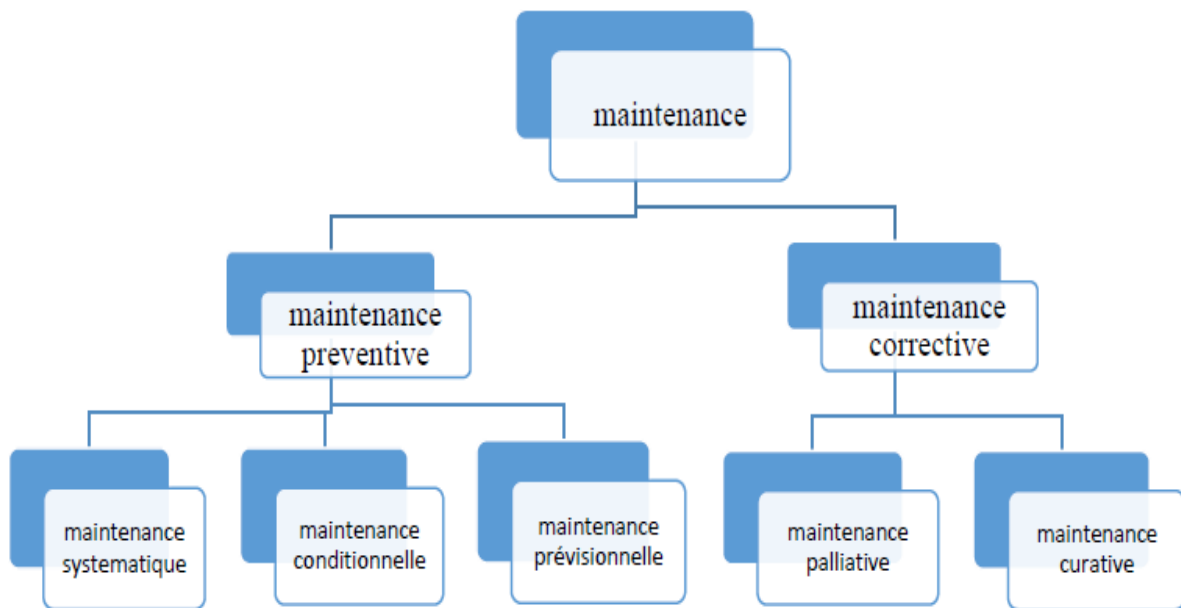
Les principaux objectifs que doit se fixer la fonction maintenance sont :

- **Améliorer la fiabilité du matériel :** La mise en œuvre de la maintenance préventive nécessite les analyses techniques du comportement du matériel. Cela permet à la fois de pratiquer une maintenance préventive optimale et de supprimer complètement certaines défaillances [17].



- **Garantir la qualité des produits** :\_La surveillance quotidienne des machines est pratiquée pour détecter les symptômes de défaillance et veiller à ce que les paramètres de réglages et de fonctionnement soient respectés. Le contrôle des jeux (vibrations) et de la géométrie de la machine permet d'éviter les aléas de fonctionnement. La qualité des produits est ainsi assurée l'absence des rebuts.
- **Améliorer l'ordonnement des travaux** : La planification des interventions de la maintenance préventive, correspondant au planning d'arrêt machine, devra être validée par le service production. Cela implique la collaboration de ce service, afin de faciliter la tâche de la maintenance. Les techniciens de maintenance sont souvent mécontents lorsque le responsable de production ne permet pas l'arrêt de l'installation, alors qu'il a reçu un bon de travail pour l'intervention. Une bonne coordination prévoit un arrêt selon un planning défini à l'avance prenant en compte les impossibilités en fonction des impératifs de production[17].
- **Assurer les sécurités humaines** : La préparation des interventions de maintenance préventive ne consiste pas seulement à respecter le planning, mais elle doit tenir compte aussi des critères de sécurité pour éviter les imprévus dangereux.
- **Améliorer la gestion de stock** : La maintenance préventive est planifiable. Elle maîtrise les échéances de remplacement des organes ou pièces, ce qui facilite la tâche de gestion des stocks. Elle permet aussi d'éviter de mettre en stock certaines pièces et ne les commander que le moment venu [17].

### 1.4. Les Types de maintenance :



**Figure V. 1.** Les différents types de maintenance [18]

#### 1.4.1. Maintenance préventive

Selon la norme AFNOR NF EN 13306 X 60-319, c'est une (maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon certains critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien)

[19].

Donc c'est une intervention prévue, préparée et programmée en fonction de différents paramètres en vue d'éviter l'apparition probable d'une défaillance identifiée.

Il existe trois formes principales de la maintenance préventive :

##### 1.4.1.1. Maintenance préventive systématique

C'est une maintenance effectuée suivant un échancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage (nombre prédéterminé d'unités d'usage). Même si le temps est l'unité la plus répandue, d'autres unités peuvent être retenues telle que : la quantité de produits fabriqués, la longueur de produits fabriqués, la distance parcourue, la masse de produits fabriqués, le nombre de cycle effectués [20].

##### 1.4.1.2. Maintenance préventive conditionnelle

Est une maintenance préventive subordonnée à un type d'événement

Prédéterminé (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, etc.) révélateur de l'état de dégradation du bien. Autrement dit : maintenance subordonnée au franchissement d'un seuil prédéterminé significatif de l'état de dégradation du bien [20].

#### **1.4.1.3. Maintenance préventive prévisionnelle**

Maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions [20].

### **1.4.2. Maintenance corrective**

Selon la norme AFNOR NF 13306 X 60-319, c'est une « maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise » [21].

La maintenance corrective peut être :

#### **1.4.2.1. Maintenance curative**

La maintenance curative correspond à la remise en état de l'équipement et revêt un caractère définitif. L'équipement concerné par cette maintenance, retrouve après intervention les caractéristiques qu'il avait avant l'apparition du problème [22].

#### **1.4.2.2. Maintenance palliative**

C'est une maintenance qui effectue une remise en état provisoire du matériel ayant subi un dysfonctionnement : C'est un dépannage. Cette maintenance est le plus souvent associée à des systèmes ne présentant pas d'impératif de sécurité [22].

### 1.5. Les niveaux de maintenance

**Tableau V. 2.** Les niveaux de la maintenance [23].

	<b>Travaux</b>	<b>Lieu</b>	<b>Personnel</b>
<b>Niveau 1</b>	Réglages simples - pas de démontage ni ouverture du bien	Sur place	Exploitant Du bien
<b>Niveau 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Dépannage par échange standard</li> <li>. Opérations mineures de maintenance préventive</li> </ul>	Sur place	Technicien habilité
<b>Niveau 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Identification et diagnostic de pannes</li> <li>. Réparation par échange standard</li> <li>. Réparations mécaniques mineures</li> <li>. Maintenance préventive (par ex. réglage ou réalignement des appareils de mesure)</li> </ul>	Sur place ou dans atelier de maintenance	Technicien habilité
<b>Niveau 4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Travaux importants de maintenance corrective ou préventive sauf rénovation et reconstruction</li> <li>• Réglage des appareils de mesure</li> <li>• Contrôle des étalons</li> </ul>	Atelier spécialisé avec outillage général, bancs de mesure, documentation	Equipe avec encadrement technique spécialisé
<b>Niveau 5</b>	Rénovation Reconstruction Réparations importantes Lubrification	Constructeur ou reconstruteur	Moyens proches de la fabrication

## 2. Maintenance du compresseur :

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 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 [23].

### 2.1. 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 V. 3.** Tableau de la durée de vie de pièces du compresseur [15].

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
Joint d'étanchéité aux gaz de piston					Contrôle	Contrôle toutes les 2000 heures
Joint 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

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 V. 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.

## 2.2. Maintenance de l'armoire électrique

### ➤ Nettoyage/remplacement du filtre de ventilateur du port



**Figure. V .2.** Démontage des couvercles du filtre

- ✓ 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

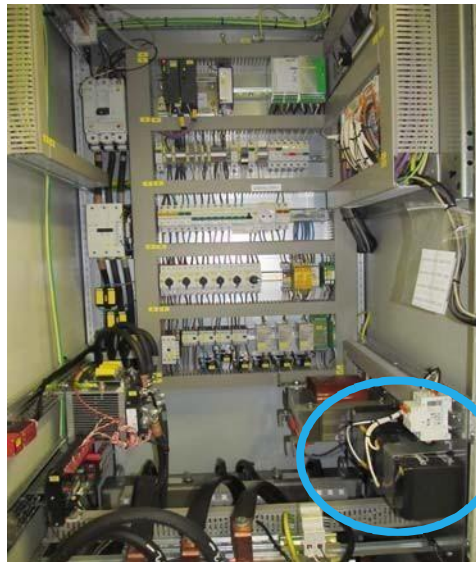
### ➤ Nettoyage de la poussière et de la saleté des armoires électriques

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 [15].

➤ **Contrôle et remplacement des batteries UPS 24 V**



**Figure V.3.** 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 nécessaire.

### **3. Maintenance du hystat**

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

La recertification 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.



### 3.1. Calendrier de maintenance :

**Tableau V. 5.** 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

Intervalle	Description	Heures
Bihebdomadaire	Effectuer des inspections visuelles	¼
6 mois	Contrôler l'étanchéité aux fuites	½
6 mois	Remplacer le filtre coalescent après DEOXO (MS H)	1
Annuel	Nettoyer l'élément du filtre à grosses particules (FU)	1
Annuel	Contrôler le fonctionnement des thermostats (S)	2
Annuel	Contrôler le fonctionnement des contacteurs de niveau	2
3 ans	Remplacer ou recalibrer les soupapes de sécurité	1
3 ans (ou réglementations locales)	Inspecter les réservoirs sous pression	Variable
2 à 5 ans	Remplacer le catalyseur du séchoir Deoxo	8
7 à 10 ans	Remplacer le tamis moléculaire dans les réservoirs du sécheur	8
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 : [14].

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.

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. Ajuster si nécessaire
Mensuel	Nettoyer le refroidisseur sec
Mensuel	Nettoyage interne et externe des pompes et du caisson

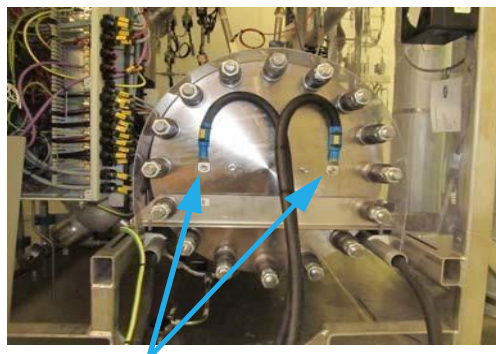
### 3.2. MAINTENANCE CORRECTIVE DE HYSTAT

**Tableau V.6.** Présent le calendrier de 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

### 3.3. Maintenance de la pile :

➤ **Contrôle de la fixation des câbles d'alimentation :**



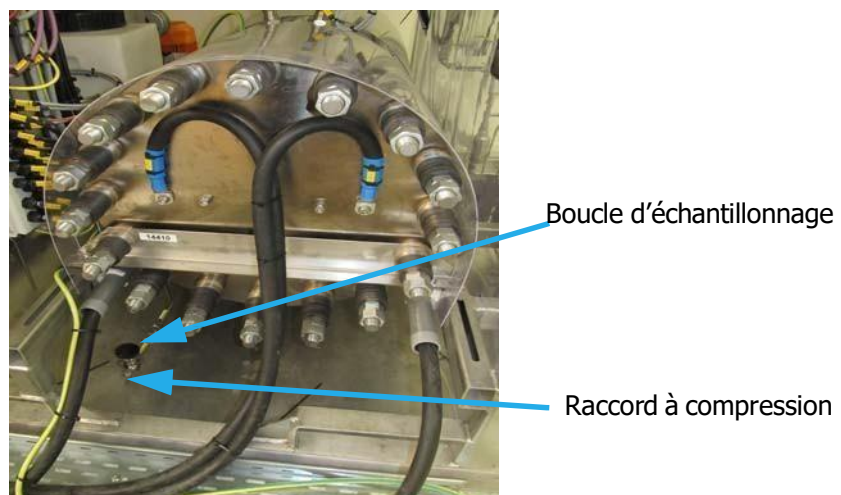
**Figure V .4.** Raccordements électriques à la pile de cellules

➤ **Contrôle du couple sur la pile de cellules :**



**Figure V.5.** Contrôle du couple sur la pile de cellules [23].

➤ **Contrôle de la concentration de l'électrolyte :**



**Figure V.6.** Boucle d'échantillonnage de l'électrolyte

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

- ✓ 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

### 3.4. Maintenance de sécheur :

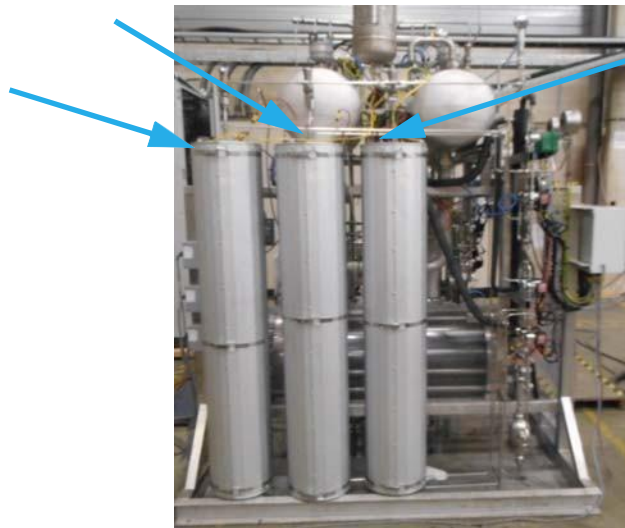
Le sécheur Deoxo est conçu pour fonctionner de manière totalement automatique et pratiquement sans entretien. Il est cependant conseillé aux utilisateurs du sécheur Deoxo de respecter un calendrier de maintenance préventive afin de garantir une fourniture d'hydrogène continue et fiable.

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 [15].

#### ➤ 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.



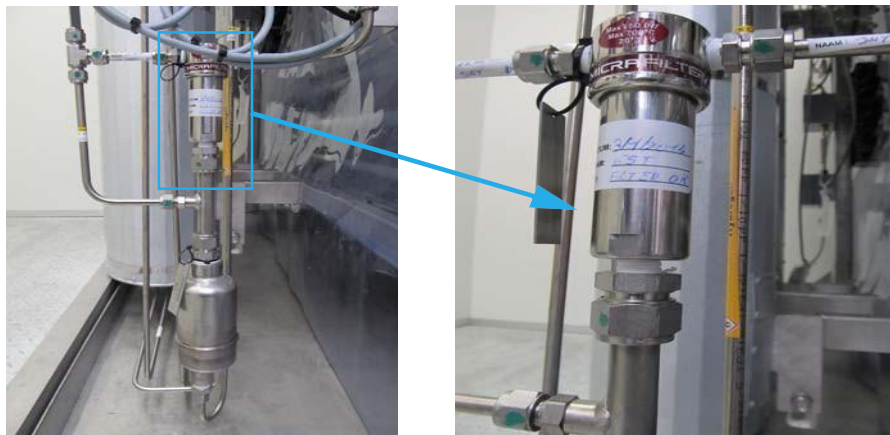
**Figure V.7.** Transmetteurs de température (PT100) : Deoxo (à gauche), sécheur A (au milieu) et sécheur B (à droite) [15].

➤ **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.

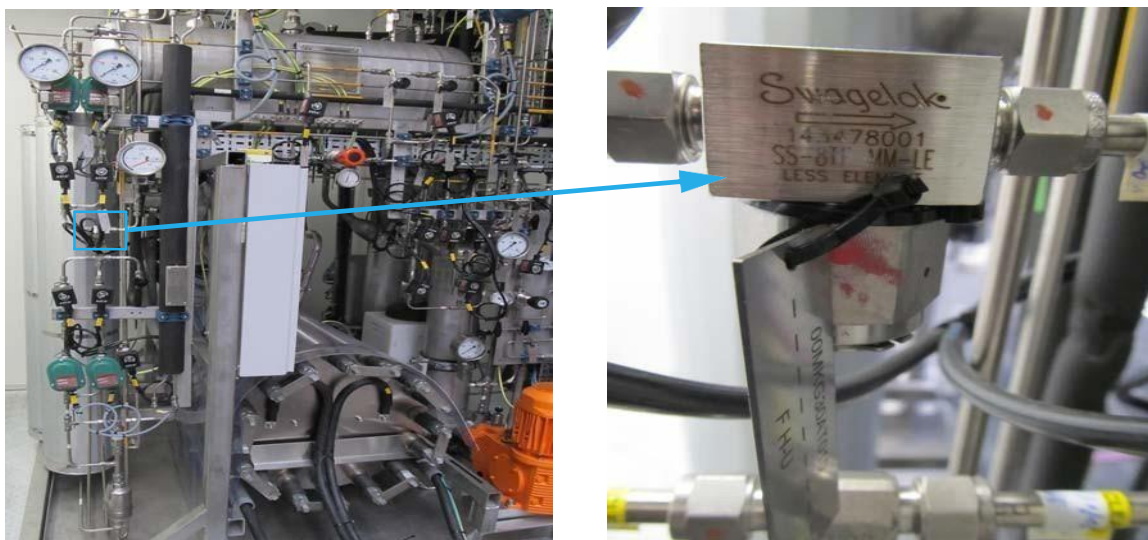
Avant d'effectuer la maintenance du sécheur Deoxo, un ingénieur doit pratiquer sur ce dernier une purge au gaz inerte, suivie d'une dépressurisation, afin de garantir un environnement sécurisé

➤ **Remplacement du filtre coalescent situé après le réservoir Deoxo**



**Figure V.8.** Filtre intégré après le sécheur Deoxo

➤ **Nettoyage de l'élément du filtre à grosses particules :**



**Figure. V.9.** Nettoyage de l'élément filtrant

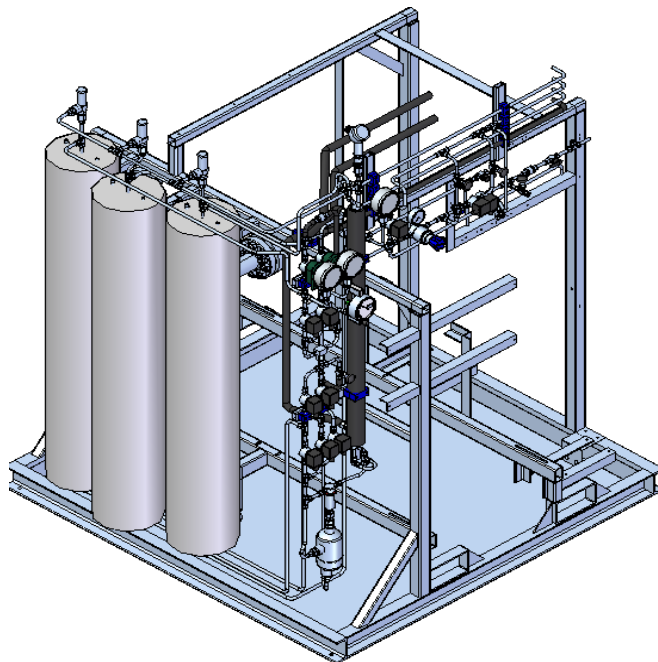


➤ **Remplacement des électrovannes :**



**Figure V.10.** Remplacement de l'électrovanne

➤ **Échange du catalyseur dans le sécheur Deoxo :**



**Figure V.11.** 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 [15].



**Tableau V. 7.** Présent le calendrier de maintenance de sécheur.

N°	Type de panne	Cause potentielle de la panne	Remèdes
1	La pureté du gaz chute	Contamination due à des fuites	Contrôler l'étanchéité aux fuites. Corrigez si nécessaire.
2	Température trop élevée pendant l'adsorption	Un chauffage non désiré se produit 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'élément filtrant
		Le contacteur de niveau du récipient de purge DP H ne fonctionne pas	Commandez et remplacez le contacteur de niveau. Le sécheur Deoxo peut continuer à fonctionner pendant ce temps Videz le récipient de purge DP H toutes les semaines
5	Pression ou débit du gaz purifié trop faible	Le filtre après le sécheur F H-U est obstrué	Remplacez l'élément filtrant.
		Le chargement de l'élément du filtre coalescent du DP H est trop élevé	
		Débit du gaz de régénération trop élevé	Vérifiez l'indicateur de débit.

### 3.5. Armoire électrique :

#### ➤ Nettoyage/remplacement du filtre de ventilateur de la porte



**Figure V.12.** Démontage des couvercles du filtre

- ✓ 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
- ✓ 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 [15].

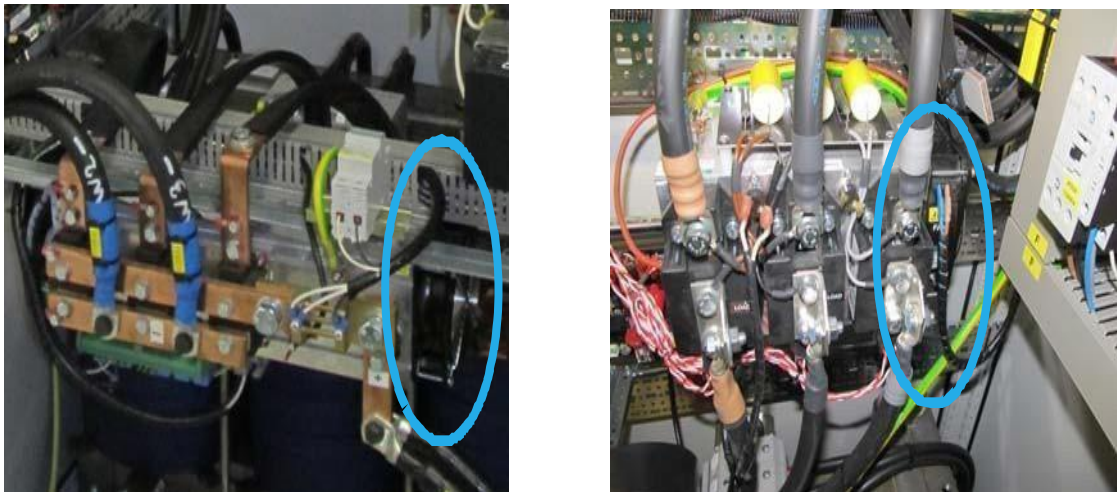
#### ➤ Contrôle et remplacement des batteries UPS 24 V



**Figure V.13.** 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 batterie set remplacez-les par des neuves.

➤ **Remplacement du thyristor et la diode des ventilateurs**



**Figure V.14.** Diode de la pile (à gauche) et thyristor de la pile (à droite) avec ventilateur [15].

- ✓ 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.

➤ **Contrôle du fonctionnement de l'interrupteur de porte de l'armoire électrique**



**Figure V.15.** Contrôle du fonctionnement de l'interrupteur de porte de l'armoire électrique

- ✓ Ouvrez la porte de l'armoire électrique de  $\pm 10$  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 [15].

➤ **Contrôle du fonctionnement de l'interrupteur du ventilateur du procédé**

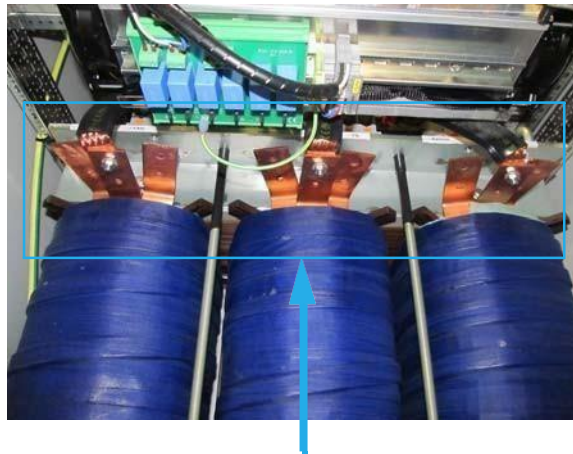


**Figure V.16.** Contrôle du fonctionnement de l'interrupteur du ventilateur du procédé

- ✓ Vérifiez que toutes les portes du conteneur sont fermées.
- ✓ Mettez le disjoncteur en position OFF de fonctionnement du ventilateur [14].

➤ **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 V.17.** 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 »).
- ✓ 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) [15].

#### **4. Conclusion :**

Nous avons effectué une étude de l'application de la maintenance préventive et correctives de la station de production de H<sub>2</sub> qui est constitué principalement du corps Hystat et le compresseur, ce qui nous permis de conclure que les défaillances sont souvent présentées dans le corps Hystat de différentes types mécanique, électrique et hydraulique et les solutions sont proposées dans le plan de la maintenance.

## Conclusion générale

Les applications de le H<sub>2</sub> sont multiples, car il peut être utilisé dans divers domaines. En plus de sa production, il est utilisé comme alimentation dans les piles à hydrogène qui alimentent différents types de véhicules tels que les voitures, les bus, les avions, les vélos et les bateaux. Il peut également être utilisé comme gaz pour alimenter les chaudières à hydrogène, dans l'alimentation et dans d'autres industries telles que l'aérospatiale (carburant pour fusées), la dépollution des sables bitumineux, le traitement des combustibles fossiles (hydrocraquage) et la production d'ammoniac (principalement pour le marché des fertilisants).

Dans notre étude, nous nous intéressons à l'étude du processus de production et de 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'électricité.

Une description détaillée du processus de production de l'hydrogène se basant sur les aspects théoriques de l'électrolyse de l'eau et en utilisant les caractéristiques physicochimiques et hydrauliques. Cette complexité découle également de la conception complexe des appareils industriels utilisés.

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 contribué à l'automatisation qui permettant de gérer le fonctionnement de la station de production d'hydrogène. Ce programme repose sur l'automatisation (systèmes de refroidissement, compresseur, réservoir, poste de remplissage, pompe à vide, pompe d'azote) et des systèmes électriques (MCC, électrolyseur, etc.) au sein de la station, grâce à un logiciel appelé STEP 7

Nous avons réalisé une étude portant sur l'application de la maintenance préventive et corrective de la station de production de H<sub>2</sub>, principalement composée du corps Hystat et du compresseur. Cette étude nous a permis de constater que les défaillances se manifestent fréquemment dans le corps Hystat sous différentes formes mécaniques, électriques et hydrauliques. Les solutions correspondantes sont proposées dans le cadre du plan de maintenance.



## Références bibliographiques

**[1]** : 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 mécanique Boumerdes ,2021/2022.

**[2]** : documentation de la nouvelle centrale ras-Djenet.

**[3]** : [http://voltaweb.elec.free.fr/racinoux/alternat/alter\\_froid.htm](http://voltaweb.elec.free.fr/racinoux/alternat/alter_froid.htm), vu le 25/05/2023 à 19h.

**[4]** : Hemmami Zineb, Thèse « amélioration du refroidissement par film par modification 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 Hedjalla 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]** : Mounir SAHLI, « Etude de la production d'hydrogène par électrolyse et pile à Combustible », Mémoire de magister en physique, Université Mentouri de Constantine, 17/10/2010

**[8]** : KORBAA Fatima, « Etude de l'influence de la température d'hydrogènesur la tension de la pile à combustible (PAC) », Mémoire de master en chimie des matériaux, Université de Bordj Bou Arreridj, 2019

**[9]** : <https://new.societechimiquedefrance.fr/wpcontent/uploads/2019/12/1995-196-janv-fev-p39-docpedagogique.pdf>, vu le 27/05/2023 à 7h.

**[10]** : SASAKI (K.) et SUGYANO (K.). – Kogyo Kagaku Zasshi, p. 387-392, juin 1995  
FEDOTEV (N.P.), VYACHESLAVOV (P.M.) et GNUSIN (N.P.). – Zh. Prikl. Khim, 25, p. 322- 324 (1952).

**[11]** : APPLEBY (A.J.) et CREPY (G.). – « Improvements in electrolysis technology in alkaline solution ». Second World Hydrogen Energy Conférence. Zürich, vol. 1, p. 227-240, 21-24 août 1978-GALA (J.), MALACHOWSKI (A.) et NAWRAT (G.). – Electrolytic-molybdenum- vanadium alloy coatings as a material with a decreased hydrogen overvoltage. J. of Applied Electrochem, vol. 14, p. 221-230 (1984).

**[12]** : NUTTAL (L.J.) et TITTERINGTON (W.A.). – General Electric's solid polymer electrolyte water electrolyses (L'électrolyse de l'eau sur électrolyte de polymère solide de General Electric). Conf. SEE, RGE tome 85, no 6, p. 542- 550, juin 1976.

**[13]** : BLUM (P.), DEPORTES (C.) et SCHOULER (E.), « Production d'hydrogène par réduction électrochimique de la vapeur d'eau à haute température». RGE tome 85, no 7/8,juil.-août 1976

**[14]** : Document de société (SONALGAZ) RDDP-V-00MKG-1-92-001-09/10/2017.

**[15]** : Document de société RDJ GM 580 211 Rev.01\_FR.

**[16]** : « génération d'indication de maintenance par une approche semi-paramétrique et par une approche markovienne », thèse de doctorat de l'université d'Orléans, 2010.

**[17]** : <https://www.mcours.net/cours/pdf/leilcllic3/leilcllic616.pdf>, vu le 02/06/2023 à 23h

**[18]** : F. Monchy, « Maintenance, Méthodes et organisation » Edition DUNOD, Coll. L'usine Nouvelle série gestion industrielle (2eme édition), Paris, 2003.

**[19]** : INGEXPERT, « Conseil, Accompagnement du Management de la Maintenance Industrielle, tertiaire, BTP, transport et biomédicale, Fiabilisation des équipements » [www.ingexpert.com](http://www.ingexpert.com) – 17 F bd Jean Duplessis 13014 Marseille, Ed 2008.

**[20]** : B. Meryem, « AMDEC appliquée à la STEP d'Ain El Houtz » thème de master, université du Tlemcen, département d'Hydraulique, 2014/2015.

**[21]** : V. Zille, « Modélisation et évolution des stratégies de maintenance complexes sur des systèmes multi-composants ». Thèse de doctorat. Université de technologie de Troyes- Institute Charles Delaunay, janvier 2009

**[22]** : G. Mathieu, « Modélisation des couts de cycle de vie : présentation des coûts de la maintenance et de fiabilité, application à l'aéronautique ». Thèse de Doctorat. L'école centrale de Lyon, janvier 2005

**[22]** : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Maintenance>, vu le 03/06/2023 à 16h.

**[23]** : Technique de l'ingénieur (documents Sonalgaz).

**[24]**: Schneider Electric« Automates Nano et plate-forme d'automatisme Micro » 1999.

**[25]** : A. Gonzaga. Les automates programmables industriels,  
[http://www.geea.org/IMG/pdf/LES\\_AUTOMATES\\_PROGRAMMABLES\\_INDUSTRIELS\\_pour\\_GEEA.pdf](http://www.geea.org/IMG/pdf/LES_AUTOMATES_PROGRAMMABLES_INDUSTRIELS_pour_GEEA.pdf), Consulté le 06/06/2023 à 11h.

**[26]**: Mahdi Ben hamza, « Etude d'un système automatique par un filtre à manche de Cimenterie par s7-300 », Mémoire Master Automatique et Informatique industrielle, Université Mohamed Khider Biskra, 2018.

**[27]** : R. MANSOURI, Etude de l'automatisation par automate programmable S7-300 de la machine à garnir les encoches De l'ENE, diplôme D'INGENIEUR D'ETAT EN ELECTROTECHNIQUE, Université Tizi ouzou, 2008

**[28]**:[https://www.researchgate.net/figure/Module-d'alimentation-dun-API\\_fig3\\_349039684](https://www.researchgate.net/figure/Module-d'alimentation-dun-API_fig3_349039684), vu le 06/06/2023 à 14h.

**[29]** : BENMERZOUG Chahrazed, Automatisation & Supervision d'une porte coulissante, Master AUTOMATIQUE ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE, Université annaba, 2018

**[30]** : Document SIEMENS « Module A1 totally integrated automation » édition 05/2005

**[31]** : MAKHLOUFI Mounir, BOUMAZA Sofiane, « Migration S5 vers S7 et S7 vers TIA PORTAL d'un automate programmable industrielle pour un système de palettisation », Master en électronique, 2015 2016