

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

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

Filière: ELECTROMÉCANIQUE

Spécialité: MÉCATRONIQUE

-Arrêté 1275-

THEME

**Automatisation et supervision de système de drainage des
ballons de chaudière {BLOW DOWN}**

Présenté par :

- Ladoul abdessamed
- Bourahla abderrezak

Promoteur :

Dr.ikkache kamel

Co-promoteur :

Pr .LECHEB

Promotion 2023- 2024

REMERCIEMENTS

En premier lieu, nous remercions Dieu tous puissant, notre créateur, qui nous a donnée la force et la persévérance pour réaliser ce travail.

Nous tenons à remercier nos parents pour leur soutien moral et financier.

Nous remercions également monsieur K.IKKACHE notre promoteur de mémoire pour avoir accepte de diriger ce travail, pour ses précieux conseil et sa disponibilité.

Nous tenons également à adresser nos remerciements à notre encadreur Mr MOHAMMED MALKI qui nous a accordé son soutien, son aide indéfectible et surtout sa patience et sa gentillesse.

Nous adressons mes sincères remerciements à tous les enseignants, intervenantes et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nos questions durant nos recherches. Enfin, aux honorables membres du Jury qui nous font l'honneur d'examiner notre modeste travail.

ABDERREZAK . ABDESSAMED



DEDICACES

Je tiens à dédier ce mémoire :

A mon très cher Père et à ma Chère Mère.

En témoignage et en gratitude de leur dévouement de leur soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mon affection sans limite.

A ceux qui sont la source de mon inspiration et mon courage.

A qui je dois de l'amour et de la reconnaissance :

Mon frère.

A toute ma famille Et à tous mes amis

BOURAHLA ABDERREZAK

LADOUL ABDESSAMED



Liste des figures

Figure [I.1] : centrale thermique de CAP-DJINET.....	3
Figure [I.2] : localisation géographique de la centrale électrique de CAP-DJINET.....	3
Figure [I.3] : la centrale de commande de la centrale thermique de CAP-DJINET.....	6
Figure [I.4] : plan de masse.....	7
Figure [I.5] : différentes formes de conversion d'énergie.....	10
Figure [I.6] : Turbine à gaz à combustion annulaire – SGT5-4000F.....	13
Figure [I.7] : turbine à vapeur.....	14
Figure [I.8] : Principaux composants et circuits d'une tranche thermique de la centrale.....	16
Figure [I.9] : générateur de vapeur.....	17
Figure [I.10] : vue interne d'une chambre de combustion.....	19
Figure [I.11] : Turbine.....	20
Figure [I.12]: corps HP.....	21
Figure [I.13]: corps MP.....	21
Figure [I.14] : corps BP.....	21
Figure [I.15] : poste d'eau.....	22
Figure [I.16]: Le Condenseur.....	23
Figure [I.17] : pompe extraction.....	23
Figure [I.18]: pompe alimentaire.....	23
Figure [I.19]: bache alimentaire.....	24
Figure [I.20] : un Alternateur.....	26
Figure [I.21] : Transformateur principale.....	26
Figure [I.22] : schéma du principe de fonctionnement d'une centrale thermique.....	28
Figure [II.1] : Système BLOW DOWN.....	30
Figure [II.2] : Réservoir des purges.....	31
Figure [II.3] : Siphon de décharge d'excès d'eau en urgence.....	3

Figure [II.4] : Vannes motorisées de commande des purges.....	32
Figure [II.5] : Détecteurs de niveau.....	33
Figure [II.6] : Indicateur de température.....	33
Figure [II.7] : Compteur de pression locale.....	33
Figure [II.8] : Bassin collecteur.....	34
Figure [II.9] : Schéma du bassin collecteur.....	35
Figure [II.10] : Pompes de rejet.....	36
Figure [II.11] : Capteur de niveau.....	36
Figure [II.12] : Schéma du capteur de niveau.....	37
Figure [II.13] : Capteur de température.....	37
Figure [II.14] : Vanne de surchauffe.....	38
Figure [II.15] : Schéma d'une vanne régulatrice.....	38
Figure [II.16] : Vanne de rejet.....	39
Figure [II.17] : Vanne de transfert vers le bassin collecteur.....	39
Figure [II.18] : Composants d'une vanne motorisée.....	40
Figure [II.19] : Armoire électrique.....	41
Figure [III.1]: Structure générale d'un grafcet.....	46
Figure [III.2]: Schéma de GRAFCET du Fonctionnement d'une fraiseuse.....	48
Figure [III.2] : Les Niveaux de GRAFCET.....	49
Figure [III.3]: Schéma de la séquence unique.....	50
Figure [III.4]: Schéma de la Séquences simultanées.....	50
Figure [III.5]: Schéma de la Séquences simultanées.....	51
Figure [III.6]: les étapes initiales d'un GRAFCET	52
Figure [III.7]: Illustration de franchissement d'une transition.....	53
Figure [III.9]: Diagramme grafcet N°1 du BLOC BLOWDOWN.....	57
Figure [III.10]: Diagramme grafcet N°2 du BLOC BLOWDOWN.....	58
Figure [III.11]: Les transitions de diagramme grafcet N°2 du BLOC BLOWDOWN.....	5
Figure [III.12]: Structure d'un système automatisé.....	59
Figure [III.13] : Les parties d'un système automatisé.....	60

Figure [III.14]: Automate programmable industriel.....	61
Figure [III.15] : Architecture interne d'un API.....	63
Figure [IV.8]: L'automate programmable S7 -300.....	67
Figure [IV.9]: Fonctionnalité de l'API.....	68
Figure [IV.10]: Vue du démarrage de Tia portal.....	70
Figure [IV.11]: Vue du projet.....	71
Figure [IV.12]: Les modules E/S.....	72
Figure [IV.13]: Adressage des E/S.....	73
Figure [IV.14]: Création d'un nouveau projet dans le TIA PORTALE V13.....	73
Figure [IV.15]: Configuration matérielle.....	74
Figure [IV.16]: Configuration des appareils.....	74
Figure [IV.17]: Variables API de système BLOW DOWN.....	75
Figure [IV.18]: Fenêtre d'ajout de nouveau bloc.....	76
Figure [IV.19]: Les liaisons qui existent entre les blocs.....	77
Figure [IV.20]: Vue du bloc FB1.....	78
Figure [IV.21]: Vue du bloc FC1 [NIVEAU].....	79
Figure [IV.22]: Vue du bloc FC2 [ALARM].....	79
Figure [IV.23]: Bloc de données DB2.....	80
Figure [IV.24]: Vue du bloc FC2 [MAIN].....	80
Figure [IV.25]: Déroulement de la supervision.....	82
Figure [IV.26]: Vue du WinCC dans TIA portal.....	84
Figure [IV.27]: Liaison entre la PLC et IHM.....	86
Figure [IV.28]: Table des variables HMI.....	87
Figure [IV.22]: Vue d'accueil.....	88
Figure [IV.23]: Vue BLOW DOWN.....	89
Figure [IV.24]: Vue SEAWATER SUPPLY.....	90
Figure [IV.25]: Vue WASTE WATER TRAITEMENT.....	91
Figure [IV.26]: Vue d'alarme.....	92
Figure [IV.27]: l'état d'arrêt et marche de la pompe.....	93

LISTE DES TABLEAUX

Tableau (I.1) : Avantages et inconvénients de la centrale thermique.....	2
Tableau (I.2): caractéristiques chimiques du gaz combustible.....	11
Tableau (I.3) : caractéristiques chimiques du combustible de secours.....	12
Tableau (I.4) : caractéristiques de la turbine à gaz (TG).....	13
Tableau (I.5) : Caractéristiques de la turbine à vapeur.....	20
Tableau (II .1) : Caractéristiques techniques du capteur de niveau.....	37

LISTE DES ABREVIATIONS

CCPP : Combined cycle power plant (central électrique à cycle combiné).

HRSG : Générateur de vapeur a récupération de chaleur.

GT: Turbine a gaze.

ST : Turbine à vapeur.

NG: Gaz naturel.

GTG : Turbo-générateur à gaz.

IP : Pression intermédiaire.

HP: Haute pression.

LP : Basse pression.

PC : Partie de commande.

PO : Partie opérative.

E/S : Les entres/sorties.

TOR : Tout ou rien.

API: Automate Programmable Industriel, en anglais PLC (Programmable Logic Controller)

CSV: Comma Separated Values (valeurs séparées par des virgules)

WinCC: Windows Control Center.

SAP: Systems, Applications, and Products in Data Processing

MOTS CLÉS

GRAFCET : (Graphe Fonctionnel de Commande des Étapes et Transitions) est un outil de représentation d'un système automatisé servant à expliquer le fonctionnement

SIMATIC : Est le nom d'un système d'automatisation (Logiciel / Matériel), qui a été développé par l'entreprise allemande siemens.

MPI : (Multi Point Interface) Est un réseau de communication de niveau cellule qui permet le raccordement des stations intelligentes (CPU, PC etc.). La communication entre les différentes stations est assurée par l'affectation des adresses M.P.I.

PROFIBUS : (Process Field Bus) Est un réseau de communication ouvert pour le niveau cellule et terrain qui permet la mise en réseaux des automates programmables en environnement industrie

SOMMAIRE

SOMMAIRE

CHAPITRE I : PRESENTATION DE CENTRALE CAP-DJINET.....	1
I. 1- INTRODUCTION	2
I. 2- VUE GENERALE SUR LES CENTRALES THERMIQUES	2
I. 3- PRESENTATION DE LA CENTRALE THERMIQUE DE CAP-DJINET	3
I. 3.1- DEFINITION	3
I. 3.2- LOCALISATION	4
I. 3.3- HISTORIQUE.....	5
I. 3.4- DIFFERENTS STATIONS ET SECTIONS DE LA CENTRALE CAP-DJINET.....	6
I. 3.5- PLAN DE MASSE DE LA CENTRALE	8
I. 3.6- DEVELOPPEMENT DURABLE ET PERFORMANCE ORGANISATIONNELLE....	9
I. 4- DESCRIPTION DE LA CENTRALE CAP-DJINET.....	10
I. 4.1- PRODUCTION THERMIQUE	10
I. 4.2- DIVERSES COMMANDES ET CONTROLES SONT DISPONIBLES	11
I. 4.3- CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA CENTRALE	12
I. 4.4- LES PRINCIPAUX ELEMENTS D'UNE TRANCHE DE PRODUCTION.....	17
I. 5- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE TRANCHE DE PRODUCTION.....	28
I. 6- CONCLUSION	29
CHAPITRE II : ETUDE SUR LE SYSTEME BLOW DOWN	30
II. 1- INTRODUCTION	31
II. 2- DESCRIPTION DU SYSTEME BLOW DOWN.....	31
II. 3- COMPOSANT DU SYSTEME BLOW DOWN.....	32
II. 3.1- RESERVOIR DES PURGES INTERMITTENTES.....	32
II. 3.2- BASSIN COLLECTEUR.....	35
II. 3.3 - SYSTEME DE COMMANDE (ARMOIRE ELECTRIQUE).....	42
II. 4. CONCLUSION	43
CHAPITRE III: MODELISATION ET AUTOMATISATION DE SYSTEME DE DRAINAGE (BLOW DOWN).....	44
III. 1- INTRODUCTION	45
III. 2- MODELISATION AVEC L'UTILE GRAFCET	46
III. 2.1- DEFINITION DU GRAFCET	46

III.	2.2- LA REPRESENTATION D'UN GRAFCET	47
II.	2.3- LES NIVEAUX DE GRAFCET	49
II.	2.4- STRUCTURE DE BASE D'UN GRAFCET	50
III.	2.5- LES REGLES D'EVOLUTION DU GRAFCET	53
III.	3- MODELE FINALE DU SYSTEME BLOW DOWN AVEC L'UTILE GRAFCET.....	55
III.	3.1- CAHIER DES CHARGES POUR LE DEMARRAGE DES UNITES DU BLOW DOWN.....	55
III.	3.2- MODELISATION DU CAHIER DES CHARGES PAR GRAFCET	57
III.	4- AUTOMATISATION DU SYSTEME BLOW DOWN AVEC (SIMENCE S7-300)	60
III.	4.1- DESCRIPTION ET STRUCTURE D'UN SYSTEME AUTOMATISE DE PRODUCTION SAP	60
III.	4.2- DEFINITION D'UN AUTOMATE PROGRAMMABLE INDUSTRIEL (API).....	62
III.	4.3- HISTORIQUE D'UN AUTOMATE PROGRAMMABLE INDUSTRIEL (API) ...	62
III.	4.4- OBJECTIVES DE L'AUTOMATISATION	63
III.	4.5- ARCHITECTURE D'UN AUTOMATE PROGRAMMABLE INDUSTRIEL (API).	63
III.	4.6- CHOIX D'UN AUTOMATE PROGRAMMABLE	64
III.	5- CONCLUSION	65
CHAPITRE IV : PROGRAMMATION ET SUPERVISION DE SYSTEME BLOW DOWN AVEC TIA PORTAL.....		66
IV.	1- INTRODUCTION	67
IV.	2- PRESENTATION DE L'API S7-300 ET DE LOGICIEL DE PROGRAMMATION TIA PORTAL	67
IV.	2.1- LES MODULES DE L'AUTOMATE S7-300	69
IV.	2.2- FONCTIONNALITES DE S7-300	69
IV.	2.3- CARACTERISTIQUES DE NOTRE AUTOMATE S7-300	70
IV.	3- PROGRAMMATION DU S7-300 AVEC TIA PORTALE	70
IV.	3.1- VUE DU PORTALE ET VUE DU PROJET.....	70
IV.	3.2- ADRESSAGE DES E/S	73
IV.	3.3- CREATION D'UN PROJET DANS LE TIA PORTALE V13	74
IV.	4- SUPERVISION DE SYSTEME DE DRAINAGE (BLOW DOWN) EN UTILISENT LE TIA PORTAL.....	82

IV.	4.1- DEFINITION DE LA SUPERVISION INDUSTRIELLE	82
IV.	4.2- CONSTITUTION D'UN SYSTEME DE SUPERVISION	82
IV.	4.3- PRESENTATION D'UNE SUPERVISION WINCC DANS LOGICIEL TIA PORTAL	83
IV.	4.4- DEVELOPPEMENT D'UN SYSTEME DE SUPERVISION SOUS WINCC.....	86
IV.	4.5- PRESENTATION DE CONTROLE DE SUPERVISION DU SYSTEME BLOW DOWN.....	88
IV.	4.6- L'ETAT DES VANNES ET POMPES.....	93
VI.	5- CONCLUSION	94
CONCLUSION GENERALE		95
CONCLUSION GENERALE		96
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.....		97

RESUME

Notre projet de fin d'étude s'intitule automatisation et supervision de système de drainage des ballons de chaudière (Système Blow Down) au niveau de central de Cap Djinet. Notre but est d'apporter une amélioration par modification du système de commande du Système Blow Down, en remplaçant la logique câblée par un système de commande basé sur la logique programmée.

Pour automatiser un système, il faut d'abord connaître ses exigences de fonctionnement. Cette démarche peut se résumer en deux phases essentielles : la phase d'étude (cahier des charges) et la phase de réalisation et mise en marche. Il existe plusieurs inconvénients des systèmes de commande basés sur la logique câblée, notamment des défauts électriques et des pannes répétitives.

Le problème est que l'opérateur ne peut pas commander et contrôler le fonctionnement du système de drainage Blow Down à partir de la salle de commande principale. Nous proposons donc de changer le système de commande en utilisant un automate programmable Siemens S7-300. Nous ajouterons des capteurs, comme des capteurs de niveau et de température, et intégrerons un système de supervision en temps réel pour surveiller le fonctionnement du système Blow Down.

Nous créerons une vue identique sur le DCS, comme l'IHM du panneau local, élaborerons un nouveau schéma électrique, et mentionnerons toutes les modifications. Toutes ces tâches faciliteront le travail de l'opérateur, réduiront les interventions des personnels de maintenance, et minimiseront les coûts d'investissement.

Notre travail est organisé comme suit :

- Introduction générale
- Présentation de la centrale à cycle combiné de Cap Djinet
- Étude du système BLOW DOWN
- Présentation d'un API SIEMENS S7-300
- Programmation et supervision à l'aide de l'outil WinCC
- Conclusion générale

Nous utiliserons des outils comme le **GRAFSET** pour représenter le fonctionnement du système automatisé, et intégrerons des systèmes de communication comme le **SIMATIC** de Siemens. La communication entre les différentes stations sera assurée par l'affectation des adresses **MPI** et **PROFIBUS** pour une mise en réseau optimale des automates programmables en environnement industriel.

SUMMARY

Our final project is titled Automation and Supervision of the Boiler Drum Drainage System (Blow Down System) at the Central Cap Djinet. Our goal is to improve the control system of the Blow Down System by replacing the wired logic with a programmed logic system.

To automate a system, it is essential to understand its operational requirements. This process can be summarized into two main phases : the study phase (specifications) and the implementation and commissioning phase. There are several drawbacks to control systems based on wired logic, such as repetitive electrical faults and breakdowns.

The issue is that the operator cannot control and monitor the Blow Down drainage system from the main control room. Therefore, we propose replacing the control system with a Siemens S7-300 programmable logic controller. We aim to add sensors, such as level and temperature sensors, and implement a real-time supervision system to monitor the Blow Down system's operation.

We will create an identical view on the DCS as the local panel HMI, develop a new electrical schematic, and document all modifications. These tasks will make the operator's job easier, reduce the need for maintenance interventions, and minimize investment costs.

Our work is structured as follows:

- General Introduction
- Presentation of the Cap Djinet Combined Cycle Power Plant
- Study of the BLOW DOWN system
- Presentation of a SIEMENS S7-300 PLC
- Programming and Supervision using the WinCC tool
- General Conclusion

We will use tools like **GRAFCET** to represent the automated system's operation and integrate communication systems like Siemens **SIMATIC**. Communication between the different stations will be ensured by assigning **MPI** addresses and using **PROFIBUS** for optimal networking of programmable controllers in an industrial environment.

ملخص المشروع

العنوان : الأتمتة و الإشراف على نظام صرف خزان الغلايات (نظام التفريغ) على مستوى محطة كاب جنات

الهدف : تحسين نظام التحكم في نظام التفريغ عن طريق تغيير نظام التحكم المنطقي المبرمج، والذي يعتمد على منطق مشفر بواسطة نظام تحكم آخر.

التجهيز: لأتمتة النظام ، يجب أولاً أن تكون على دراية بمتطلباته التشغيلية. يمكن تلخيص هذه العملية في جزأين رئيسيين :

1- مرحلة الدراسة (الشحن) :

- فهم متطلبات النظام وتحديد التناقضات في نظام التحكم الحالي، مثل الأعطال الكهربائية المتكررة وأعطال التخطيط. هذه التناقضات تعتمد على التوصيلات المنطقية في مستوى نظام الصرف أو التفريغ.

2- مرحلة التنفيذ والتطبيق :

- استبدال نظام التحكم الحالي بنظام آخر يعتمد على استخدام نظام أتمتة قابل للبرمجة من طراز سيمنز S7.300.
- عرض الفانيات وصمامات تخفيف الضغط في النظام.
- هدفنا هو تضمين أجهزة استشعار مثل مستشعر المستوى ومستشعر درجة الحرارة.
- إنشاء عرض على نظام التحكم الموزع (DCS) مماثل للوحة التحكم المحلية (IHM).
- تطوير مخطط كهربائي جديد وتحديد جميع التغييرات.

الفوائد :

- تسهيل عمل المشغل.
- تقليل الحاجة إلى تدخل الأشخاص الذين يعملون في الخدمة.
- تقليل تكاليف الصيانة والاستثمار.

هيكل العمل :

1. المقدمة العامة
2. عرض النظام المركزي مع دورة كاب جنات المدمجة
3. تحليل نظام التفريغ
4. عرض نظام الأتمتة القابل للبرمجة سيمنز S7.300
5. البرمجة والإشراف باستخدام أداة Win CC
6. الخاتمة العامة

الخاتمة :

يهدف هذا المشروع إلى حل المشاكل الحالية في نظام التحكم في نظام التفريغ أو الصرف وتحسين الكفاءة التشغيلية العامة من خلال دمج تكنولوجيا الأتمتة المتقدمة . نستخدم لانجاز ذلك عدة أدوات مثل GRAFCET و SIMATIC و MPI و

PROFIBUS

INTRODUCTION

GENERALE

Dans un monde industriel en constante évolution où la concurrence est omniprésente, L'automatisation devient une exigence cruciale. Toutefois, elle doit être correctement gérée :

- Elle doit être intégrée dans un contexte humain, de la conception à la mise en œuvre, afin que chaque tâche soit simple à accomplir, résultant en un système automatisé performant.
- Elle doit être conforme aux exigences commerciales. Les étapes non productives du cycle de vie d'un système automatisé, telles que la conception, la mise en œuvre et la maintenance, doivent être raccourcies, rationalisées et rendues plus économiques.

Autrefois réservée aux applications nécessitant de grandes capacités de traitement, l'automatisation programmable industrielle (API) est désormais accessible pour des applications plus modestes. Les utilisateurs disposent d'un vaste choix de modules programmables, facilitant ainsi la mise en œuvre industrielle et simplifiée.

Notre mémoire de fin d'étude, proposée par le directeur technique de la centrale électrique Cap-Djinet, s'inscrit dans ce contexte par l'automatisation du système de réservoir Blow Down.

POSITION DU PROBLEME

Le système Blow Down Tank est actuellement basé sur une commande logique câblée. Cependant, les défauts électriques et les irrégularités opérationnelles sont fréquents, augmentant ainsi les tâches de maintenance. De plus, plusieurs problèmes affectent les fonctions principales de la gestion, tels que :

- Le démarrage et l'arrêt des pompes du bassin collecteur.
- Le démarrage et l'arrêt des vannes régulatrices.

Toutes ces actions sont effectuées manuellement depuis un panneau électrique local. Il est également à noter que :

- L'état des pompes et des vannes régulatrices est vérifié (marche – arrêt – défaut).
- Les niveaux du collecteur de bassin et du réservoir des purges sont contrôlés.

Bien que cette technologie soit simple, toute modification du fonctionnement de l'installation implique :

- Une augmentation du nombre de relais et de câblage (coût élevé d'investissement).
- Une intervention dans le câblage nécessitant une main-d'œuvre spécialisée, avec des auxiliaires, ce qui entraîne un encombrement dans l'armoire électrique.
- Un dysfonctionnement fréquent du capteur de niveau dû aux variations de température de l'eau.

A decorative gold floral wreath with intricate leaf and flower patterns, framing the central text.

CHAPITRE I

PRESEN TATION DE

CENTRALE

CAP-DJINET

I. 1- INTRODUCTION

La production d'électricité grâce à l'utilisation d'une source de chaleur caractérise une centrale thermique. Cette source de chaleur peut provenir de la combustion de divers combustibles tels que le gaz naturel, des huiles minérales spécifiques, le charbon, des déchets industriels ou des ordures ménagères. Alternativement, il peut être généré par le processus de fission nucléaire impliquant des noyaux d'uranium 235 ou de plutonium 239.

La source de chaleur réchauffe un fluide, généralement de l'eau, le faisant passer d'un état liquide à un état gazeux, en particulier de la vapeur. Cette vapeur alimente ensuite une turbine reliée à un alternateur, convertissant l'énergie mécanique de la turbine en énergie électrique.

En Algérie, la production d'énergie électrique est fortement influencée par la centrale thermique CAP-DJINET. Alors que le pays traverse une phase de modernisation, il s'efforce activement de répondre à une partie importante de ses besoins énergétiques en renforçant sa capacité de production d'électricité.

Afin d'atteindre cet objectif, il nous a semblé utile et essentiel de donner dans ce chapitre un aperçu concis de la centrale thermique, ainsi qu'une présentation de la station CAP-DJINET et de ses équipements associés.

I. 2- VUE GENERALE SUR LES CENTRALES THERMIQUES

L'énergie électrique occupe une place importante dans divers domaines, notamment dans l'électrification urbaine et rurale, ainsi que dans le secteur industriel.

L'impossibilité de le stocker nécessite d'ajuster la production à la consommation, tandis que sa facilité de transport et la possibilité de modifier ses caractéristiques grâce à des transformateurs permettent de s'adapter aux exigences de transport et d'utilisation.

Dans les centrales thermiques, la production d'énergie électrique repose sur le fonctionnement de groupes rotatifs. Chaque groupe est constitué d'une machine motrice qui propulse un alternateur, chargé de produire du courant électrique triphasé de 50 Hz. Ce courant, dont la tension varie de 5,5 kV à 15,5 kV, n'est pas adapté au transport. Pour atténuer les pertes causées par l'effet Joule pendant la transmission, des transformateurs appelés amplificateurs de tension sont stratégiquement placés dans un poste de commutation. Ces transformateurs élèvent la tension dans une plage de 63 kV à 235 kV, garantissant ainsi un transport efficace de l'énergie électrique. [1]

La conversion de l'énergie thermique issue de la combustion en énergie mécanique est la principale source d'énergie des centrales thermiques. Vous trouverez ci-dessous un tableau présentant les avantages et les inconvénients associés à ces types de centrales:

Tableau (I.1) : Avantages et inconvénients de la centrale thermique [2]

AVANTAGES	•Processus de construction rapide •La technique en question est largement reconnue et reconnue. •L'installation peut être trouvée dans divers endroits à travers le monde. •Le coût de la construction est maintenu au minimum, garantissant l'abordabilité. •En période de forte demande, un système de sauvegarde est mis en place pour assurer le bon fonctionnement.
INCONVÉNIENTS	• Dépend de sources d'énergie qui ne sont pas de nature renouvelable. • La production de diverses sources d'énergie telles que le mazout, le gaz naturel et le charbon dépend de plusieurs facteurs. • Divers polluants nocifs, tels que le dioxyde de charbon et les oxydes de soufre, contribuent à la pollution de l'environnement.

I. 3- PRESENTATION DE LA CENTRALE THERMIQUE DE CAP-DJINET

I. 3.1- Définition

La centrale thermique de Cap-Djinet (sous Sonelgaz) est une centrale de production d'électricité. Il se compose de trois turbines fonctionnant selon un cycle combiné – 30 % de vapeur et 70 % de gaz – chacune ayant la capacité de produire 400 MW d'électricité par heure, totalisant 1 113 mégawatts pour les trois turbines.

Il est capable de générer une puissance électrique de 704 MW. Les quatre unités de production ont des parts égales de 176 MW chacune ce qui fait que la consommation totale des quatre unités et auxiliaires communs est d'environ 32 MW, ainsi la puissance délivrée au réseau national atteint 672 MW qui est acheminée vers les stations du carrefour Alger/EST et Si Mustapha à travers deux lignes par station de 220 KV (quatre au total). [3]

L'usine évolue également au fur et à mesure du développement et c'est la raison pour laquelle elle dispose d'un haut niveau d'automatisation et d'un contrôle central.



Figure [I.1] : centrale thermique de CAP-DJINET

I. 3.2- Localisation

La centrale thermique CAP-DJINET est située en bord de mer à proximité de la localité de Cap-Djinet dans la province de Boumerdès (25 km à l'est de Boumerdes) et à 80 km à l'est d'ALGER, la capitale. Il s'étend sur une superficie de 35 hectares.

La sélection du site s'est basée sur :

- Potential évolutif.
- Conditions de sol favorables ne nécessitant pas de fondations profondes
- Proximité de la mer (demande importante en eau de refroidissement)
- Localisation à proximité des grands acquéreurs (zone industrielle de Rouïba et Rghaia). [1]



Figure [I.2] : localisation géographique de la centrale électrique de CAP-DJINET

I. 3.3- Historique

Dans le cadre du contrat n° 80/103 KDM, la construction de la centrale thermique de Ras Djinet a débuté en 1981 et s'est achevée en 1984. Le consortium austro-allemand, composé de SIEMENS-KWU-SGP, a supervisé les études de supervision, de montage et de contrôle. Du projet. Par ailleurs, l'entreprise espagnole DRAGADOS s'est chargée de la construction de la prise d'eau de la mer, avec le soutien d'entreprises algériennes telles qu'ENCC, ETTERKIB, BATIMETAL, GENISIDER, INERGA, SNLB, PROSIDER, ENATUB, SNIC, GTP, SONATRAM et SOGEP.

Le 17 juin 1986, la première partie de l'énergie a été fournie avec succès au réseau à partir de la centrale électrique, qui a été construite pour améliorer l'approvisionnement en énergie électrique du pays. [1]

En juin 2019, la production du produit a commencé, entièrement équipé de toutes ses capacités, et a été officiellement et définitivement reconnue en mars 2020.

I. 3.3.1- Etape de construction de l'usine

Après la finalisation des principaux accords en 1980, les travaux d'excavation ont commencé en mars 1981, suivis de la construction de la centrale électrique en mars 1984, et sa mise en service initiale remonte à 1986. Par conséquent, le projet s'est étalé sur une période de 5 ans. , de juin 1981 à fin septembre 1986, pour un coût total de : 3,34 milliards ATS et 12,5 millions DA.

Les principales activités ont été conduites de la manière suivante:

- Les projets de génie civil ont débuté en 06 - 1981 et se sont terminés en 03 - 1985.
- Le processus d'assemblage mécanique a débuté en 03 - 1984 et s'est terminé en 09 - 1986.
- L'installation électrique a débuté en 03 - 1984 et s'est terminée en 09 - 1986. [1]

I. 3.3.2- Intégrer des services de groupe

La valorisation industrielle de cette usine a débuté en quatre étapes:

- Le groupe 01 a été connecté au réseau le 17/06/1986.
- Le Groupe 02 a emboîté le pas et a été connecté le 17/09/1986.
- Le 19/11/1986, le Groupe 03 a été observé en couplage sur le réseau.
- De même, le 21/02/1987, le Groupe 04 a été aperçu en train de se coupler sur le réseau. [1]

I. 3.4- Différents stations et sections de la centrale cap-djinet

Les installations de la centrale thermique de CAP-DJINET sont :

- **Salle des machines:** Ici sont installés une turbine, un alternateur, une pompe et d'autres composants. C'est l'emplacement des équipements et des machines qui produisent de l'électricité à partir de la chaleur générée par la combustion de combustibles.
- **Station de détente des gaz:** IL s'agit de deux lignes de filtration des gaz, ainsi que de trois lignes qui sont dédiées à la régulation du débit de gaz, ces lignes sont de 60 à 6 bar.
- **Réservoir de stockage de carburant:** deux réservoirs d'une capacité de 10 000 m³ chacun. Utilisé en cas de manque de gaz ou d'indisponibilité de la station-service.
- **Station de déchargement et de pompage de fuel:** Elle dispose de deux réservoirs d'une capacité de $2 \times 10\,000$ m³.
- **Station de production d'hydrogène:** Elle convertit l'ammoniac en hydrogène nécessaire au refroidissement des quatre générateurs électriques de l'usine. Sous une pression de 3 bars, dans un système fermé, l'hydrogène lui-même est refroidi par l'eau utilisée pour l'extraction.
- **Station d'électrochloration:** Le procédé de chloration de l'eau de mer a pour but de préserver le circuit d'eau (concentrateur, pompe à eau, etc.) contre tout blocage qui pourrait être provoqué par les micro-organismes que possèdent les marins. Ceci est accompli en administrant un volume de 150 kg/h d'hypochlorite de sodium.
- **Station de déminéralisation:** Cette station est dédiée au traitement de la composition d'eau des quatre brûleurs. L'eau est conservée dans deux réservoirs d'une capacité de 1 500 m³ chacun.
- **Station de dessalement d'eau de mer :** La centrale de CAP-DJNET produit 1100m³/h d'eaux dessalées pour effectuer cette opération, quatre unités fonctionnant selon le principe de la distillation, par détente successive sur 18 étages dont chaque unité produit 500m³ d'eau dessalée. [3]
 - ✓ Capacité de production... (04) Unités produisant 500 m³/j chacune.
 - ✓ Procède de distillation...Multi flash
- **Fosse de neutralisation:** récipient pour les eaux usées qui est traité pour rendre son pH neutre avant d'être rejetées ou réutilisées.

- **Station de pompage et de filtration d'eau de mer:** La station de pompage est une structure en béton résistant à l'eau située à environ 7 mètres de profondeur dans la mer Méditerranée. La prise d'eau est située à 900 mètres du rating, ce qui permet à l'eau de s'écouler jusqu'au bassin d'alimentation par le dénivelé (niveau). De plus, cette station dispose de 4 canaux de drainage, chacun étant équipé d'une grille avec dégrillage et d'un tombeur afin d'éviter l'intrusion d'impureté de la mer dans une installation.
- **Station de pompage d'incendie:** Installation dédiée à la lutte contre l'incendie, équipée de réservoirs d'eau et de pompes pour se défendre contre un incendie.
- **Construction administrative:** Bâtiment dédié aux fonctions administratives, notamment la gestion, la planification et le support technique.
- **Cantine:** destinée à servir le personnel présent sur le chantier. C'est un lieu qui permet aux employés de manger, de se détendre et de socialiser pendant leur temps libre.
- **Parking:** Un espace dédié au stockage des véhicules, camions et autres équipements associés à l'exploitation de l'usine.
- **Poste de garde:** Dispositif de sécurité situé à l'entrée de la zone. Son objectif principal est de réguler et de gérer l'accès des personnes et des véhicules à l'installation, cela garantira la sécurité du personnel, des visiteurs et des infrastructures.
- **Salle de commande:** Chaque paire de tranches est contrôlée et modifiée indépendamment depuis une pièce centrale qui comprend toutes les paires.
 - ✓ Deux pupitres de conduites.
 - ✓ Deux tableaux verticaux contenant la majorité des appareils de contrôle et des appareils d'enregistrement pour la plupart des paramètres.
 - ✓ Un tableau synoptique illustrant les assistants électriques.

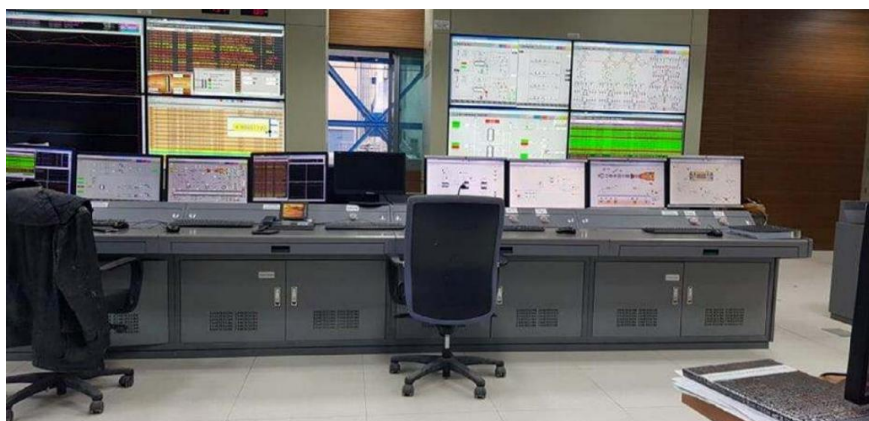


Figure [I.3] : la centrale de commande de la centrale thermique de CAP-DJINET

I. 3.5- Plan de masse de la centrale

Représenter sur la figure [I.4] : [1]

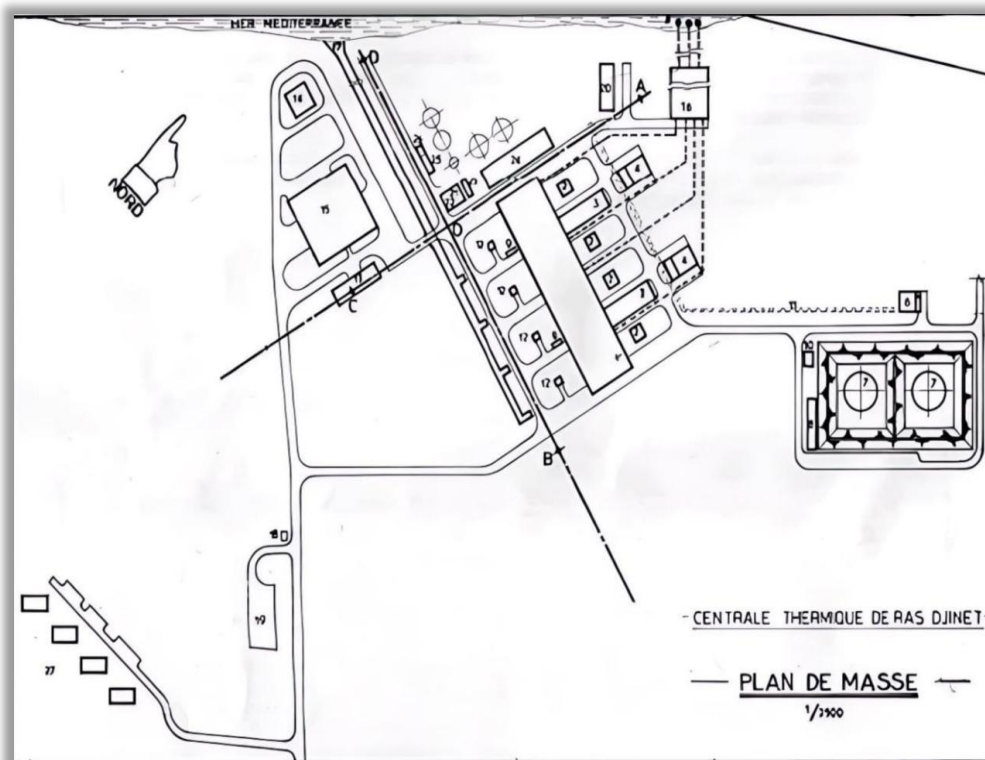


Figure [I.4] : plan de masse

LÉGENDE

- | | |
|--|------------------------------------|
| 1. Salle des machines. | 15. Atelier |
| 2. Chaudière. | 16. Station de pompage |
| 3. Locaux des auxiliaires électriques. | 17. Canal et rejet d'eau de mer. |
| 4. Locaux des auxiliaires mécaniques. | 18. Potier (poste d'entrée). |
| 5. Tour de prise d'eau de mer. | 19. Parc véhicules. |
| 6. Station de détente de gaz. | 20. station de chloration. |
| 7. Réservoir stockage fuel. | 21. Préparation d'eau potable. |
| 8. Station pompage et dépotage fuel. | 22. Déminéralisation |
| 9. Station de production H2 | 23. Fosse de neutralisation. |
| 10. Poste d'incendie à mousse. | 24. Dessalement d'eau de mer. |
| 11. Rack à tuyauterie. | 25. Station des pompes d'incendie. |
| 12. Air des transformateurs. | 26. Pompe d'eau déminéralisée. |
| 13. Bâtiment administratif. | 27. Logement d'exploitation |
| 14. Cantine. | |

I. 3.6- Développement durable et performance organisationnelle

I. 3.6.1- L'efficacité et la performance de la centrale

Depuis son installation, la centrale a produit des résultats significatifs, notamment en termes d'accessibilité, de fiabilité et de consommation spécifique (coût direct du KWh).

Il est important de noter que la centrale de Cap-Djinet représente actuellement environ 8,5 % de la puissance totale installée en France et produit près de 14,35 % de la production SPE nationale. [1]

I. 3.6.2- Action d'amélioration et de progrès

Pour maintenir ses performances, l'unité a initié un vaste programme de rénovation et d'amélioration, nous évoquerons les actions les plus significatives:

- Modernisation du contrôle des 04 unités et de leurs auxiliaires.
- La facilité de déchargement du canal.
- Soutènement de la digue et captage de la prise d'eau.
- Modification de l'emplacement des unités de dessalement.
- Changement de l'emplacement du disjoncteur de l'alternateur.

I. 3.6.3- Ressources humaines [4]

- L'âge moyen de la population occupée: 42 ans.
- Taux d'encadrement : 21,33%
- Dans le cadre de la politique visant à revitaliser et préparer la relève, l'unité a procédé, au cours des seuls exercices 2007-2008-2009, au recrutement de :
 - 19 cadres (ingénieurs et diplômés d'études)
 - 28 masters (DEUA et Techniciens Supérieurs)
 - 12 Exécution (Techniciens)

I. 3.6.4- Environnement

Comme elle a été conçue, l'usine répond aux exigences et réglementations en matière de pollution et de rejets:

- Émissions sonores: 90 DB de distance de la source.
- Émissions de gaz : 50 parties par billion
- Eau de mer à forte teneur en sel: $C_{12} < 0,2$ mg/l dans l'eau de mer

I. 4- DESCRIPTION DE LA CENTRALE CAP-DJINET

I. 4.1- Production thermique

Dans la centrale thermique CAP-DJINET, l'énergie nécessaire à la production de l'électricité provient de la chaleur dégagée par la combustion du gaz naturel, ou diesel. [5]

La création de cette énergie est généralement divisée en trois étapes:

- Conversion de l'énergie chimique en énergie thermique dans la chaudière.
- La conversion de l'énergie thermique en énergie mécanique dans la turbine.
- La conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique dans l'alternateur.

a. Transformation initiale :

L'eau du condenseur et l'eau supplémentaire ou l'eau après condensation sont pompées dans le bûche alimentaire, les pompes basse et haute pression (BP et HP) compriment successivement l'eau jusqu'à un état de température élevée, l'eau atteint ensuite l'économiseur où les gaz de combustion augmentent encore la température. Avant son incorporation dans la chaudière au début de la transformation, la température de l'eau était de 33° degrés et la pression était de 0,05 bar en valeur absolue. À la fin de la transformation, la température de l'eau sera d'environ 282° degrés et la pression sera de 160 bar en valeur absolue.

b. Transformation secondaire :

Cela se produit dans la chaudière, l'eau chaude qui a été comprimée est transportée vers le réservoir supérieur, elle traverse les parois tubulaires qui bordent la chambre de combustion, à travers ces tubes, les gaz qui ont une température de 1300° degrés fournissent à l'eau une chaleur supplémentaire de vaporisation.

Au sommet du réservoir, la vapeur humidifiée est collectée et divisée en trois faisceaux de tubes.

La vapeur séchera dans le premier faisceau, une surchauffe se produira dans les faisceaux suivants. Lors de cette transformation, la pression n'est pas modifiée, alors que la température atteint son maximum, qui est de 540° degrés.

c. Dernière transformation :

En atteignant la section Haute Pression (HP), la vapeur surchauffée subit une détente jusqu'à 40 baret subit une diminution de température jusqu'à 357°. Ce processus génère du travail pour le moteur avant que la vapeur ne retourne vers le four à travers les poutres de réchauffage. Bien que la pression reste constante, la température atteint à nouveau son maximum à 540°. Par la suite, la vapeur retourne vers la turbine, où elle se détend et se refroidit dans les sections Moyenne Pression (MP) et Basse Pression (BP), tout en continuant à contribuer au fonctionnement du moteur.

Le processus se déroule au sein du condenseur, où la vapeur est condensée sous un vide de 0,05 bar et à une température d'environ 33°. L'eau froide qui en résulte est collectée et utilisée pour relancer le cycle.

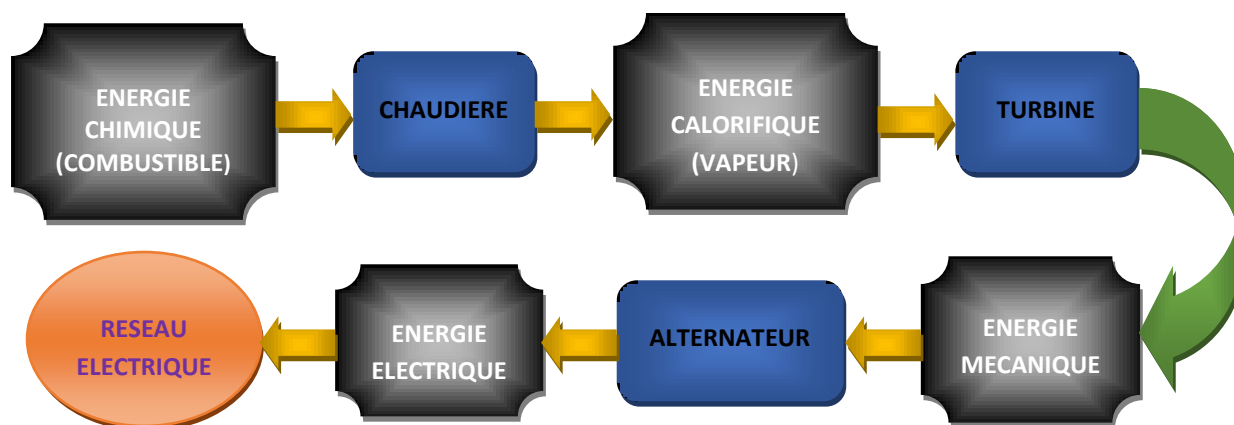


Figure [I.5] : différentes formes de conversion d'énergie [5]

I. 4.2- Diverses commandes et contrôles sont disponibles

La centrale thermique CAP-DJINET bénéficie d'un niveau impressionnant d'automatisation et de contrôle centralisé. [6]

Ceci est évident dans les différents systèmes qui supervisent le fonctionnement des équipements, avec un accent particulier sur les suivants: [1]

- 1- La station d'eau, qui est gérée par un système à commande électrique.
- 2- La chaudière, qui est régulée par un système de contrôle électronique.
- 3- L'alternateur est sous surveillance électrique constante.
- 4- La turbine est régulée par des moyens électrohydrauliques.

I. 4.3- Caractéristiques techniques de la centrale

I. 4.3.1- Le combustible

Les combustibles alimentant le brûleur de la centrale thermique de CAP-DJINET sont :

a. Le gaz naturel :

Pour alimenter la chaudière, le gaz naturel provient du gazoduc HASSI R'MEL, qui délivre un débit de 160 000 N/m³ nécessaire au fonctionnement des quatre groupes de la centrale à capacité maximale. L'alimentation en gaz est constituée de deux lignes de filtration et de trois lignes de régulation qui facilitent la détente du gaz de 6 à 60 bar. [7]

Tableau (I.2): caractéristiques chimiques du gaz combustible [7]

	Constituants	Pourcentage moléculaire		
Hélium	He	0,19	+/-	0,02
Azote	N ₂	5,85	+/-	0,15
Anhydride carbonique	CO ₂	0,21	+/-	0,03
Méthane	CH ₄	83,5	+/-	0,5
Ethane	C ₂ H ₆	6,9	+/-	0,25
Propane	C ₃ H ₈	2,10	+/-	0,15
Isobutane	iC ₄ H ₁₀	0,35	+/-	0,08
Butane	nC ₄ H ₁₀	0,53	+/-	0,08
Iso pentane	iC ₅ H ₁₂	0,11	+/-	0,03
Pentane	nC ₅ H ₁₂	0,12	+/-	0,03
Hexane	C ₆ H ₁₄	0,14	+/-	0,04

b. Le diesel :

En cas de panne d'approvisionnement en gaz, un système d'approvisionnement en carburant composé de deux réservoirs, pouvant contenir une capacité combinée de 20 000 m³, est disponible pour fournir une assistance d'urgence. [3]

Tableau (1.3) : caractéristiques chimiques du combustible de secours [7]

Couleur	Rouge
Point d'inflammation	70 °C
Température de congélation	-18 °C
Pouvoir calorifique supérieur	10900 Kcal/Kg
Pouvoir calorifique inférieur	10250 Kcal/Kg
Cendres	0 %
Asphalte	0 %
Va, Na, Ca, Pb	Insignifiant
Masse volumique à 15°C	0,890 Kg/L

I. 4.3.2- Quantité nominale de combustible consommée par groupe

La consommation de carburant de chaque groupe peut être décrite comme suit:

- L'approvisionnement en gaz consomme environ 40 000 Nm³/h.
- L'approvisionnement en carburant, quant à lui, nécessite environ 42 m³/h.

I. 4.3.3- Capacité de production nominale

La centrale thermique est constituée de 4 unités de production qui se ressemblent toutes, chacune étant une unité thermique-vapeur d'une puissance individuelle de 176 MW grâce à leur alternateur. Il y a une puissance totale de 704MW installée, dont la quantité fournie aux réseaux est de 672 MW au niveau de l'usine. Environ 32 MW sont utilisés pour la consommation totale des auxiliaires des quatre tranches ainsi que des auxiliaires communs. [3]

I. 4.3.4- Type de turbine

a. Turbine à gaz (TG):

«Chaque module de la centrale à cycle combiné (CCPP) est fourni avec une turbine à gaz (Siemens modèle SGT5-4000F) ainsi que tous les accessoires nécessaires.

- Les turbines à gaz à chambre de combustion annulaire Siemens AG sont des turbines à arbre unique. Il s'agit d'une turbine à gaz mono-arbre avec un rotor commun utilisé par le compresseur et la turbine. Le rotor est supporté par deux paliers qui se trouvent à l'extérieur de la zone sous pression.
- La turbine à gaz est conçue pour en double allumage. Le gaz naturel (NG) doit être utilisé comme combustible primaire et le mazout doit être utilisé comme combustible de secours.»⁽¹⁾

Tableau (1.4) : Les caractéristiques du Turbine à gaz [8]

Paramètres pour charge de base	Gaz	Mazout
Sortie nominale aux bornes du générateur	249.2 MW	210.5 MW
Efficacité nominale aux bornes du générateur	38.4%	36.9%
Consommation de combustible	14.3 kg/s	13.2 kg/s

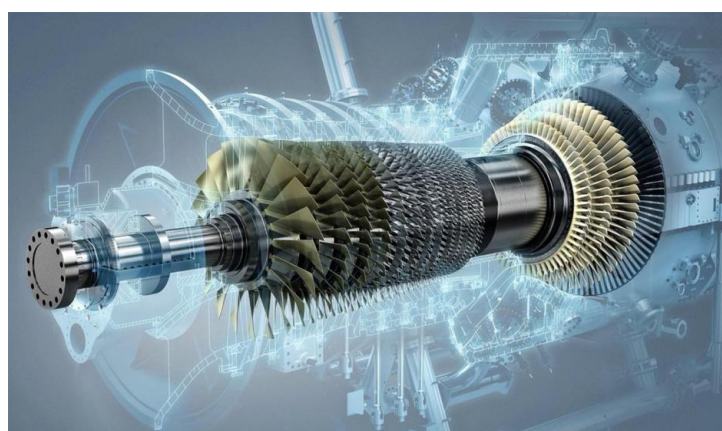


Figure [I.6] : Turbine à gaz à combustion annulaire – SGT5-4000F

b. Turbine à vapeur (ST):

- «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 de type cylindrique 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 à 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-carters sont boulonnés ensemble par des boulons d'assemblage. Les sections d'entrée et d'échappement sont également boulonnées ensemble. » ⁽¹⁾



Figure [I.7] : turbine à vapeur

I. 4.3.5- HRSG

«La principale fonction du générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG) est de générer la quantité et la qualité de vapeur requises en utilisant la chaleur perdue des gaz d'échappement du turbo-générateur à gaz (GTG).

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.

La vapeur générée par le HRSG sera fournie à la turbine à vapeur.

Les principaux composants du générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG) sont:

- Ballon vapeur haute pression (HP)

- Ballon vapeur pression intermédiaire (IP)
- Ballon vapeur basse pression (LP)
- Sections économiseur (pour chaque niveau de pression)
- Sections évaporateur (pour chaque niveau de pression)
- Sections surchauffeur (pour chaque niveau de pression)
- Section réchauffeur (pour la section IP)
- Dégazeur Intégral Ballon LP
- Cheminée HSRG avec Silencieux»⁽¹⁾

I. 4.3.6- Système de surveillance

Il favorise une bonne gestion des paramètres d'exploitation dans un groupe de production. Les différents équipements du groupe sont constamment monitorés en termes de température, pression, niveau d'eau et vibration. Toute anomalie est détectée immédiatement et signalée à la salle de commande si un seuil critique est dépassé. [3]

I. 4.3.7- Evacuation de l'énergie

Le transport de l'énergie fait référence aux systèmes et infrastructures employés pour acheminer l'électricité produite par la centrale vers le réseau électrique, jusqu'aux consommateurs finaux.

L'énergie électrique produite est acheminée vers le poste ALGEREST (BOUDOUAOU) à travers une ligne de 225 KV.

❖ DESCRIPTION DE CE POSTE

- Un transformateur élévateur est utilisé pour évacuer 168 MW.
- Les auxiliaires du groupe sont alimentés par une puissance de 8 MW.

L'alimentation est distribuée via un transformateur de soutirage d'une tension réduite de 15.5/6.3 KV

- La machine de commande à air comprimé nécessite un disjoncteur.
- Ils sont utilisés pour préserver l'alternateur des défaillances électriques.
- Les disjoncteurs hydrauliques ligne 220 KV, fonctionnant à une pression de commande de 315 bar, sont utilisés pour assurer la protection du groupe contre les défauts provenant de l'extérieur. [3]

I. 4.4- Les principaux éléments d'une tranche de production

Le rendement thermique global de la centrale est influencé par plusieurs éléments importants composant chaque monobloc, également appelé tranche.

La figure [I.9] ci-dessous représente les principaux éléments et circuit d'une tranche thermique:

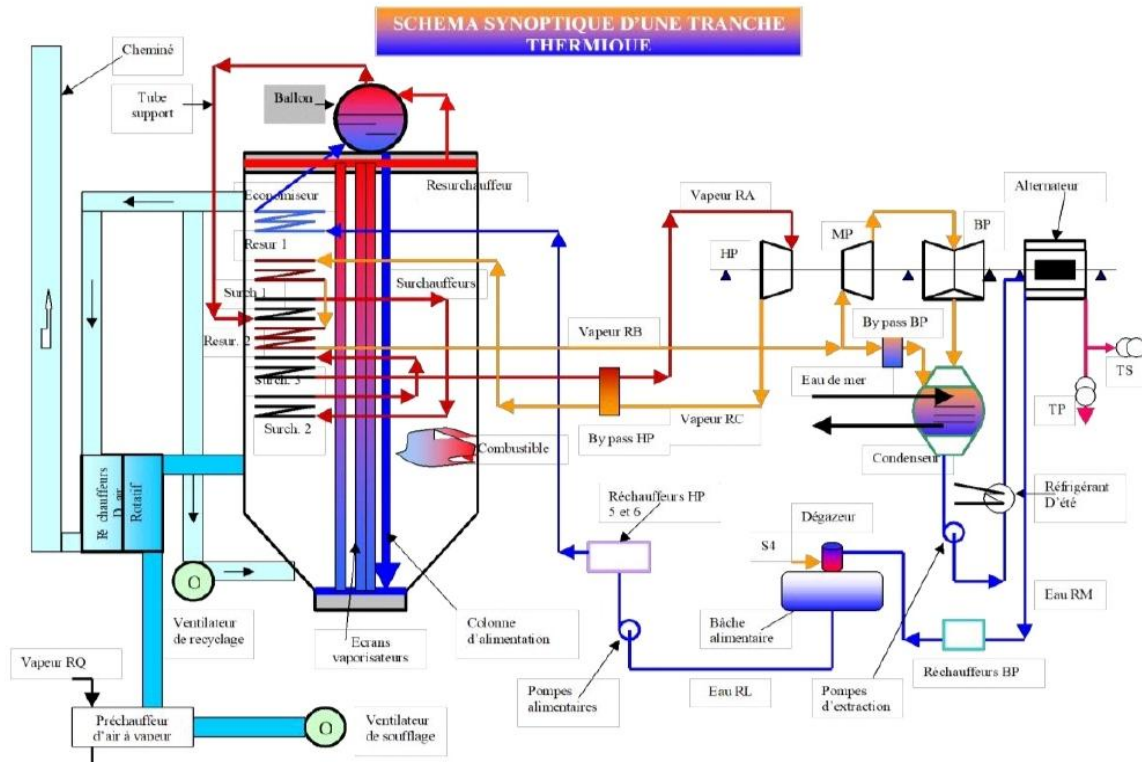


Figure [I.8] : Principaux composants et circuits d'une tranche thermique de la centrale. [4]

La centrale thermique de Cap Djinnet est équipée de plusieurs composants essentiels pour la production d'électricité, qui ont un impact direct sur le rendement global. Ces composants comprennent:

I. 4.4.1- La chaudière «générateur de vapeur»

La fonction de ce composant est de transformer l'eau d'alimentation de l'état liquide en vapeur surchauffée à haute pression et haute température, dans le but de fournir de la vapeur au groupe turbo-alternateur. La chaudière est à circulation naturelle et conçue avec une chambre de combustion. [3]

L'eau est acheminée gravitairement vers les tubes écrans, où elle est vaporisée sous l'effet de la combustion. La vapeur produite est ensuite acheminée vers la partie supérieure de la chaudière grâce à une différence de densité avec l'eau.

❖ LA CHAUDIÈRE EST CARACTÉRISÉE PAR : [3]

Température de la vapeur resurchauffé 535°C Débit vapeur : 523 t/h
Température de sortie de la fumée 118°C Capacité de vaporisation 540 t/h
Une pression de service égale à 160 bar Pression a la sortie des surchauffeurs 147 bar
Une température de vapeur égale 540°C Température de l'eau d'alimentation
246°C Température dans le foyer 900°C Capacité de vaporisation 540 t/h
Capacité de vaporisation 540 t/h

❖ LES DIMENSIONS DE GÉNÉRATEUR DE VAPEUR :

- Hauteur: 17000mm.
- Longueur: 9675mm.
- Largeur: 9375mm.

❖ LA PUISSANCE DE GÉNÉRATEUR DE VAPEUR :

- Débit de vapeur minimale: $Q_{\min}=130\text{t/h} \rightarrow P_t=443\text{Mw}$.
- Débit de vapeur maximale: $Q_{\max}=530\text{t/h} \rightarrow P_t=176\text{Mw}$.
- Débit de vapeur nominale: $Q_{\text{nom}}=523.9\text{t/h} \rightarrow P_t=176\text{Mw}$.



Figure [I.9] : générateur de vapeur

Le générateur de vapeur est constitué principalement des éléments suivants : [3]

- a. L'économiseur :** Il s'agit d'une tuyauterie en serpentin qui permet de réchauffer l'eau d'alimentation afin d'éviter les chocs thermiques qui se produiraient avec l'arrivée d'eau froide dans le réservoir chaud.

- b. Le ballon chaudière :** Le ballon chaudière est utilisé pour recevoir l'eau d'alimentation et la vapeur provenant des tubes écrans. Il est rempli à la fois de vapeur et d'eau moitié par moitié. Tout au long du fonctionnement de la chaudière, le niveau d'eau dans le ballon chaudière reste inchangé. Dans la partie supérieure du ballon, une séparation cyclone permet de séparer la vapeur de l'eau, ce qui lui confère une épaisseur de 87 mm et un volume d'eau de 26,9 m³.
- c. La colonne de descente et les tubes écrans :** Elles sont connectées à la base du ballon et dirigent l'eau vers l'écran vaporisateur. L'écran vaporisateur va chauffer l'eau grâce aux brûlures et au rayonnement, puis se vaporiser en partie. Ce mélange d'eau et de vapeur est plus léger que l'eau des colonnes de descentes et sera propulsé vers le haut du ballon.
- d. Les surchauffeurs et les resurchauffeurs :**
- **Les surchauffeurs :** Trois surchauffeurs sont utilisés pour surchauffer la vapeur provenant du ballon chaudière, afin d'éviter la vapeur humide et d'augmenter sa température avant d'être introduite dans la turbine (corps HP).
 - **Les resurchauffeurs :** Celle-ci détend la vapeur provenant du corps HP de la turbine. Cette vapeur provenant du corps HP de la turbine est surchauffée par deux resurchauffeurs, ce qui permet d'augmenter la température de la vapeur de détente. Le refroidissement de la vapeur se déroule dans la conduite de refroidissement de la vapeur, puis elle est dirigée vers les vannes d'interception du corps MP de la turbine. Les lignes parallèles sont montées, se croisant à la sortie du premier resurchauffeur.
- e. Les soupapes de sûreté :** L'objectif est d'éviter des pressions excessives dans le ballon.
- f. Les purges et la vidange de la chaudière :** Les eaux du circuit eau-vapeur sont collectées, détendues et évacuées par le système de purge, dont la température dépasse 100.
- g. Conservation de la chaudière :** Lorsqu'elle est arrêtée pendant une période prolongée, la chaudière est maintenue en humidité pour empêcher l'entrée d'air, les parties supérieures placées sous azote.
- h. Réchauffeur d'air rotatif :** Il a pour fonction de réchauffer l'air de combustion en récupérant la chaleur des fumées (échangeur air-fumée).
- i. Ventilateur de soufflage :** Les deux ventilateurs de soufflage servent à acheminer l'air de combustion au générateur de vapeur via les préchauffeurs d'air à vapeur.

- j. **Préchauffeurs d'air à vapeur** : Ils sont employés pour préchauffer l'air de combustion avant son passage dans le réchauffeur d'air rotatif, permettant ainsi d'ajuster la température de l'air et d'éviter la condensation sur les plaques de chauffe du réchauffeur rotatif.
- k. **Ventilateurs de recyclage** : Ils servent à recycler une partie des fumées de combustion, les dirigeant vers la partie inférieure de la chaudière afin de réguler la température à la sortie des surchauffeurs.
- l. **La chambre de combustion (foyer)** : C'est la section essentielle du générateur de vapeur où le mélange air-combustible est brûlé. C'est là que se déroulent les échanges de chaleur les plus importants.



Figure [I.10] : vue interne d'une chambre de combustion.

- m. **Les brûleurs** : Le générateur de vapeur est doté de huit brûleurs pouvant fonctionner au gaz naturel ou au fuel léger. Ces brûleurs sont répartis sur quatre niveaux de la face avant de la chaudière.
- **Brûleurs au gaz** : Ils sont configurés comme des brûleurs à plusieurs lamelles, équipés d'une moufle et d'un système d'alimentation de gaz annulaire.
 - **Brûleurs au fuel** : Étant adapté à une utilisation polyvalente, le lanceur de fuel est installé au centre du brûleur.
 - **Brûleur d'allumage** : Il est destiné à l'allumage du principal dispositif de combustion (brûleur). Le carburant utilisé est soit le gaz naturel, soit le propane.
- n. **La cheminée** : La chaudière est pourvue d'une cheminée métallique érigée à une altitude de 60 mètres par rapport au sol.

I. 4.4.2- La turbine a vapeur

Au cœur de la centrale, se trouve un élément crucial qui convertit l'énergie thermique de la vapeur issue de la chaudière en un mouvement rotatif de l'arbre, atteignant une vitesse de 3000 tours par minute. Ce travail mécanique est ensuite utilisé pour entraîner l'alternateur.

La turbine, constituée d'une seule ligne d'arbre, est divisée en trois sections : haute pression HP, moyenne pression MP et basse pression BP. Elle est équipée de six prélèvements qui alimentent trois réchauffeurs BP, deux réchauffeurs HP et la bêche d'alimentation. Les rotors de la turbine et de l'alternateur sont solidement couplés. [3]

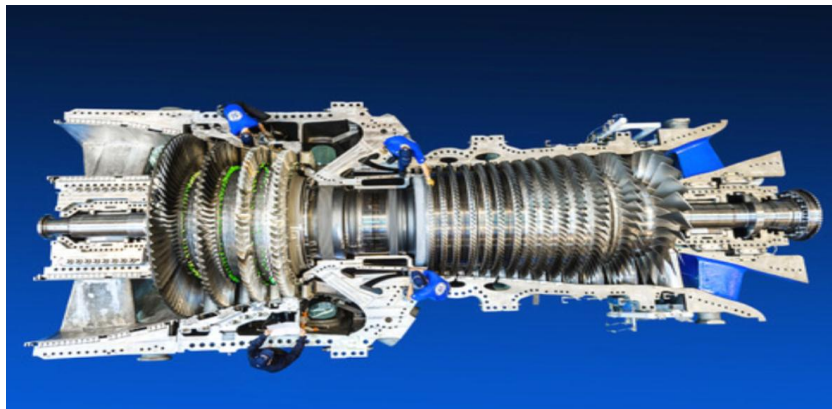


Figure [I.11] : Turbine.

Ces caractéristiques sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau (I.5) : Caractéristiques de la turbine à vapeur. [9]

Longueur	16.128 m
Largeur	13 m
Poids	499,910 T
Puissance	176 MW (pleine charge)
Pression	138,2 bars
Température vapeur	535°C
Vitesse	3000 tr/min

a. Corps HP (Haute pression) :

La corps haute pression (HP) de la turbine présente une structure en forme de tonneau et est équipée d'un système d'ajustement à un étage pour la régulation par groupe de buses. Quatre ensembles combinés de vannes d'arrêt et de soupapes régulatrices sont associés à autant de groupes de buses, et sont disposés de part et d'autre de la section.



Figure [I.12]: corps HP

b. Corps MP (Moyenne pression)

Le corps de moyenne pression MP est pourvu de deux vannes d'arrêt et de deux soupapes de modulation disposées de manière symétrique de chaque côté de la structure. La vapeur resurchauffée, transportée par les conduites, atteint les soupapes de modulation après avoir franchi les vannes d'arrêt.



Figure [I.13]: corps MP

c. Corps BP (basse pression)

La corps basse pression BP est configuré selon un modèle à double flux, constitué d'une structure soudée mécaniquement comprenant une armature et une enveloppe double. La vapeur issue du corps de moyenne pression entre dans l'enveloppe interne double en amont des pales BP via les conduites d'admission positionnées de chaque côté de la section BP.



Figure [I.14] : corps BP

I. 4.4.3- Les soutirages

Les dérivations de vapeur impliquent l'extraction de vapeur à un niveau intermédiaire de la turbine, cette vapeur ayant déjà été employée dans la conversion de son travail en énergie. Cette vapeur extraite est dirigée vers un réchauffeur d'eau condensée pour exploiter sa chaleur latente au lieu de la gaspiller.

Les dérivations contribuent à améliorer l'efficacité du cycle et à réduire la quantité de vapeur vers le condenseur. [3]

I. 4.4.4- Poste d'eau

Il s'agit de tous les appareils qui préchauffent l'eau et la déplacent du condenseur à la chaudière via la bêche alimentaire (dégazeur).

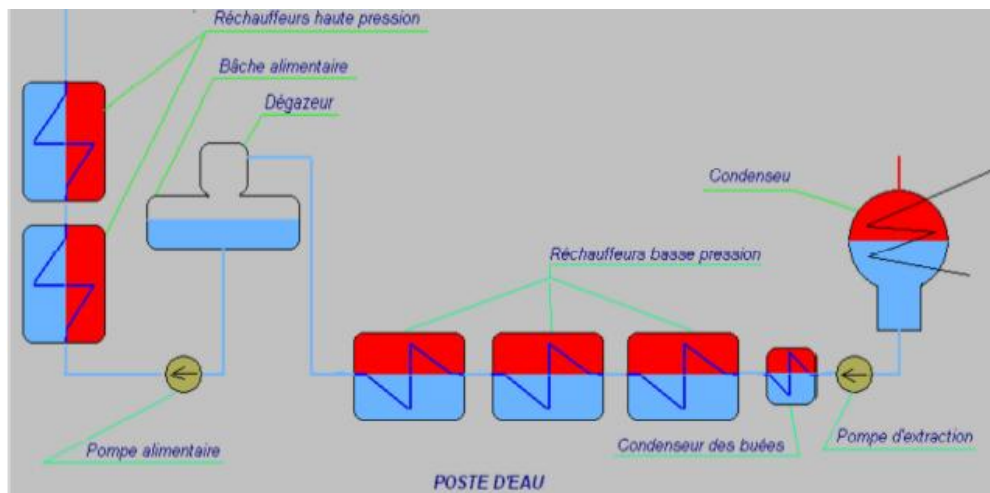


Figure [I.15] : poste d'eau. [10]

Le poste d'eau comprend principalement les composants suivants:

- a. Le condenseur :** Le condenseur utilisé dans la centrale de Cap-Djinet est un condenseur à surface d'échange, où l'eau de circulation (eau de mer) et la vapeur sont séparées par les parois des tubes. Situé sous la section « BP » de la turbine, son rôle principal est de condenser la vapeur évacuée de la section basse pression de la turbine et de réintroduire le condensat dans le circuit eau-vapeur. [1]



Figure [I.16]: Le Condenseur.

b. Les pompes : on trouve deux pompes pour extraire et trois pompes pour alimenter :

- ***Pompe d'extraction*** : Elle transfère l'eau condensée du condenseur à la bache alimentaire, en passant par les trois réchauffeurs basse pression, les réfrigérants d'été, les réfrigérants d'hydrogène, le condenseur des buées, et les éjecteurs de service.



Figure [I.17] : pompe extraction

- ***Pompe d'alimentation*** : Essentielle dans le circuit eau-vapeur. La centrale utilise deux pompes centrifuges en action et une troisième en réserve. Leur mission est d'aspirer l'eau depuis la bache alimentaire et de la refouler dans le réservoir de la chaudière en passant par les réchauffeurs haute pression et l'économiseur du générateur de vapeur.



Figure [I.18]: pompe alimentaire

- c. Les réchauffeurs:** Ce sont des échangeurs de chaleur conçus pour réchauffer l'eau d'alimentation de la chaudière. Cette tâche est accomplie par plusieurs soutirages, chacun ayant pour fonction de réchauffer l'eau.
- **Les réchauffeurs à basse pression «BP» :** sont alimentés par des soutirages A1, A2, et A3 du corps «BP» de la turbine. Ces soutirages réchauffent l'eau condensée provenant de la pompe d'extraction jusqu'à la bêche alimentaire en utilisant la chaleur latente de la vapeur saturée.
 - **Les réchauffeurs à haute pression «HP» :** les pompes d'alimentation aspirent l'eau de la bêche alimentaire et augmentent sa pression. Ces pompes déchargent cette eau sous pression dans les réchauffeurs haute pression «HP» qui augmentent sa température. Les réchauffeurs employés sont des dispositifs d'échange de chaleur à travers une surface, Ils sont installés verticalement et équipés de tubes courbés en forme de serpent, La vapeur circule dans la partie enveloppe, tandis que l'eau d'alimentation (condensat) circule dans la partie tube, à une pression de 160 bars et une température de 145 °C. Il est à noter que le fonctionnement et la construction des réchauffeurs « HP » sont similaires à ceux des réchauffeurs « BP ».
- d. Les Désurchauffeurs:** Leur objectif est de maintenir la température constante de la vapeur surchauffée émise par la chaudière en injectant des gouttelettes d'eau par pulvérisation. Ces dispositifs sont placés entre les surchauffeurs et parfois même entre les resurchauffeurs.
- e. La bêche alimentaire:** Un conteneur typiquement cylindrique, peut être disposé verticalement ou horizontalement et est équipée d'un dégazeur. Elle reçoit de l'eau provenant de la pompe d'extraction et agit simultanément comme un dispositif de réchauffement tout en régulant la pression à l'entrée de la pompe d'alimentation.



Figure [I.19]: bêche alimentaire

f. Le dégazeur: Il constitue le point culminant du dispositif, étant approvisionné par le soutirage A4 du corps « MP ». Il apporte de la chaleur et élimine les gaz non condensables de l'eau d'alimentation. Par la suite, cette eau est acheminée vers le dégazeur, qui se trouve à proximité de la partie supérieure, afin d'être ensuite dispersée sous forme de fines gouttelettes sur les plateaux de ruissellement.

I. 4.4.5- L'alternateur

Il s'agit d'une génératrice électrique alimentée en courant alternatif qui convertit l'énergie mécanique provenant de l'arbre de la turbine (haute pression, moyenne pression, basse pression) en énergie électrique.

La centrale triphasée produit un courant électrique à une tension de 15500V, avec une intensité de 8195A et une fréquence de 50Hz. La vitesse de rotation est quant à elle de 3000 tr/min. La station de production d'hydrogène produit suffisamment d'hydrogène pour refroidir l'alternateur par circulation et convection, ce qui entraîne une puissance de 176MW aux bornes de celui-ci. [11]

L'alternateur comprend les éléments suivants:

- Enroulements stationnaires du stator.
- Rotor.
- Enroulements de champ du rotor.

❖ LE REFROIDISSEMENT À L'HYDROGÈNE :

L'alternateur est le dispositif électromécanique responsable de la génération de l'énergie électrique. Bien que son rendement soit excellent, avec un taux proche de 99%, les pertes d'énergie sous forme de chaleur qui se dissipent sont considérables malgré l'espace limité disponible. Il est donc indispensable de créer des dispositifs d'évacuation de chaleur qui utilisent des fluides caloporteurs circulant à la fois dans le stator, le rotor et les conducteurs statoriques.

L'installation a pour fonction d'assurer le refroidissement du rotor, du circuit magnétique du stator ainsi que des organes de fixation avant de l'alternateur.

❖ BUT D'UTILISER L'HYDROGÈNE:

L'hydrogène a été choisi pour ses propriétés physiques supérieures à l'air: L'hydrogène a été choisi pour ses propriétés physiques supérieures à l'air:

- Sa densité est 14 fois plus faible.
- Elle est sept fois plus conductrice thermiquement
- En empêchant la formation d’ozone, l’hydrogène joue un rôle dans la prévention du vieillissement des isolants.

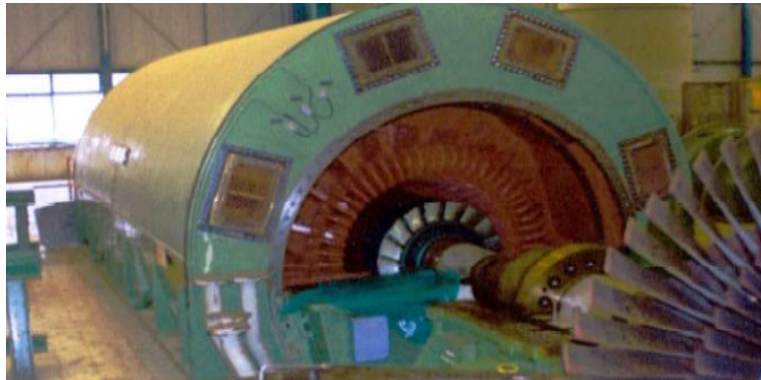


Figure [I.20] : un Alternateur.

I. 4.4.6- LE TRANSFORMATEUR

Un transformateur électrique est un dispositif qui permet de changer les valeurs de tension et d’intensité du courant fourni par une source d’énergie électrique alternative, afin d’obtenir un système avec des valeurs différentes pour la tension et le courant, mais ayant la même fréquence et la même forme.

Étant donné que la tension du courant électrique fourni par l’alternateur est insuffisante pour être transportée via des lignes aériennes à haute tension, il est nécessaire de connecter celui-ci à un transformateur élévateur d’une capacité de 15, 5 kV à 220 kV. De plus, une puissance de Le transformateur est refroidie grâce à la circulation d’huile forcée en circuit fermé, qui est ensuite refroidie par l’air.



Figure [I.21] : Transformateur principale

I. 5- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE TRANCHE DE PRODUCTION

La bache alimentaire est approvisionnée en eau froide qui provient du condenseur, ainsi que de l'eau d'appoint ajoutée après distillation. Elle subit une compression successive par les pompes basse pression et haute pression, avant d'être réchauffée par les réchauffeurs HP et BP.

En utilisant la vapeur des soutirages, l'eau d'alimentation sortira des réchauffeurs HP pour être évacuée dans la chaudière, en particulier dans l'économiseur où elle sera chauffée par convection.

Après avoir été produite dans la chambre de combustion, elle est ensuite dirigée vers le Ballon à travers les fameuses canalisations.

Une fois sortie de l'économiseur, l'eau est toujours sous forme liquide. Pour obtenir de la vapeur, il faut encore la chauffer avant qu'elle ne descende vers les écrans vaporisateurs à partir du ballon.

Lorsque la flamme des brûleurs entre en contact avec l'eau, cette dernière se transforme naturellement en vapeur et s'élève jusqu'au ballon grâce à la différence de densité entre l'eau et la vapeur.

Une séparation de l'eau et de la vapeur se produit à l'intérieur du ballon, puis celle-ci est ensuite transférée à la surchauffeur via les tubes supports.

Une fois qu'elle a quitté la surchauffeur finale, la vapeur est dirigée vers la turbine pour être détendue. Une partie de cette vapeur déjà détendue est ensuite refroidie dans la section HP de la turbine avant d'être renvoyée à la chaudière pour une nouvelle resurchauffe.

Après avoir traversé les resurchauffeurs, la vapeur se détend encore davantage dans le corps MP puis dans le corps BP avant d'être acheminée vers le condenseur. La vapeur se transforme en liquide lorsqu'elle est soumise à une dépression de 33°C et à une pression de 0,05 bar

Les pompes d'extraction prélèvent l'eau du puits de condenseur et la propulsent à travers le réfrigérant de l'alternateur, ainsi que les trois réchauffeurs basse pression, jusqu'à la bache alimentaire.

Dans cette b che, l'eau d'alimentation subit un dégazage physique, permettant ainsi de recommencer un nouveau cycle.

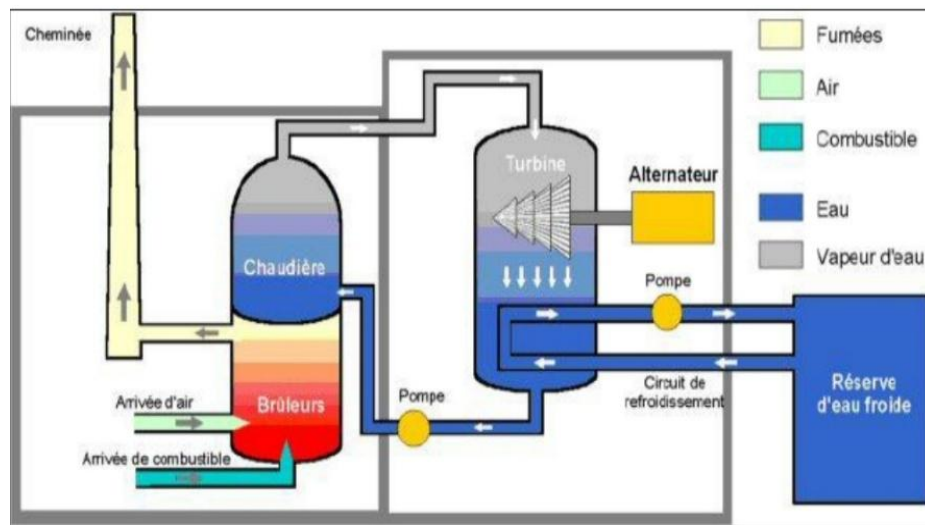


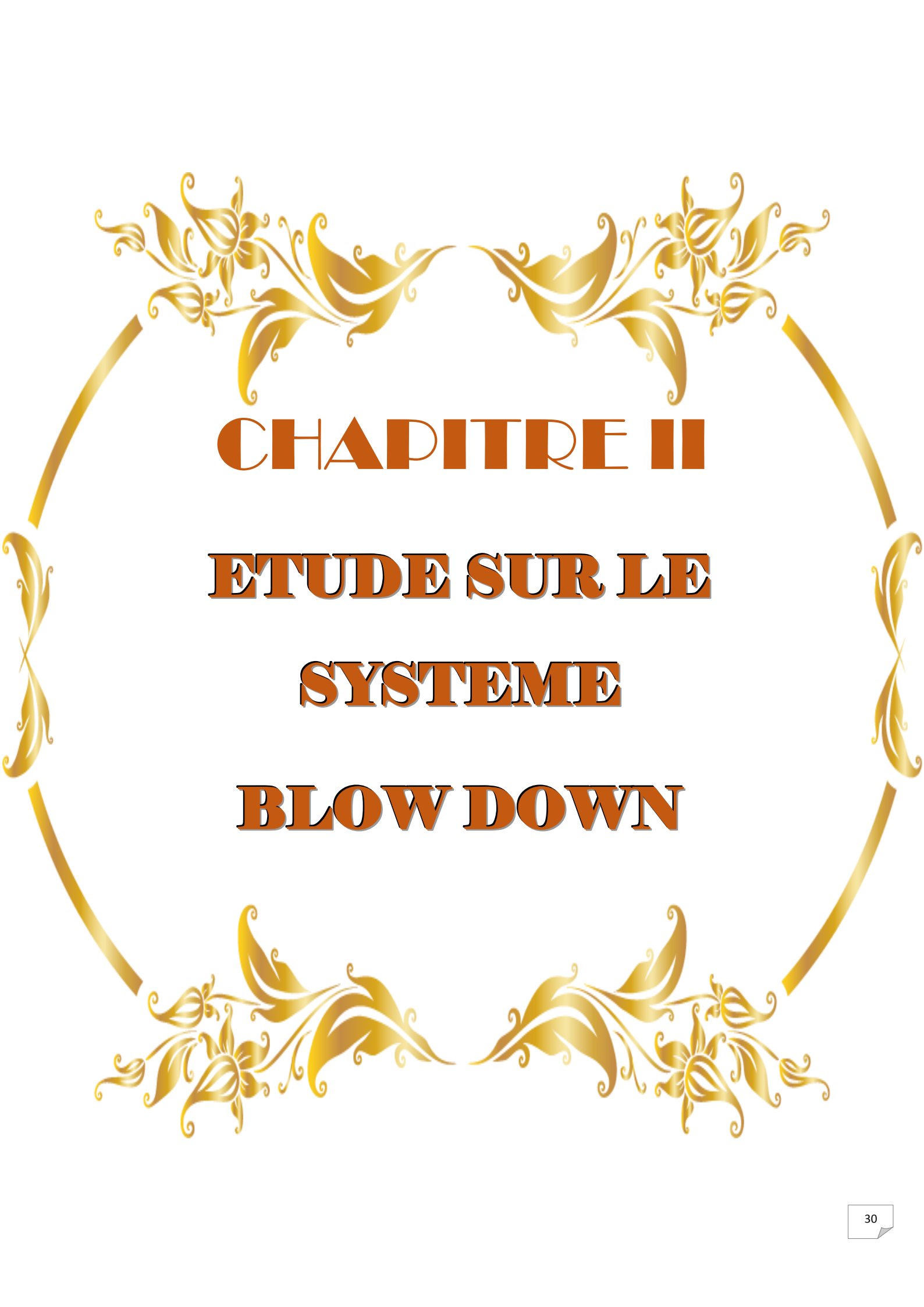
Figure [I.22] : schéma du principe de fonctionnement d'une centrale thermique. [12]

I. 6- CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons donné une vue d'ensemble des équipements de la centrale thermique de CAP-DJINET et décrit les différentes étapes de la production d'énergie électrique ainsi que son principe de fonctionnement.

La complexité de l'installation et des phénomènes physiques rend la gestion par un opérateur humain difficile. Par conséquent, l'utilisation de techniques de régulation automatique est essentielle pour une gestion efficace de la production, ainsi que pour garantir la sécurité des personnes et des installations.

Le prochain chapitre se concentrera sur l'étude du fonctionnement du système de drainage des ballons de chaudière.



CHAPITRE II

ETUDE SUR LE

SYSTEME

BLOW DOWN

II. 1- INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons voir le système BLOW DOWN qui a pour rôles principaux de :

- Drainer l'eau des systèmes de la chaudière
- Réfrigérer l'eau de vidange
- Prévoir un point de drainage unique pour tous les drains de la chaudière.
- Effectuer le rejet soit à partir de la station d'épuration d'Ussé, soit directement vers la mer depuis le bassin de collecte.

II. 2- DESCRIPTION DU SYSTEME BLOW DOWN

La chaudière de récupération est équipée d'un système de purge situé au niveau du sol, qui permet la récupération des évacuations.

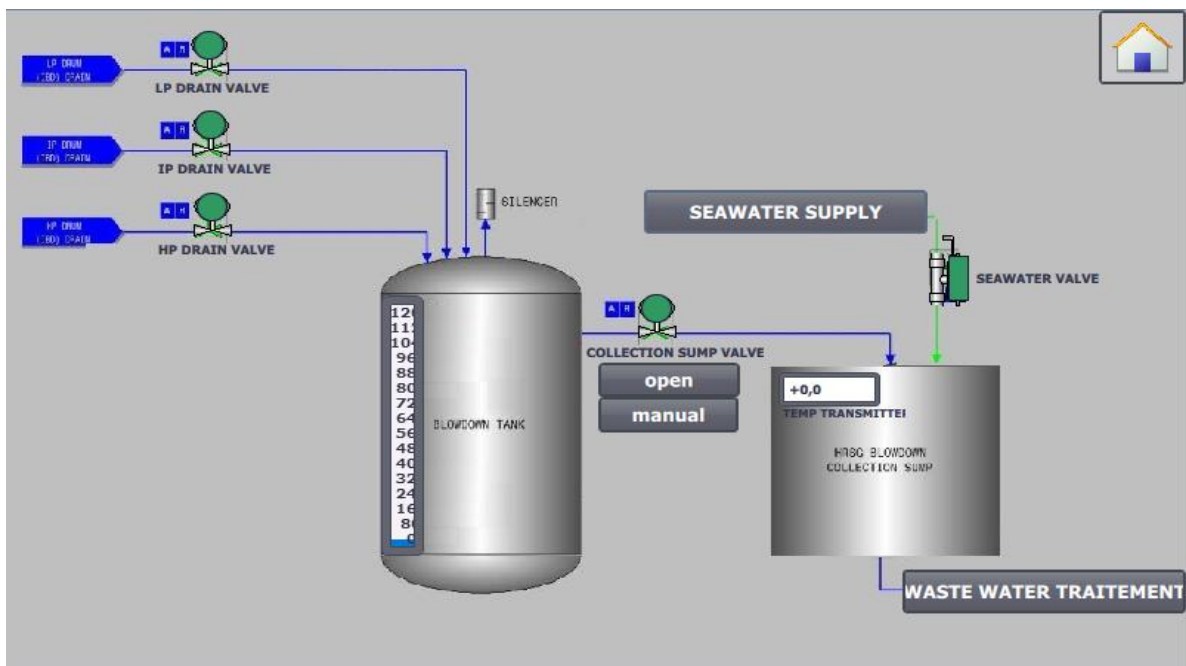


Figure [II.1] : Système BLOW DOWN

On peut observer ce système dans la figure [II. 1] comprend :

- Réservoirs de rinçage pour les purges effectuées de manière intermittente.
- Il y a 3 vannes motorisées, intermittentes et continues pour intercepter les purges.
- Soupape ou valve de contrôle pour purger intermittemment l'eau de refroidissement
- Réservoir avec des drains pour évacuer l'eau accumulée
- On utilise deux vannes motorisées pour acheminer l'eau vers la mer ou vers la station de traitement.

- Une valve permet de transférer le contenu du réservoir de purge vers le bassin du collecteur
- Une armoire électrique qui présente un système de contrôle.

II. 3- COMPOSANT DU SYSTEME BLOW DOWN

Dans les paragraphes suivants, nous allons examiner de manière détaillée les différentes composantes qui constituent le système BLOW DOWN. [2]

II. 3.1- Réservoir des purges intermittentes

Toutes les émissions de la chaudière ainsi que les vapeurs produites par le CDB lors de la détente sont rejetées à l'atmosphère par le réservoir de purge. De plus, il collecte également les filtrations de la chaudière pour récupérer l'eau condensée du bassin. Son volume maximal est de 600 litres [II.2].



Figure [II.2] : Réservoir des purges

II. 3.1.1- Élément collecte par le réservoir des purges

Le réservoir de purge est un réservoir atmosphérique qui recueille les fluides. Il remplit les fonctions suivantes :

- ✓ La purge continue à partir de la valve haute pression (HP) aussi bien en conditions normales qu'en situations d'urgence.
- ✓ La balle IP permet une purge continue, que ce soit dans des conditions normales ou urgentes.
- ✓ purge intermittente avec le ballon BP.
- ✓ purge intermittente avec le ballon IP.
- ✓ purge intermittente avec le ballon HP.

- ✓ Effectuez le drainage des outils BP IP et HP du système après avoir effectué des collectes contaminées.
- ✓ Drainage des soupapes du tuyau d'évacuation de sécurité.

II. 3.1.2- Composants du réservoir des purges

Le réservoir de purge comprend les éléments suivants :

- Le réservoir est équipé d'une plaque interne d'usure dans sa partie supérieure, ainsi que de raccords pour faciliter la purge.
- La vapeur est conduite de manière silencieuse depuis le sommet du réservoir.
- Il est nécessaire de faire passer le tuyau d'évacuation jusqu'à ce qu'il atteigne la portion supérieure de la chaudière de récupération située sur le toit, et il doit être installé à un endroit où la sortie se situe à une hauteur de 3 mètres au-dessus du niveau du sol.
- purge l'eau accumulée au fond du réservoir.
- Une valve motorisée régule le débit d'évacuation des eaux vers le puisard.
- Pour la prévention d'inondations, il est recommandé de mettre en place une conduite d'évacuation équipée d'un siphon adéquatement dimensionné afin de pouvoir évacuer rapidement toute surabondance d'eau en cas de situation urgente.
- la commande des drains de la chaudière de récupération par des soupapes motorisées.



Figure [II.3] : Siphon de décharge d'excès d'eau en urgence



Figure [II.4] : Vannes motorisées de commande des purges

II. 3.1.3- Instrumentation du réservoir des purges

Les particules installées dans les réservoirs des purges incluent :

- DEUX DÉTECTEURS DE NIVEAU :



Figure [II.5] : Détecteurs de niveau

- UN INDICATEUR DE TEMPÉRATURE LOCAL :



Figure [II.6] : Indicateur de température

- UN COMPTEUR LOCAL DE PRESSION :



Figure [II.7] : Compteur de pression locale

- *UN DISPOSITIF D'ESSAI DE TEMPÉRATURE.*

II. 3.2- Bassin collecteur

Une vanne motorisée est utilisée pour contrôler la conduite d'évacuation des eaux vers le puisard. Cette vanne est équipée d'un siphon de taille appropriée qui permettra l'évacuation rapide de l'excès d'eau en cas de nécessité et de situation urgente voir figure [II.8]

Il assure le bon fonctionnement du réservoir de purge. Une vanne motorisée contrôle la ligne d'évacuation d'eau pour maintenir le niveau dans le réservoir de purge à des niveaux acceptables, les liant ainsi entre eux. Il a pour fonction de stabiliser la température de l'eau grâce à un système de refroidissement par mer.



Figure [II.8] : Bassin collecteur

II. 3.2.1- Fonction du bassin collecteur

Le bassin collecteur dans le système de drainage (blow down) est indispensable pour le fonctionnement optimal et la longévité des chaudières dans les centrales thermiques. Il permet non seulement de gérer les contaminants mais aussi de protéger les infrastructures et l'environnement, rendant ainsi le processus de production d'énergie plus fiable et durable.

Donc le bassin collecteur est conçu pour recevoir les effluents de purge de la chaudière. Ces effluents sont riches en impuretés, sels dissous et particules qui doivent être éliminés pour prévenir la corrosion et l'entartrage au sein de la chaudière. La purge régulière permet de maintenir la concentration des contaminants en dessous des niveaux critiques.

L'eau de purge est acheminée vers le bassin collecteur, où elle subit une série de traitements :

- **Réception et Température** : L'eau chaude de purge entre dans le bassin et commence à se refroidir, un processus essentiel pour éviter les chocs thermiques aux équipements en aval.
- **Décantation** : Les particules solides se déposent au fond du bassin, facilitant leur collecte et élimination.

- **Neutralisation** : Dans certains systèmes, des agents chimiques peuvent être ajoutés pour neutraliser les pH ou précipiter les contaminants.
- **Évacuation** : L'eau traitée est ensuite pompée vers un système de traitement des eaux usées pour un traitement final avant rejet.

La figure ci-dessous illustre la pompe de rejet Figure [II.10] :



Figure [II.10] : Pompes de rejet

b. Capteur de niveau :

L'instrument de mesure de niveau a pour fonction de contrôler le niveau dans le bassin collecteur en actionnant la pompe de décharge qui utilise un capteur transmetteur analogique haut niveau.

Les spécifications techniques sont : [15]

- ✓ Type : niveau élevé de l'analogique
- ✓ Capacité : 250 volts courant alternatifs. 3A/AC125V. 5A
- ✓ Quantité : 1
- ✓ Le fabricant est KEUMDUK



Figure [II.11] : Capteur de niveau

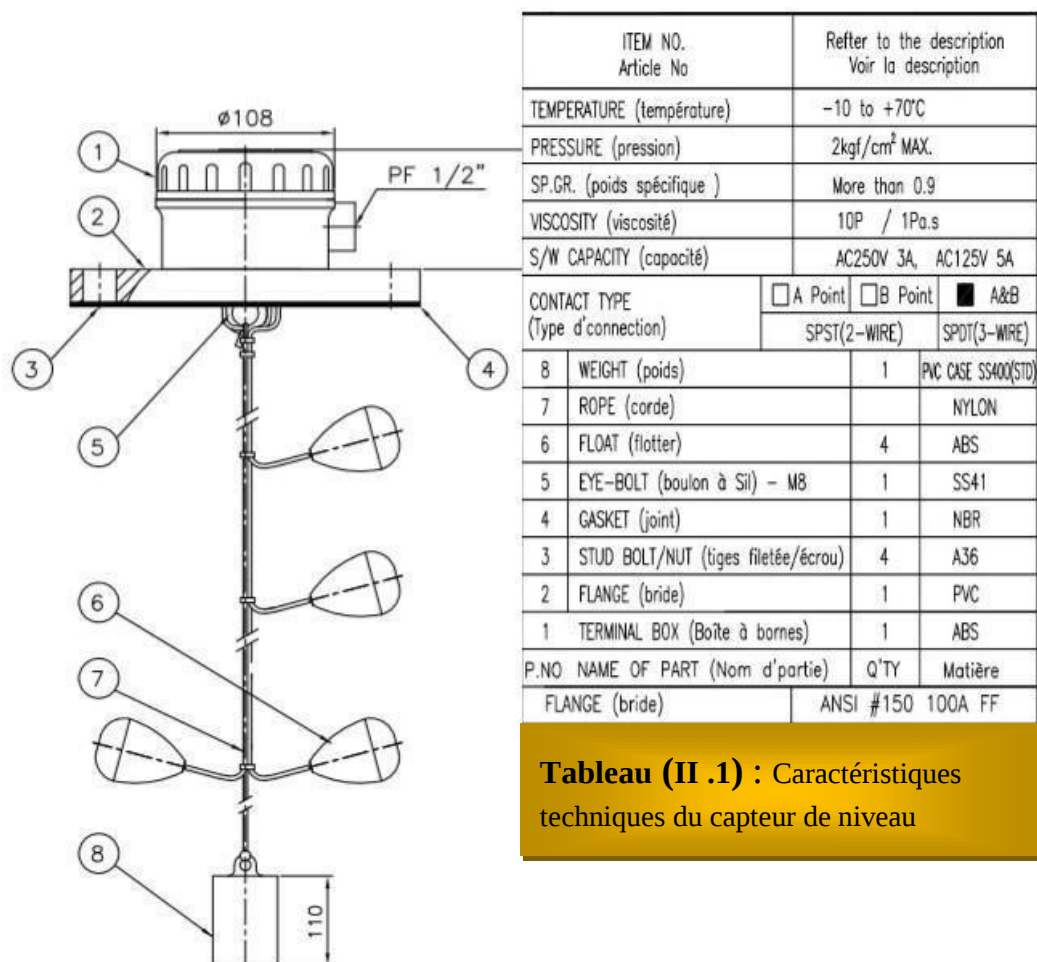


Tableau (II .1) : Caractéristiques techniques du capteur de niveau

Figure [II.12] : Schéma du capteur de niveau. [16]

c. Capteur de température :

Le collecteur du bassin est équipé d'un capteur de température permettant de surveiller la température de l'eau jusqu'à +80°C, tout en activant automatiquement la vanne de surchauffe. La figure ci-dessous Figure [II.13] montre le capteur de température :



Figure [II.13] : Capteur de température

d. Vanne de surchauffe :

Elle est représentée sur l'illustration suivante Figure [II.14] :



Figure [II.14] : Vanne de surchauffe

e. Propriété de la vanne régulatrice PARKOL [3]

La vanne régulatrice PARKOL est spécialement conçue pour contrôler une grande variété de fluides liquides ou gazeux, tels que la vapeur d'eau, l'huile thermique, l'azote du gaz naturel.

Ses caractéristiques incluent :

- ✓ Pression: 0.6 BAR
- ✓ P max: 4,1 BAR
- ✓ Action: revers
- ✓ T max: Over 60 degrés Celsius+60°C, with a Tmin of 30 degrés Celsius = 30°C
- ✓ Fluide: Air
- ✓ Type: 1x292



Figure [II.15] : Schéma d'une vanne régulatrice. [3]

f. Vanne de rejet :

La vanne de rejet, motorisée, a pour fonction d'assurer efficacement l'opération de décharge, qu'il s'agisse vers la mer ou vers le centre de traitement.



Figure [II.16] : Vanne de rejet

g. Vanne de Transfer vers le bassin collecteur :

La figure [II.17] dans montre une vanne motorisée. Lorsque le niveau du réservoir de purge atteint la valeur « haut » ou « haut haut », l'opérateur doit utiliser cette vanne motorisée pour contrôler le niveau et drainer l'eau dans le bassin collecteur. Cependant, il est également possible d'utiliser une vanne de régulation comme alternative



Figure [II.17] : Vanne de transfert vers le bassin collecteur

La figure [II.18] présente les différents composants de la vanne motorisée.

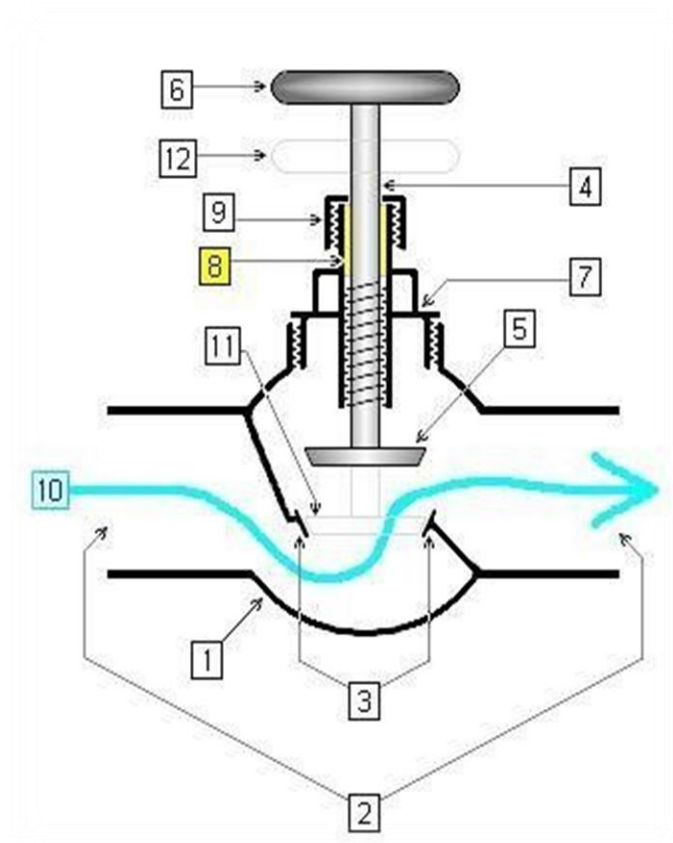


Figure [II.18] : Composants d'une vanne motorisée. [1]

Les éléments constitutifs d'une vanne motorisée sont :

1. Corps.
2. Voie de passage.
3. Portée au siège.
4. Axe ou tige.
5. Opercule ou rotor.
6. Volant ou actionneur.
7. Chapeau.
8. Garniture de presse étoupe.
9. Écrou de presse étoupe.
10. Sens d'écoulement du fluide.
11. Position de l'opercule lorsque la vanne est fermée.
12. Position du volant lorsque la vanne est fermée.

II. 3.3 - Système de commande (armoire électrique)

L'armoire électrique opère selon une logique câblée pour exécuter les commandes des deux pompes de décharge Figure [II.19]

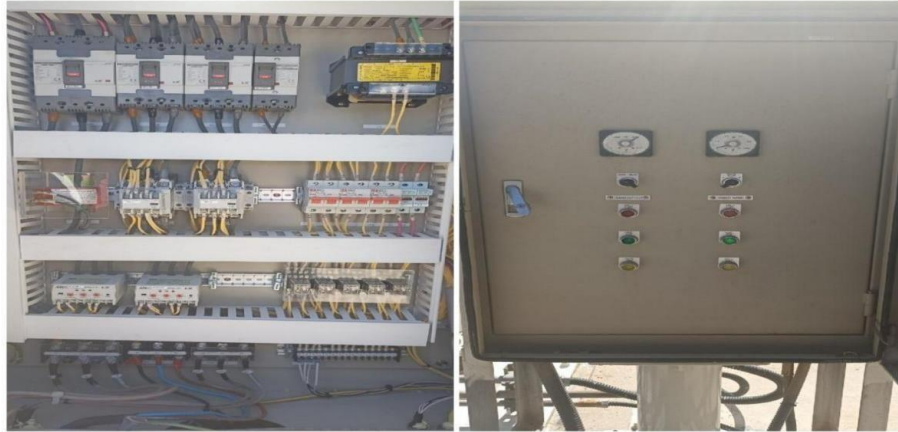


Figure [II.19] : Armoire électrique

II. 3.3.1- Composants de l'armoire électrique

II. 3.3.1.1- Circuit de puissance

Il inclut les dispositifs requis pour le fonctionnement des récepteurs de puissance selon une logique automatisée spécifique, comprenant :

- Une sonde de puissance (triphasee).
- Des dispositifs d'isolation (interrupteur-sectionneur)
- Des dispositifs de protection (fusible avec thermistance).
- Un dispositif de commande (contacteur à puissance).

II. 3.3.1.2- Circuit de commande

Ce système englobe les dispositifs essentiels pour superviser les appareils de puissance, comprenant :

- Une alimentation électrique.
- Un dispositif d'isolation (interrupteur-sectionneur).
- Les dispositifs de commande (bouton vert MAR/AUTO, bouton de sélection pompe A ou B, bouton Marcher)
- Bouton rouge STOP, bouton jaune FAUT
- L'élément de commande principale (contacteur).

II. 3.3.2- FONCTIONNEMENT

A) DANS LE CAS MANUEL :

Dans le scénario manuel «MAN», l'opérateur doit surveiller le niveau du bassin dans le collecteur. En cas de niveau élevé «H», il met en démarche les pompes en appuyant sur le bouton de MARCHE. Si le niveau diminue, l'opérateur arrête les pompes en actionnant le bouton STOP.

B) DANS LE CAS AUTO :

- Quand l'eau atteint la limite supérieure «H», la pompe A s'enclenche.
- Quand l'eau atteint la limite supérieure supérieure (HH), la pompe B entre en fonction et le processus est reflété. En cas de dysfonctionnement (indiqué par le voyant jaune), l'opérateur doit résoudre le problème en appuyant sur le bouton "FAUT", ce qui arrête les pompes.

II. 4. CONCLUSION

Dans cette section, nous avons Analysé en détail le système BLOW DOWN, y compris ses composants et son instrumentation. Nous avons également passé en revue les diverses fonctions du système dans le cycle global, ce qui contribuera à la réussite de notre projet.

A decorative gold border with intricate floral and scrollwork patterns frames the central text. The border is composed of four main floral motifs at the corners, connected by elegant, flowing lines that form a circular shape around the text.

CHAPITRE III

MODELISATION ET AUTOMATISATION DE SYSTEME DE DRAINAGE (BLOW DOWN)

III. 1- INTRODUCTION

Pour un automaticien, une étape clé dans la conception des automatismes industriels est de modéliser le système à commander. En effet, pour automatiser un système, il est nécessaire de satisfaire aux exigences spécifiées dans le cahier des charges. Cela se fait en établissant une connexion entre la partie de commande et la partie opérative du système tout en permettant une communication efficace avec l'opérateur.

Afin de concevoir, étudier et mettre en œuvre un système automatisé, il est indispensable d'utiliser des outils de description pour les systèmes séquentiels automatisés tels que le GRAFCET. Ce dernier permet de décrire dans l'ordre chronologique les différentes étapes du processus.

Pour concevoir, étudier et réaliser un système automatisé dans l'industrie, il est essentiel d'utiliser des outils tels que le GRAFCET et les automates programmables industriels.

Les automates programmables industriels (API) sont des éléments cruciaux au sein de ces systèmes de commande industriels, car ils jouent un rôle central dans la télégestion en tant qu'objets communicants.

Afin de mettre en place un programme d'automatisation, il est essentiel d'équiper la station avec le matériel requis. Pour notre situation, nous avons opté pour l'utilisation de l'automate SIEMENS S7-300 en association avec le TIA Portal afin d'assurer une configuration et une programmation optimales.

En résumé, il est essentiel d'utiliser la modélisation et l'automatisation dans l'industrie. L'utilisation de technologies telles que le GRAFCET et les automates programmables industriels, ainsi que des logiciels tels que TIA Portal pour la configuration et la programmation, permet de concevoir et gérer avec succès des systèmes de commande industriels performances et productifs.

Au cours de ce chapitre, nous expliquerons les concepts du GRAFCET ainsi que du logiciel TIA PORTALE. Ensuite, nous détaillerons le GRAFCET utilisé pour le système de drainage des ballons de chaudière (BLOW DOWN) et présenterons une simulation partielle de son programme.

III. 2- MODELISATION AVEC L'UTILE GRAFCET

Il existe deux types de représentations :

La pour un problème donné, en détaillant la coordination des tâches opérationnelles. Elle permet une compréhension représentation fonctionnelle (ou de niveau 1) offre une interprétation de la solution choisie globale du système.

La représentation technologique (ou de niveau 2) fournit une interprétation en prenant en compte les choix technologiques liés à la partie commande de l'automatisme ; cela inclut le type et la désignation des équipements (par exemple : S1, KM, Ka, etc.). [17]

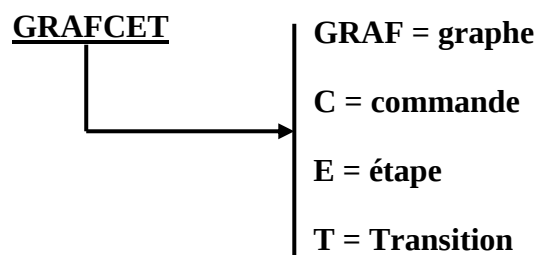
III. 2.1- Définition du grafcet

Le GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande par Étapes et Transitions) ou SFC (Séquentiel Function Chart) est un outil graphique qui décrit les divers comportements évolutifs d'un automatisme, en établissant une correspondance séquentielle et combinatoire entre :

- **Les ENTREES** : transferts d'informations de la Partie Opérative vers la Partie Commande.
- **Les SORTIES** : transferts d'informations de la Partie Commande vers la Partie Opérative.

Cet outil graphique est puissant et directement exploitable, car il constitue également un langage pour la plupart des API disponibles sur le marché. Lorsque le terme GRAFCET (en lettres majuscules) est utilisé, il fait référence à l'outil de modélisation. En revanche, lorsqu'il est écrit en minuscule (grafcet), il se réfère à un modèle obtenu selon les règles du GRAFCET.

Le GRAFCET inclut:



- **Des étapes** : associées à des actions ;
- **Des transitions** : associées à des réceptivités ;
- **Des liaisons orientées** : reliant étapes et transitions.

La figure ci-dessous illustre les éléments fondamentaux d'un GRAFCET :

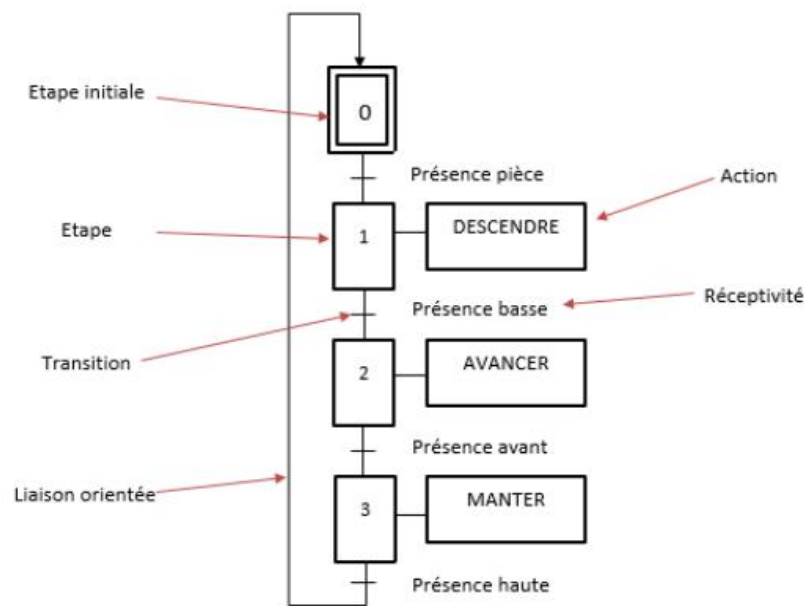


Figure [III.29]: Structure générale d'un grafcet. [18]

III. 2.2- La représentation d'un grafcet

Sa représentation est réalisée à partir d'éléments graphiques de base, comprenant :

III. 2.2.1- Les étapes d'un grafcet

➤ **Étape initiale :**

L'étape initiale définit l'état du système au démarrage.

➤ **Étape :**

Une étape représente un état stable du système. Les étapes sont numérotées de manière croissante. À chaque étape, une ou plusieurs actions peuvent être associées. [17]

III. 2.2.2- les transitions et les réceptivités

➤ **Transition :**

Les transitions montrent les possibilités d'évolution du cycle, chaque transition étant associée à une condition de réceptivité.

➤ **Réceptivité :**

La réceptivité constitue la condition logique qui détermine l'évolution du GRAFCET. Lorsque la réceptivité est vraie (= 1), le cycle peut progresser. Les réceptivités sont issues du pupitre de commande, des fins de course ou d'informations provenant de la partie opérative. [17]

III. 2.2.3- Les liaisons orientées

➤ **Liaisons orientées**

Le GRAFCET est lu de manière ascendante, mais s'il est nécessaire de représenter son évolution, des liaisons orientées, matérialisées par des flèches, sont utilisées pour indiquer le sens. [17]

Quelques définitions:

➤ **Action:**

Une action est liée à une étape et est activée lorsque le cycle atteint cette étape. Il est également possible de définir des actions conditionnelles, temporisées, telles que l'activation d'une électrovanne ou le déclenchement d'un contacteur. [17]

➤ **Étape active :**

Le point signale que l'étape est en cours d'exécution ou active.

Exemple : Le processus de fonctionnement d'une fraiseuse :

- Activation en appuyant sur le bouton « Marche »
- La fraise descend.
- Une fois la position basse atteinte, le fraisage démarre.
- Arrêt en appuyant sur le bouton « Arrêt » :
- Le fraisage cesse et la fraise remonte.
- Une fois la fin de course haute atteinte, la fraiseuse retourne à sa position initiale.

Le schéma ci-dessous illustre le fonctionnement d'une fraiseuse à l'aide du GRAFCET.

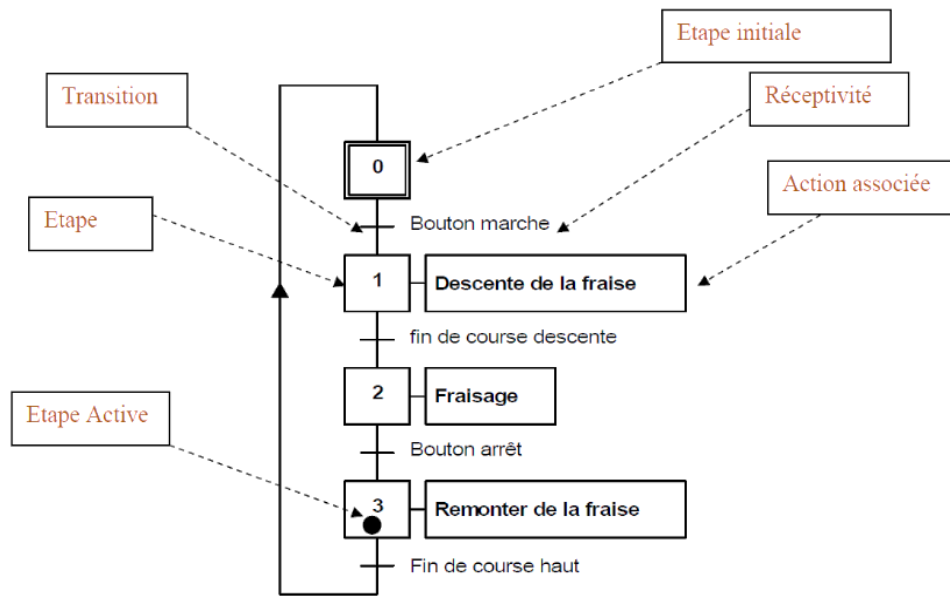


Figure [III.2]: Schéma de GRAFCET du Fonctionnement d'une fraiseuse [17]

II. 2.3- Les niveaux de grafcet

➤ GRAFCET niveau 1

Cela est également connu sous le nom de niveau de la partie commande. Il expose le fonctionnement fonctionnel du système et les actions que le contrôle doit entreprendre en réponse aux informations provenant de la partie opérationnelle, indépendamment de la technologie utilisée. Les conditions sont décrites verbalement, sans abréviations. Nous associons le verbe à l'infinitif de l'action. [19]

➤ GRAFCET niveau 2

Cela est également désigné sous le nom de niveau de la partie opérative. Il inclut des détails supplémentaires sur les actionneurs, les pré-actionneurs et les capteurs. Les actions et les réceptivités sont présentées sous forme d'abréviations plutôt que de mots, avec une lettre majuscule associée à l'action et une lettre majuscule associée à la réceptivité. [19]

➤ GRAFCET niveau 3

Dans cette situation, nous utilisons le GRAFCET de niveau 2 en attribuant les données aux étiquettes d'entrée de l'automate et les commandes aux étiquettes de sortie de l'automate. Cela s'ajuste aux capacités de traitement spécifiques d'un automate programmable industriel donné, afin de développer le programme, effectuer la mise en œuvre et garantir sa progression.

Le schéma ci-dessous représente les trois niveaux de GRAFCET :

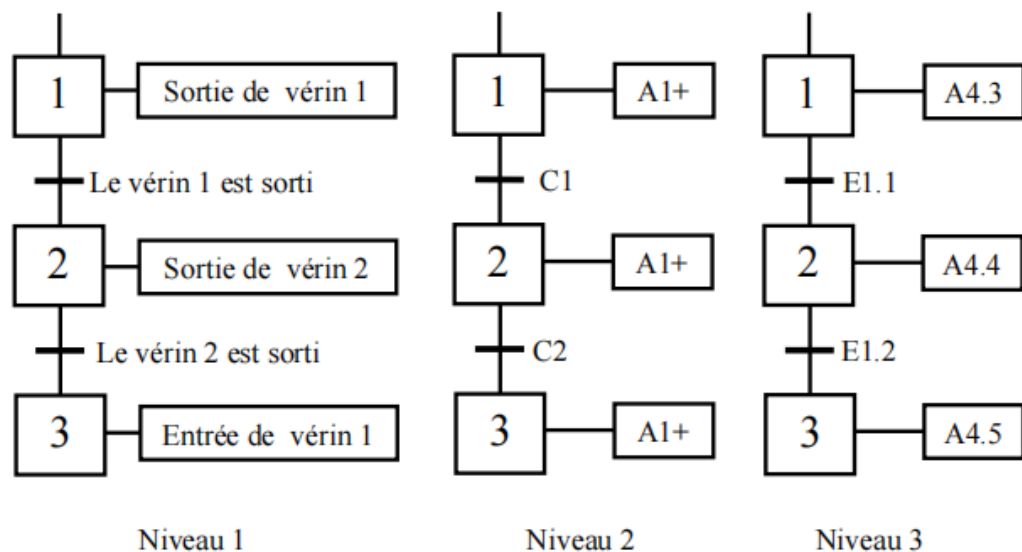


Figure [III.30] : Les Niveaux de GRAFCET.[19]

II. 2.4- Structure de base d'un grafcet

Dans un cycle de machine complet, il est possible d'avoir des séquences simultanées ou des alternatives de séquences

A. SÉQUENCE UNIQUE (STRUCTURE LINÉAIRE)

Le début du GRAFCET se compose d'une série d'étapes qui peuvent être activées séquentiellement. Cette séquence d'étapes est désignée comme une séquence unique.

Chaque étape est associée à une seule transition et chaque transition est validée par une seule étape.

La séquence est considérée comme active si au moins une des étapes est active. Elle est considérée comme inactive si toutes les étapes sont inactives.

Le schéma ci dessous montre la séquence unique :

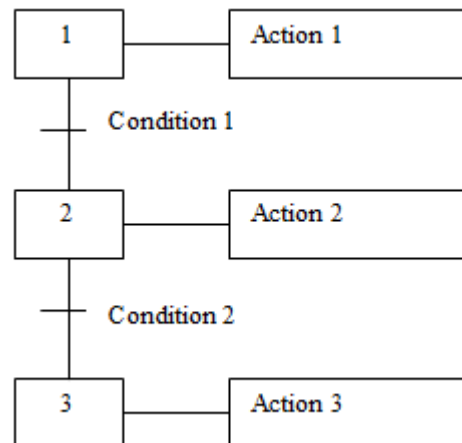


Figure [III.31]: Schéma de la séquence unique.[17]

B. SÉQUENCES SIMULTANÉES

Quand le passage d'une transition entraîne l'activation de plusieurs séquences simultanément, celles-ci sont désignées comme des séquences simultanées. Une fois que ces séquences ont été activées simultanément, les évolutions des étapes actives dans chacune des séquences deviennent indépendantes.

Le schéma ci dessous montre la Séquences simultanées :

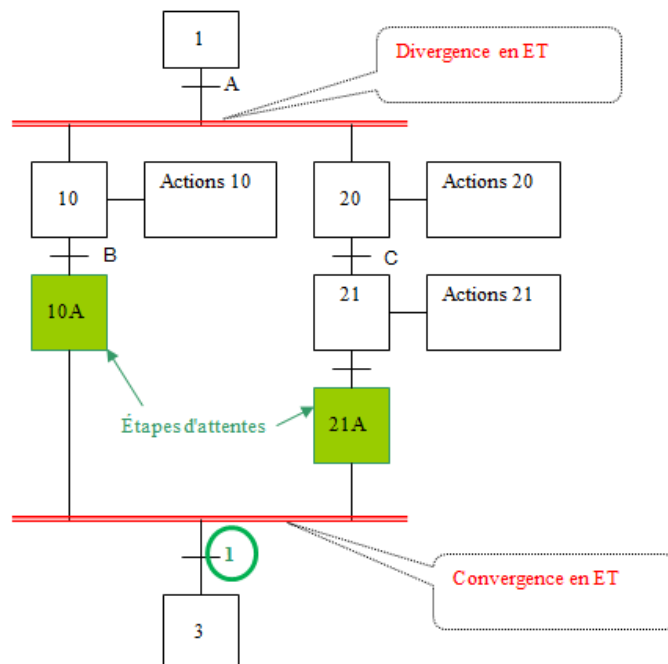


Figure [III.32]: Schéma de la Séquences simultanées.[17]

NB: Pour garantir que plusieurs séquences sont désactivées simultanément, des étapes *d'attente réciproques* sont souvent *prévues*.

C. SÉLECTION DE SÉQUENCE

Pour représenter une *sélection* ou un *choix d'évolution* entre plusieurs étapes ou séquences, à partir d'une ou plusieurs étapes, on utilise autant de transitions validées qu'il y a de possibilités d'évolution.

Le schéma ci dessous présente la Séquences simultanées (sélection de séquence) :

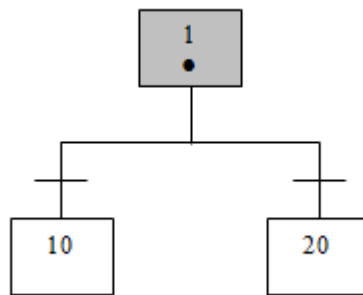


Figure [III.33]: Schéma de la Séquences simultanées. [20]

❖ À partir de l'étape 1, il y a deux possibilités d'évolution : {10 OU/ET 20}

REMARQUE : Pour obtenir une sélection exclusive entre plusieurs étapes : il faut que les réceptivités soient exclusives.

- Il est à noter que l'outil grafcet, est l'outil le plus répandu pour l'étude le développement et l'implémentation des solutions d'automatismes sous API.

- Dans la suite de ce chapitre nous allons présenter le modèle grafcet qui prendra en charge les constantes imposées sur l'unité de drainage ;

Pour obtenir une sélection exclusive entre plusieurs étapes : il est nécessaire que les conditions de réceptivité soient mutuellement exclusives.

- Il est important de souligner que le GRAFCET est l'outil le plus largement utilisé pour l'étude, le développement et la mise en œuvre de solutions d'automatisation sous API.
- Dans la section suivante de ce chapitre, nous examinerons le modèle GRAFCET qui intégrera les contraintes imposées sur l'unité de drainage des ballons de chaudière.

III. 2.5- Les règles d'évolution du grafcet

Pour garantir le bon fonctionnement d'un GRAFCET, il est crucial de se conformer à cinq règles d'évolution. Si l'une de ces règles n'est pas respectée, le graphique ne peut plus être qualifié de GRAFCET. La première règle consiste à alterner systématiquement entre les étapes et les transitions, peu importe l'ordre dans lequel elles sont parcourues.

En effet, les règles subséquentes reposent sur cette alternance.

➤ Règle 1 « Situation initiale »

Le GRAFCET débute par une situation initiale symbolisée par un double carré, représentant le comportement initial de la partie commande «PC» par rapport à la partie opérative «PO». Cette situation englobe l'ensemble des étapes actives permettant le démarrage de l'opération.

Cela implique :

- Souvent, la situation initiale correspond à la position de référence de la partie opérative PO.
- Habituellement, aucune action n'est associée aux étapes initiales. [17]

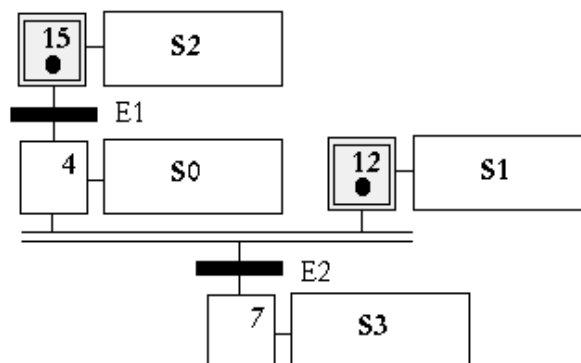


Figure [III.34]: les étapes initiales d'un GRAFCET [21]

➤ Règle 2 « Franchissement d'une transition »

Une transition peut être validée ou non validée ; elle est validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes sont activées. Lorsque la transition est validée et que la condition de réceptivité associée est vraie, elle doit alors être franchie.

Le schéma ci-dessous montre l'illustration de franchissement d'une transition :

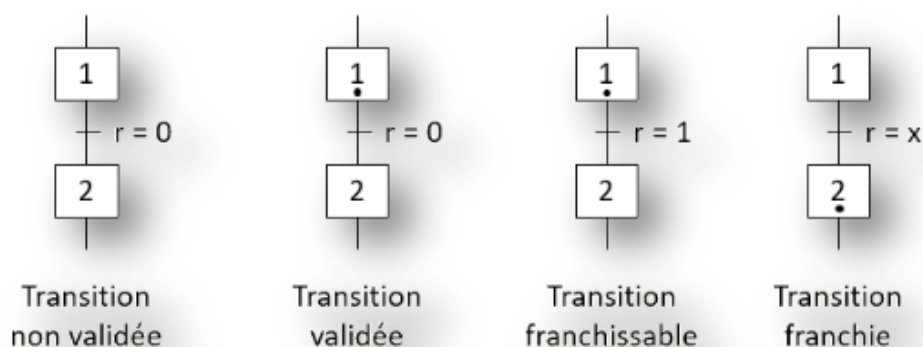


Figure [III.8]: Illustration de franchissement d'une transition. [17]

➤ **Règle 3 « Evolution des étapes actives »**

Lorsqu'une transition est franchie, cela entraîne l'activation des étapes immédiatement suivantes et la désactivation des étapes immédiatement précédentes.

➤ **Règle 4 « Evolutions simultanées »**

Plusieurs transitions qui peuvent être franchies simultanément sont franchies en même temps.

➤ **Règle 5 « Activations et désactivations simultanées »**

Si, pendant le fonctionnement, une étape doit être à la fois activée et désactivée simultanément, elle demeure active.

NB: La durée nécessaire pour franchir une transition ne peut jamais être strictement nulle, même si elle peut être réduite à volonté. De même, il en va de la durée d'activation d'une étape. [17]

III. 3- MODELE FINALE DU SYSTEME BLOW DOWN AVEC L'UTILE GRAFCET

III. 3.1- Cahier des charges pour le démarrage des unités du blow down

On distingue deux cas principaux : l'état de stagnation et l'état opérationnel :

a. Assurer que les actionneurs (vannes et les pompes) sont en état repos :

- Les vannes " HP, LP, IP " sont fermées.
- Les pompes d'eau de mer "SEAWATER SUPPLY PUMP 1" et "SEAWATER SUPPLY PUMP 2" sont à l'arrêt.
- La Vanne d'entrée d'eau de mer "SEAWATER VALVE" est fermée.
- Les pompes d'eau dessalée "WASTE WATER PUMP 1" et "WASTE WATER PUMP 2" sont à l'arrêt.
- La vanne principale d'eau dessalée "WASTE WATER VALVE" est fermée.
- les pompes de transfert "TRANSFERPUMP 1 ET 2" sont à l'arrêt.
- La vanne de rejet "REJECT VALVE" est fermée.

b. Fonctionnement en mode automatique :

Le système BLOW DOWN récupère les drains de la chaudière de récupération et effectue l'opération de décharge, soit vers la mère, soit vers la station de traitement, comme indiqué ci-dessous :

Séquence 1: dans le réservoir des purges

Lors du démarrage du cycle "START", le niveau du réservoir de purge est [bas] ($N < 80$) puis l'ouverture des 3 vannes "HP DRUM VALVE, LP DRUM VALVE, BP DRUM VALVE" régulatrice arrive de l'eau de la chaudière a vanne de Transfer vers le bassin et ferme "COLLECTION SUMP VALVE". Les vannes restent ouvertes jusqu'à ce qu'elles atteignent le niveau haut ($N > 80$), auquel cas une vanne "HP DRUM VALVE" sera fermée, suivie de la fermeture d'une deuxième vanne "IP DRUM VALVE". Une fois que le niveau atteint haut haut ($N > 120$), les trois portes de réception se fermeront et la porte de transfert s'ouvrira, envoie l'eau vers un bassin de collecteur pour garder la température d'eau stable, une vanne régulation "VANNE DESURCHAUFFES" en voie l'eau de mer vers le bassin collecteur.

Si la vanne "COLLECTION SUMP VALVE" n'est pas ouverte après [20s], alarme de défaut en la vanne d'eau de mer "COLLECTION SUMP VALVE FLT" est déclenché et l'ouverture de la vanne "COLLECTION SUMP VALVE" se fera manuellement en utilisant le programme "SEAWATER VALVE OPENED MANUALLY" ou l'IHM "HMI" puis "MANUAL"

Séquence 2: dans le bassin collecteur

Après l'ouverture de la vanne "COLLECTION SUMP VALVE", on va vérifier la température d'eau dans le "COLLECTEUR SUMP" pour la garder au niveau stable.

1. Si la température est supérieure aux normes (≥ 60), nous lançons la "SEAWATER SUPPLY" dans le bloc d'alimentation en eau de mer, ce qui nous fournira de l'eau de mer via la "SEAWATER VALVE" pour refroidir la température du "COLLECTION SUMP TANK"
2. Si "SEAWATER POMPE 1" n'a pas démarrée après [20s], alarme de défaut en pompe 1, "SEAWATER PUMP 1 FLT" est déclenché et le signal de mise en marche de la pompe 2 "SEAWATER PUMP 2" est envoyé.
3. Si "SEAWATER POMPE 2" n'a pas démarrée après [20s], alarme de défaut en pompe 2 "SEAWATER WATER PUMP 2 FLT" est déclenché et les deux pompes ont besoin de réparation avant de démarrage à nouveau en utilisant le programme "REPAIR SEAWATER PUMP" ou l'IHM "HMI" puis "REPAIR".
4. La vanne de "SEAWATER VALVE" est ouverte.
5. Après l'ouverture des vannes précédentes, on va vérifier la température
6. la température d'eau d collecteur tank "COLLECTION SUMP" (<60)

Séquence 3: waste water traitement

- 1- Une fois les conditions sont vérifiées, le signal d'ouverture des pumps de transfer d'eau dessalé "WASTE WATER SUPPLY" est envoyé pour déclencher "TRANSFER PUMP1"
- 2- Si "TRANSFER WATER POMPE 1" n'a pas démarrée après [20s], alarme de défaut en pompe 1 "TRANSFER PUMP 1 FLT" est déclenché et le signal de mise en marche de la pompe 2 d'eau dessalé "TRANSFER PUMP 2" est envoyé.
- 3- Si "TRANSFER POMPE 2" n'a pas démarrée après [20s], alarme de défaut en pompe 2 "TRANSFER PUMP 2 FLT" est déclenché et les deux pompes ont besoin de réparation avant de démarrage à nouveau en utilisant le programme "WATER WASTE REPAIR PUMPS" ou l'IHM "HMI" puis "REPAIR"

- 4- Après l'ouverture de la vanne, on va vérifier les conditions suivantes :
- Si le (PH < 9,5) la vanne "REJECT VALVE" est active et envoie de l'eau à la mère « PH IS OK »
 - Si le (PH >= 9,5) la vanne (wwt valve) s'ouvre et envoie l'eau vers la station de traitement « PH IS NOT OK »
- 5- Si la vanne "WWT TREATMENT VALVE" n'est pas ouverte après [20s], alarme de défaut en la vanne de waste water "WWT VALVE FAULT" est déclenché et l'ouverture de la vanne "WWT VALVE" se fera manuellement en utilisant le programme "WWT VALVE OPENED MANUALLY" ou l'IHM "HMI" puis "REPAIR"
- 6- Une fois les conditions sont vérifiées, la vanne "WWT VALVE" sera fermée et la vanne de rejet "REJECT VALVE" sera ouverte.

III. 3.2- Modélisation du cahier des charges par grafcet

La dernière version du logiciel de programmation Siemens, **TIA Portal V13**, offre une plate-forme avancée pour créer un programme en langage GRAFCET afin de contrôler les opérations de base du système BLOW DOWN. Ce programme peut ensuite être testé sur l'automate **Siemens S7-300**.

Par conséquent, nous avons développé ces GRAFCET à l'aide de blocs de fonction **FB** dans notre programme pour le fonctionnement de notre système de drainage.

Pour une meilleure clarté et compréhension des GRAFCET, nous les avons dessinés et évalués dans le logiciel **TIA Portal** comme suit :

✓ GRAFCET de BLOC BLOW DOWN :

Nous avons deux graphes qui expliquent les étapes de fonctionnement (actions et Réceptivité) de ce système

GRAPHE 1 : se soucie par les étapes de lancement ou démarrage

GRAPHE 2 : il concerne les phases d'arrêt ou stoppage

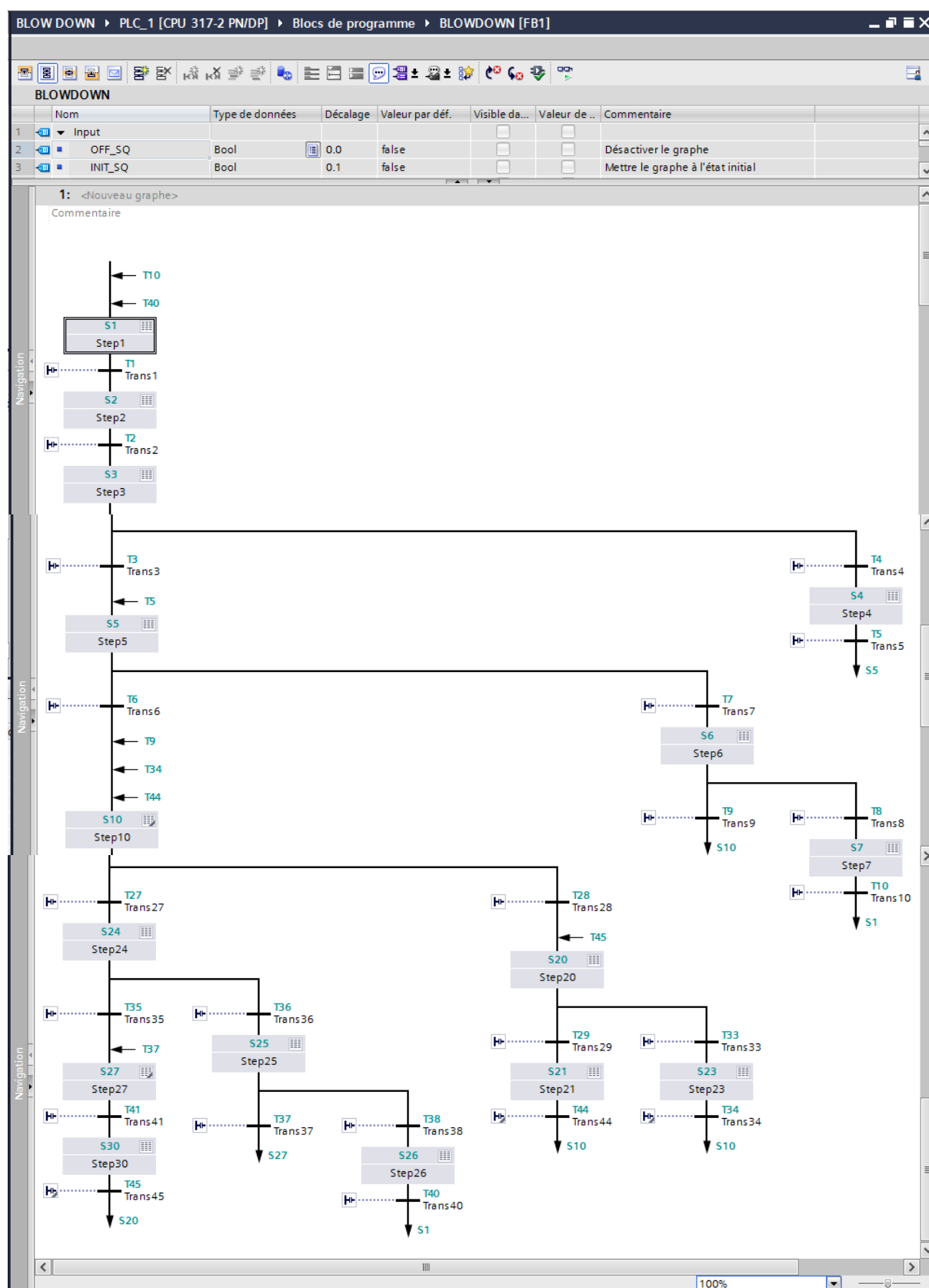


Figure [III.9]: Diagramme grafset N°1 du BLOC BLOWDOWN

Voici

notre

diagramme

GRAFCET

N°2

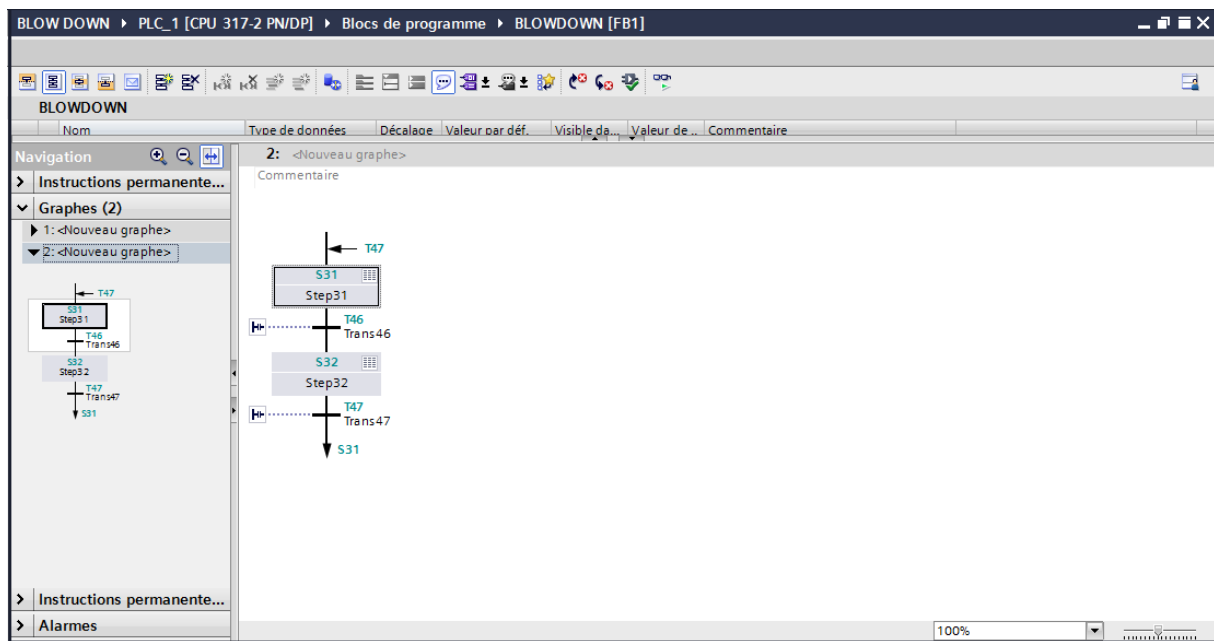


Figure [III.10]: Diagramme grafcet N°2 du BLOC BLOWDOWN

REMARQUE

Veuillez consulter l'annexe pour lire les commentaires concernant certaines transitions.

Comme ceci :

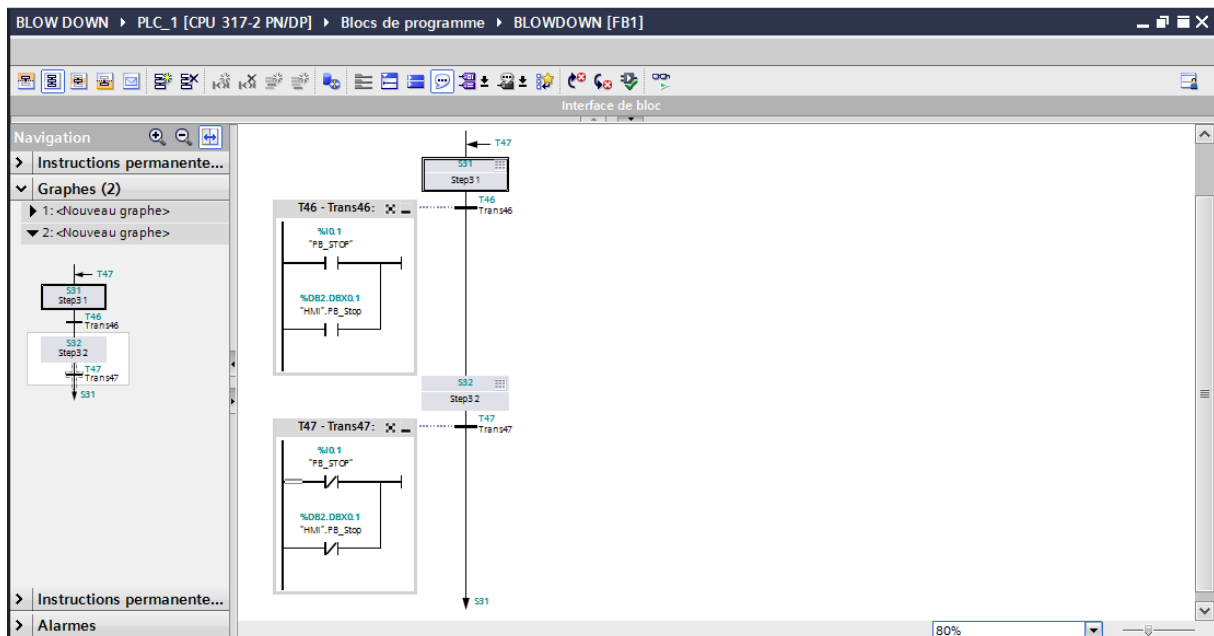


Figure [III.11]: Les transitions de diagramme grafcet N°2 du BLOC BLOWDOWN

III. 4- AUTOMATISATION DU SYSTEME BLOW DOWN AVEC (SIMENCE S7-300)

III. 4.1- Description et structure d'un système automatisé de production SAP

SAP veut dire «Systems, Applications, and Products in Data Processing» est un système automatisé conçu pour intégrer les divers processus opérationnels d'une entreprise afin d'améliorer leur efficacité et leur transparence.

Un système est considéré comme automatisé lorsque le processus de passage d'une situation initiale à une situation finale se réalise sans intervention humaine et de manière répétitive. Un système automatisé effectue diverses actions grâce aux multiples composants qu'il contient. Voir la figure ci-dessous:

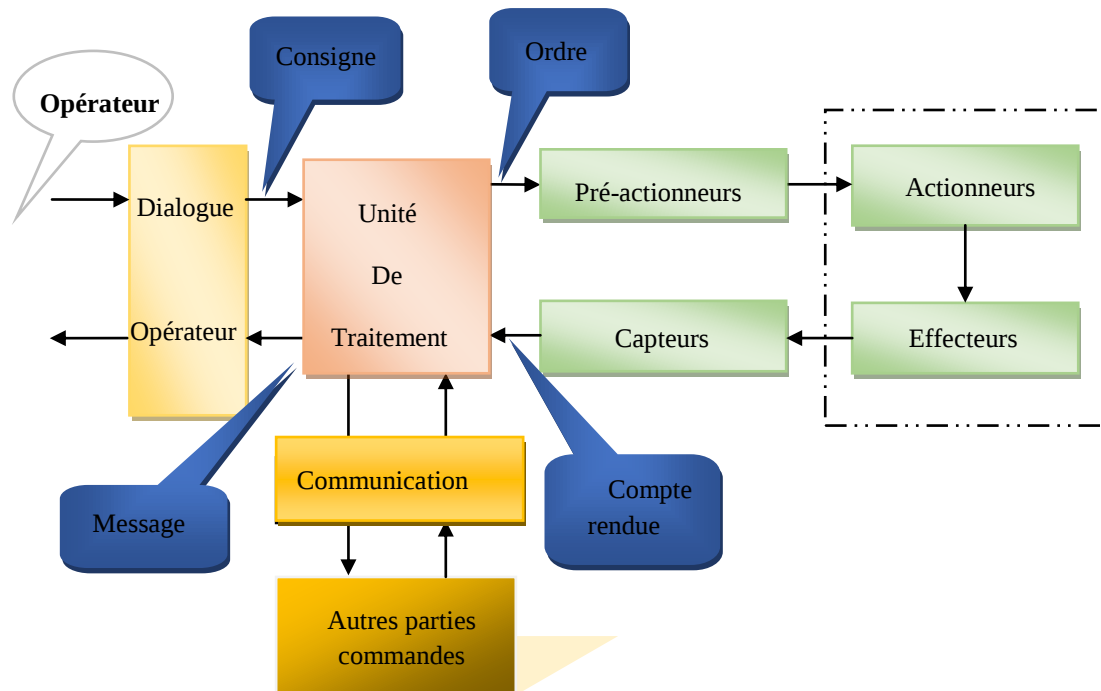


Figure [III.12]: Structure d'un système automatisé. [22]

Un système de production automatisé est une machine qui génère de la valeur ajoutée. Pour simplifier l'analyse, il peut être représenté par un schéma comprenant trois parties : une partie opérative, une partie commande et une partie relation, également appelée pupitre de dialogue (PO, PC, PR). Ce schéma illustre leurs interrelations, telles que les informations, les ordres, les comptes rendus et les consignes. Ces éléments sont étroitement liés et fonctionnent conjointement, incluant également un poste de contrôle



Figure [III.13] : Les parties d'un système automatisé. [22]

➤ La PC

Elle transmet des instructions à la PO pour obtenir les résultats souhaités en fonction des informations disponibles, des rapports, des directives, etc., et d'un modèle de comportement. Elle peut interagir avec des opérateurs ou avec d'autres systèmes.

➤ La PO

Elle met en œuvre les instructions provenant de la PC pour ajouter de la valeur à la matière d'œuvre entrante. En général, il s'agit d'un ensemble mécanisé utilisant de l'énergie électrique, pneumatique ou hydraulique. Elle envoie des rapports et des comptes rendus à la PC.

➤ La PR

Sa sophistication et sa taille varient selon l'ampleur du système. Il intègre les commandes essentielles pour le bon déroulement du processus : démarrage-arrêt, arrêt d'urgence, mode automatique, cycle par cycle, etc. Le guide d'étude des modes de marches et arrêts, GEMMA, sert de référentiel pour cette description. Ces outils graphiques, GEMMA et GRAFCET, sont également utilisés par les techniciens et ingénieurs de maintenance pour diagnostiquer les pannes dans les systèmes automatisés de production (SAP). Durant l'opération, un dialogue constant s'établit entre les trois parties du système, assurant ainsi le bon déroulement du cycle défini dans le cahier des charges.

De plus, ils permettent de visualiser les différents états du système grâce à des indicateurs lumineux, des terminaux de dialogue et des interfaces homme-machine (IHM).

III. 4.2- Définition d'un automate programmable industriel (API)

Un API, ou « Automate Programmable Industriel », est un dispositif électronique programmable conçu pour réguler des processus en temps réel dans un cadre industriel. Programmés pour exécuter des tâches cycliques, les API traitent les données reçues via leurs entrées et produisent des résultats en utilisant leurs sorties pour piloter le système. Cet outil peut être employé par des personnes sans formation informatique pour gérer les composantes opératives des processus industriels.

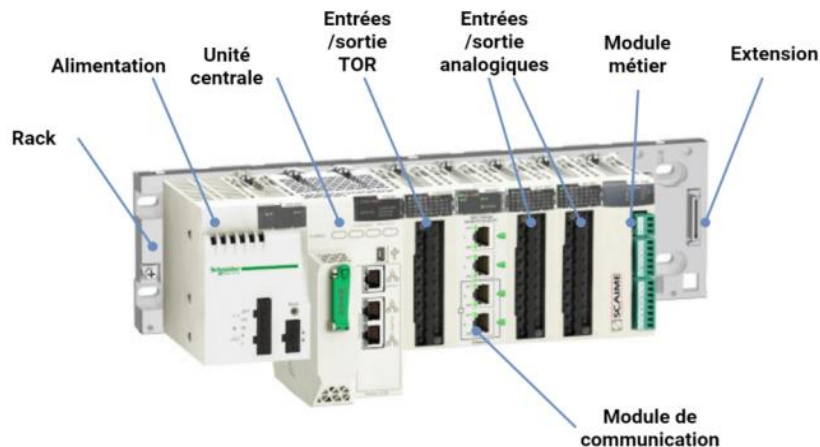


Figure [III.14]: Automate programmable industriel. [23]

III. 4.3- Historique d'un automate programmable industriel (API)

L'utilisation des relais électromécaniques dans les usines pour automatiser les processus de fabrication a marqué le début de l'histoire de l'automate programmable industriel (API) qui remonte aux années 1960. Les relais étaient utilisés pour réguler les machines et les équipements en se basant sur les signaux électriques provenant des capteurs et des actionneurs.

Le premier automate programmable industriel, appelé Modicon, a été inventé en 1968 par l'ingénieur américain Dick Morley. Grâce à cette invention, l'industrie a été transformée en intégrant la programmation électronique de la logique de commande et en remplaçant les relais électromécaniques par des circuits électroniques.

Les API sont de plus en plus largement utilisées. Avec le temps, ces automates ont été améliorés afin de proposer des fonctionnalités plus développées comme la capacité à communiquer en réseau, des interfaces homme-machine (IHM) et des fonctions de sécurité avancées.

De nos jours, l'utilisation des API est répandue dans les systèmes de contrôle de processus industriels, la production en série et divers autres secteurs de l'industrie. Grâce à eux, il est possible de superviser les processus de production avec efficacité et en temps réel. De plus, ils permettent d'optimiser les performances des équipements tout en améliorant la qualité des produits et en réduisant les coûts de maintenance.

III. 4.4- Objectives de l'automatisation

- **Visant le personnel** : Pour améliorer ses conditions de travail, il convient d'éliminer les tâches les plus éprouvantes et d'accroître la sécurité.
- **Visant le produit** : Pour renforcer sa faisabilité, sa qualité par rapport au cahier des charges et sa fiabilité à long terme.
- **Visant l'entreprise** : Pour se rendre plus compétitif, il convient de réduire les coûts de production tout en améliorant la productivité, la qualité de production ainsi que les aptitudes en matière de contrôle, gestion et planification. [22]

III. 4.5- Architecture d'un automate programmable industriel (API)

Un automate se compose principalement des éléments matériels suivants :

- Les entrées, connectées aux capteurs, qui fournissent les informations sur l'équipement ou le processus à contrôler ou à commander.
- L'unité de calcul et logique, également connue sous le nom d'unité arithmétique-logique ou unité de traitement, exécute les opérations mathématiques (addition, soustraction...) ainsi que les instructions logiques (ET, OU...).
- Il existe différentes consoles de programmation, intégrées ou non à la machine, qui permettent de transformer les instructions « utilisateur » en instructions exécutables par l'automate.
- Les sorties sont responsables de transmettre les ordres élaborés par l'unité de traitement aux actionneurs tels que les contacteurs, électrovannes, etc.
- L'alimentation et les différents circuits périphériques.

Le schéma ci-dessous illustre l'architecture interne d'un automate programmable industriel (API) :

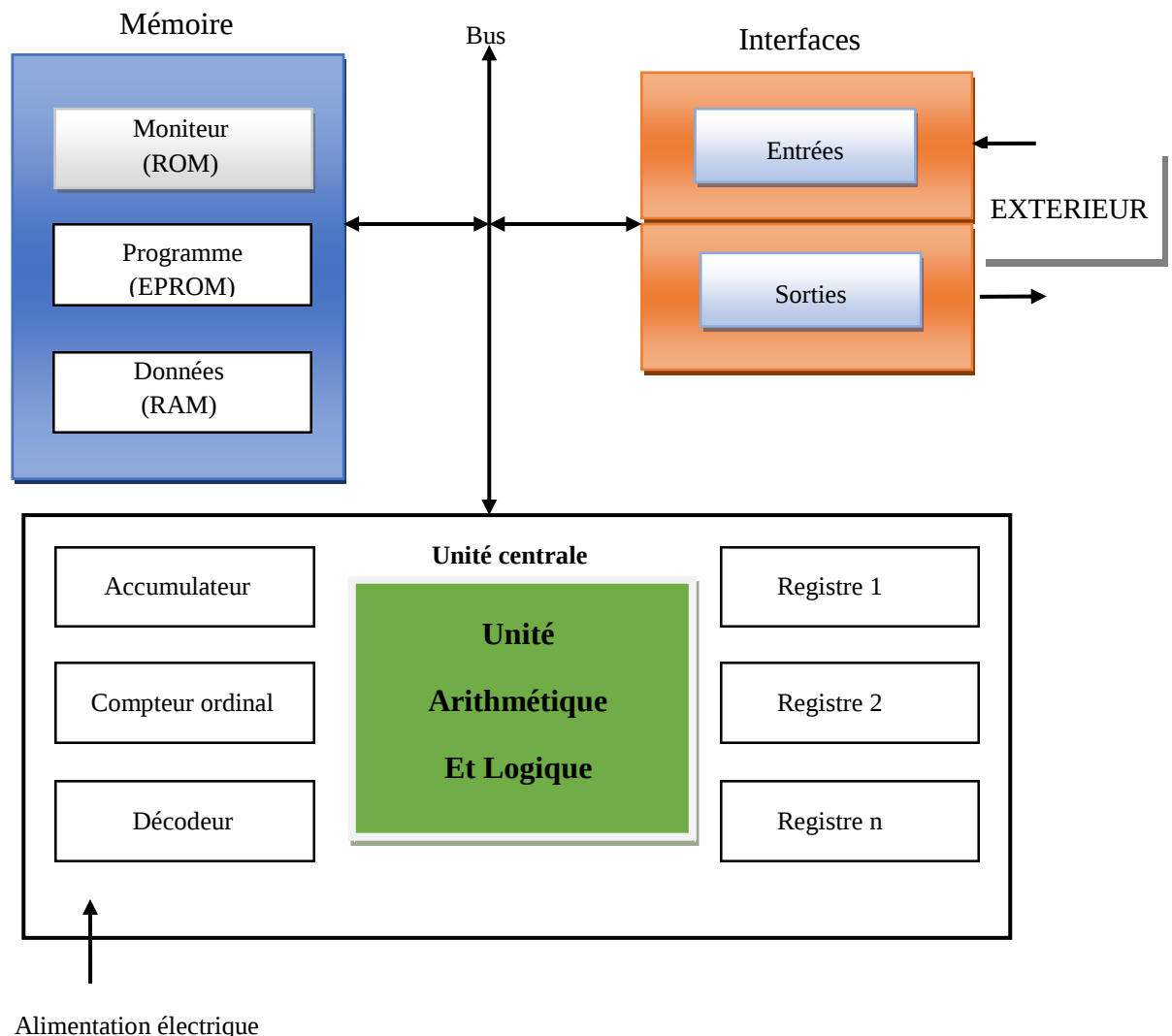


Figure [III.15] : Architecture interne d'un API. [24]

III. 4.6- Choix d'un automate programmable

Plusieurs critères influencent le choix d'un automate programmable, parmi lesquels :

- **Les caractéristiques techniques du système à automatiser** : Dimensions, degré de complexité, quantité d'entrées/sorties, variété des capteurs/actionneurs employés, etc...
- **Les exigences en matière de temps réel** : Le système nécessite-t-il un contrôle en temps réel ou peut-il fonctionner avec un délai de réponse plus long.
- **Les fonctions de communication** : L'automate doit-il pouvoir interagir avec d'autres dispositifs ou systèmes de contrôle.

➤ **La disponibilité de la documentation et des outils de programmation :**

L'automate doit disposer d'une documentation détaillée et d'outils de programmation intuitifs pour simplifier l'installation et l'entretien du système automatisé.

➤ **Le coût :** Le coût de l'automate programmable doit correspondre au budget prévu pour le projet

Sur la base de ces critères, diverses marques et modèles d'automates programmables peuvent être envisagés, tels que Siemens S7-300, Schneider Modicon, Allen-Bradley Compact Logix, etc. Il est crucial de réaliser une étude de marché et de consulter des experts afin de garantir le choix le plus approprié pour le projet. [25]

III. 5- CONCLUSION

Après avoir étudié le contenu de ce chapitre, nous pouvons conclure que le GRAFCET est un outil de modélisation puissant pour représenter le comportement attendu de la partie commande d'un système automatisé et pour établir une connexion entre la partie commande et la partie opérative. Il facilite également la transition d'un cahier des charges fonctionnel à un langage de programmation opérationnel.

Grâce à l'utilisation du GRAFCET, nous avons pu modéliser le comportement attendu du système automatisé, ce qui simplifiera la programmation de la partie opérative qui dirigera le processus. Cet outil est essentiel pour la modélisation des systèmes automatisés, et son intégration avec TIA Portal nous permettra de créer une plateforme de supervision complète pour optimiser l'efficacité opérationnelle et la rentabilité des systèmes automatisés.

Dans le prochain chapitre, nous utiliserons TIA Portal pour coder la partie opérative et développer une plateforme de supervision. Notre objectif sera de créer une solution aussi exhaustive que possible, permettant une surveillance en temps réel et une analyse de données efficace

A decorative gold-colored border with intricate floral and scrollwork patterns frames the central text. The border is composed of four main floral motifs at the corners, connected by elegant, flowing lines.

CHAPITRE IV

PROGRAMMATION

ET SUPERVISION DE

SYSTEME

BLOW DOWN AVEC

TIA PORTAL

IV. 1- INTRODUCTION

La supervision industrielle joue un rôle essentiel dans la collecte, le traitement et l'affichage des données provenant de divers équipements industriels. Avec l'augmentation de la complexité des processus et les exigences croissantes en termes de fonctionnalité des machines et des installations, il devient crucial de fournir aux opérateurs une transparence maximale. Cette transparence est assurée par l'Interface Homme/Machine (IHM), qui sert de lien entre l'opérateur et le processus.

Ce chapitre se concentre sur le développement d'un système de supervision industrielle pour la station de pompage modélisée dans le chapitre précédent. Nous commencerons par présenter l'automate programmable industriel (API) S7-300 et le logiciel de programmation TIA Portal, en mettant en lumière une partie de notre programme spécifique à la station de pompage.

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous aborderons les différentes étapes de la supervision industrielle en utilisant le logiciel WINCC intégré à TIA Portal. Nous décrirons les fonctionnalités de supervision disponibles et expliquerons comment les mettre en œuvre pour le système de drainage (BLOW DOWN).

Enfin, nous discuterons du contrôle de la supervision de la station de pompage, en mettant l'accent sur des aspects clés tels que la collecte et le traitement des données, les alarmes, les statistiques et la régulation. Cette section soulignera l'importance cruciale du système de supervision pour le fonctionnement optimal de la station de pompage.

IV. 2- PRESENTATION DE L'API S7-300 ET DE LOGICIEL DE PROGRAMMATION TIA PORTAL

L'API S7-300, fabriqué par Siemens, est un automate programmable industriel de haute performance, utilisé dans des applications industrielles complexes. Il offre de nombreuses fonctionnalités, telles que des entrées/sorties numériques et analogiques, des capacités de communication industrielle, une mémoire interne importante et une grande capacité de traitement. [26]

La constitution d'un S7-300 est représentée par la figure qui suit :

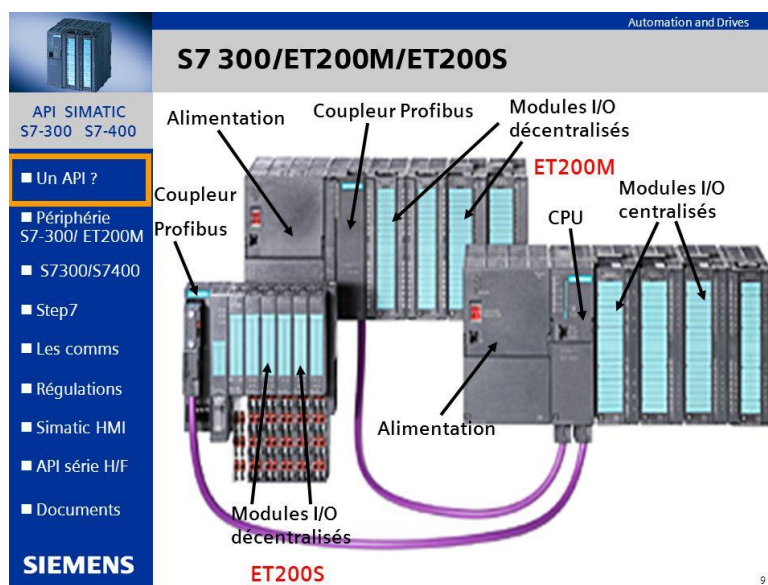


Figure [IV.35]: L'automate programmable S7 -300.[27]

L'API S7-300 peut être programmé à l'aide d'un PC utilisant le logiciel STEP 7 ou la plateforme Siemens TIA Portal. Dans ce chapitre, nous utilisons le logiciel de programmation TIA PORTAL « Totally Integrated Automation », qui est un environnement de développement intégré (IDE) offrant une interface graphique intuitive et conviviale pour faciliter la programmation, le diagnostic et la maintenance des API Siemens, comme le S7-300.

Le TIA PORTAL dispose également d'outils de débogage avancés pour améliorer la productivité et l'efficacité du processus de développement. Ce logiciel est compatible avec plusieurs langages de programmation, tels que le langage à contacts, le grafcet, le langage de blocs fonctionnels et le langage de liste d'instructions.

En utilisant l'API S7-300 avec le logiciel TIA PORTAL, les ingénieurs peuvent concevoir et mettre en œuvre des systèmes d'automatisation industrielle avancés avec une grande efficacité et flexibilité.

IV. 2.1- Les modules de l'automate s7-300

Dans cette section, nous examinerons la configuration des modules de l'automate programmable industriel (API) S7-300 utilisé dans notre système de supervision de la station de pompage :

- **Emplacement 1** : Alimentation 24V/5A
 - **Emplacement 2** : CPU 314
 - **Emplacement 4** : Entrées TOR 16x24V commutateurs du simulateur
 - **Emplacement 5** : Entrées TOR 16x24V roues codeuses
 - **Emplacement 6** : Sorties TOR 16x24V 0.5A voyants du simulateur
 - **Emplacement 7** : Sorties TOR 16x24V 0.5A afficheur numérique
 - **Emplacement 8** : Entrées TOR 16x24V entrées de la maquette
 - **Emplacement 9** : Sorties TOR 16x24V 0.5A sorties de la maquette
 - **Emplacement 10** : Module analogique 4AI / 4AO partie analogique du simulateur.
- [28]

IV. 2.2- Fonctionnalités de s7-300

L'automate S7 est composé de plusieurs éléments essentiels : une alimentation (modules PS), une CPU, ainsi que divers modules d'entrées/sorties. Siemens propose les modules suivants :

- **Modules d'extension IM** : Pour la configuration multi-rangée du S7-300
- **Modules de signaux SM** : Pour les entrées et sorties TOR et analogiques
- **Modules de fonction FM** : Pour des fonctions spéciales, telles que l'activation d'un moteur pas à pas
- **Processeurs de communication CP** : Pour la connexion au réseau.

La figure ci-dessous présente le fonctionnement d'un API :

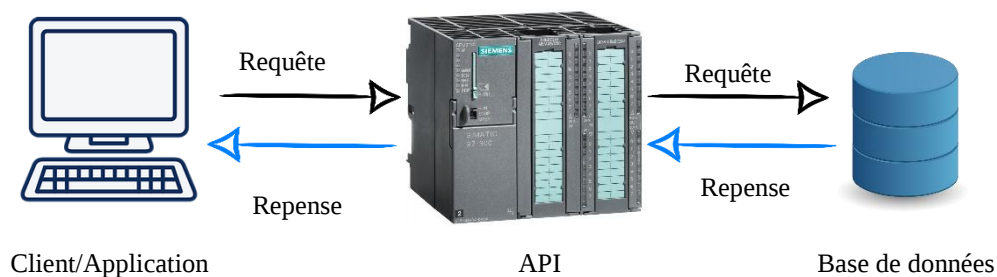


Figure [IV.36]: Fonctionnalité de l'API. [29]

IV. 2.3- Caractéristiques de notre automate s7-300

L'automate S7-300 présente les caractéristiques suivantes :

- Gamme diversifiée de CPU.
- Gamme complète de modules.
- Possibilité d'exécution jusqu'à 32 modules.
- Bus de fond de panier intégré dans le module.
- Mise en réseau possible avec MPI, PROFIBUS ou INDUSTRIAL ETHERNET.
- Raccordement central de la PG avec accès à tous les modules.
- Liberté de montage à différents emplacements.
- Configuration et paramétrage à l'aide de l'outil de configuration matériel.

Plusieurs automates S7-300 peuvent communiquer entre eux via un câble-bus PROFIBUS pour une configuration décentralisée. [24]

IV. 3- PROGRAMMATION DU S7-300 AVEC TIA PORTALE

Pour l'écriture de notre programme, nous utiliserons le logiciel de programmation SIMATIC TIA PORTAL, un outil de base pour les automates de la famille S7 de Siemens. Ce logiciel doit être installé sur un ordinateur.

IV. 3.1- Vue du portale et vue du projet

Lorsque l'on lance TIA Portal, l'environnement de travail se décompose en deux types de vue :

- **LA VUE DU PORTAL** : Elle est axée sur les tâches à exécuter et sa prise en main est très rapide.
- **LA VUE DU PROJET** : Elle comporte une arborescence avec les différents éléments du projet. Les éditeurs requis s'ouvrent en fonction des tâches à réaliser. Données, paramètres et éditeurs peuvent être visualisés dans une seule et même vue. [28]

IV. 3.1.1- Vue du portail

Chaque portail permet de traiter une catégorie de tâche (actions). La fenêtre affiche la liste des actions pouvant être réalisées pour la tâche sélectionnée :

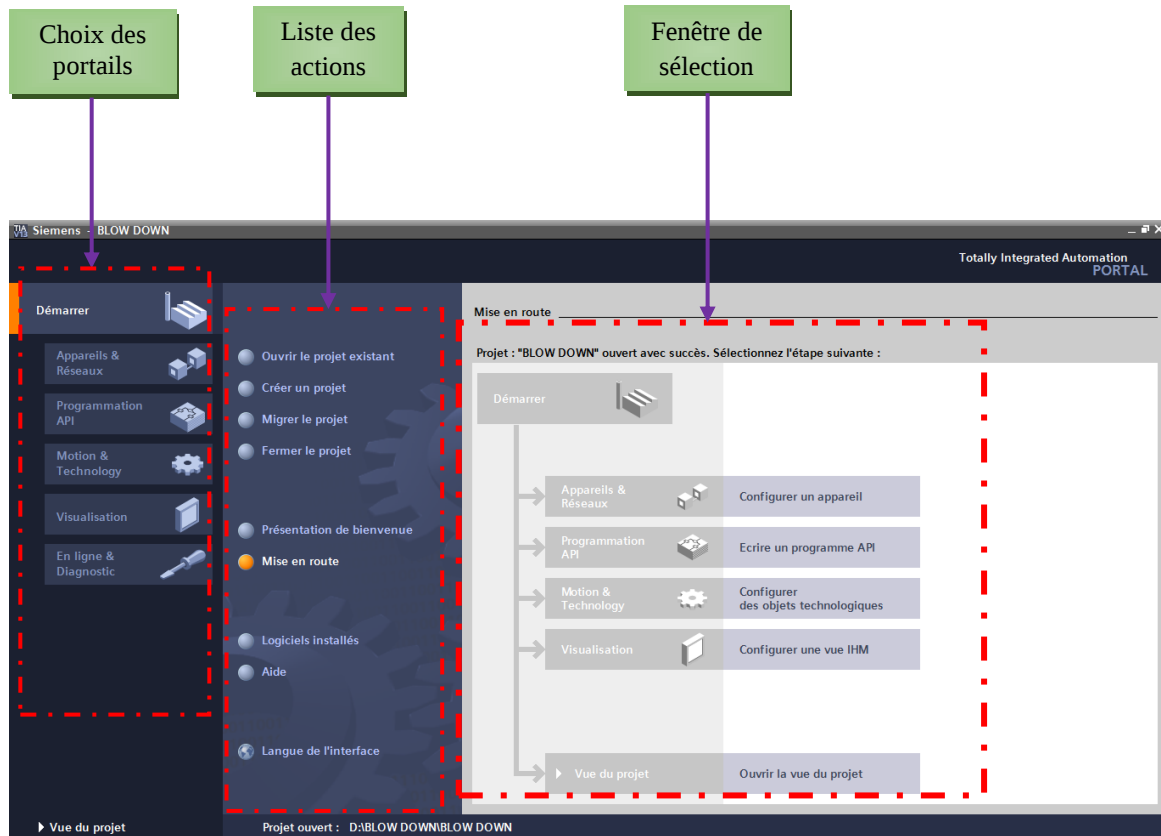


Figure [IV.37] : Vue du démarrage de tia portal.

IV. 3.1.2- Vue du projet

L'élément « projet » contient l'ensemble des éléments et des données nécessaires pour mettre en œuvre la solution d'automatisation souhaitée “ voir figure [IV.4] ”.

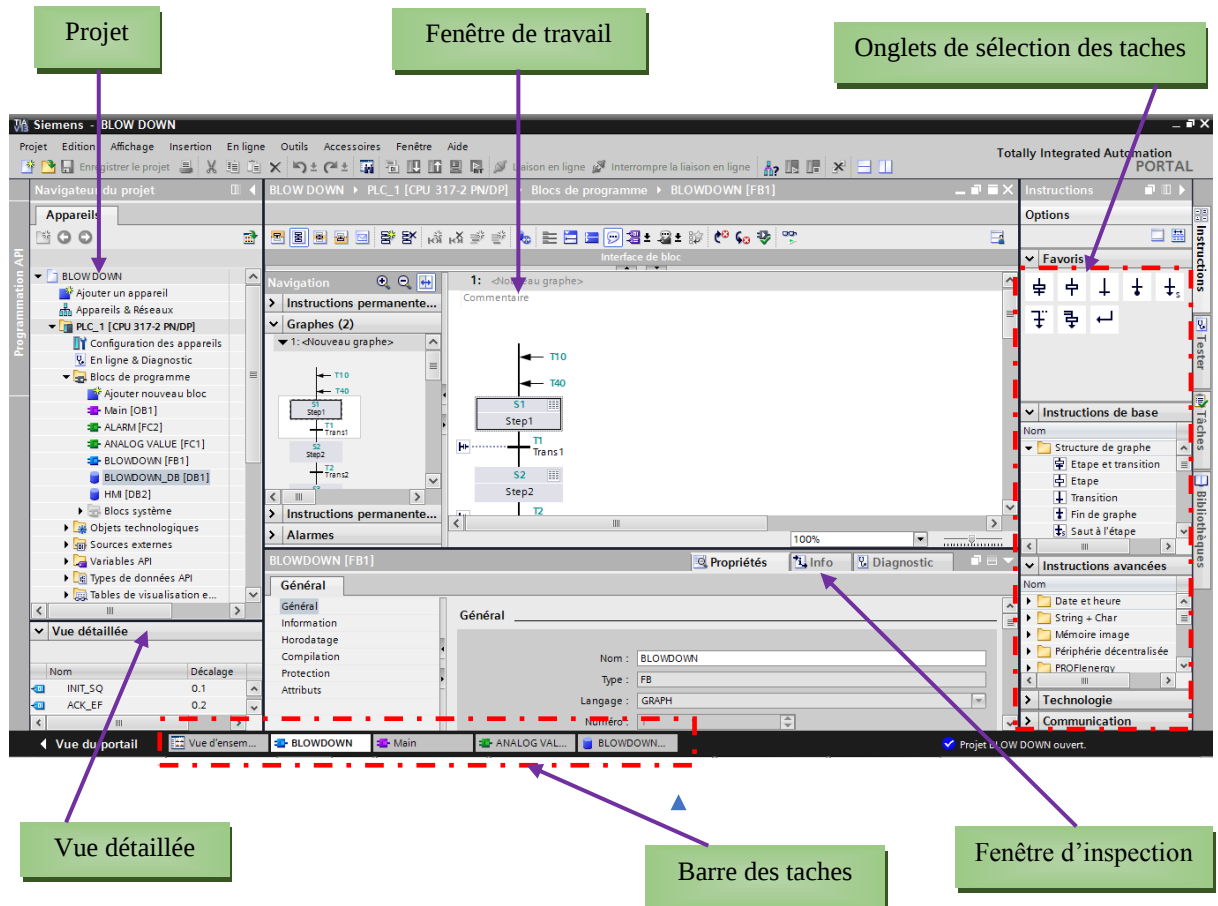


Figure [IV.38] : Vue du projet

- **La fenêtre de travail :** permet de visualiser les objets sélectionnés dans le projet à traiter. Il peut s'agir de composants matériels, de blocs de programme, de tables de variables, ou de HMI “ voir figure [IV.4] ”.
- **La fenêtre d'inspection :** permet de visualiser des informations complémentaires sur un objet sélectionné ou sur les actions en cours d'exécution (comme les propriétés du matériel sélectionné ou les messages d'erreurs lors de la compilation des blocs de programme) “ voir figure [IV.4] ”.
- **Les onglets de sélection de tâches :** contiennent un contenu qui varie en fonction de l'objet sélectionné, que ce soit la configuration matérielle, les bibliothèques de composants, les blocs de programme, ou les instructions de programmation “ voir figure [IV.4] ”.

Cet environnement de travail contient de nombreuses données. Il est possible de masquer ou réduire certaines de ces fenêtres lorsque l'on ne les utilise pas. Il est également possible de redimensionner, réorganiser, ou désancrer les différentes fenêtres.

IV. 3.2- Adressage des E/S

Pour connaître l'adressage des entrées et sorties présentes dans la configuration matériel, il faut aller dans « **appareil et réseau** » dans le navigateur du projet. Dans la fenêtre de travail, on doit s'assurer d'être dans l'onglet « **Vue des appareils** » et de sélectionner l'appareil voulu :

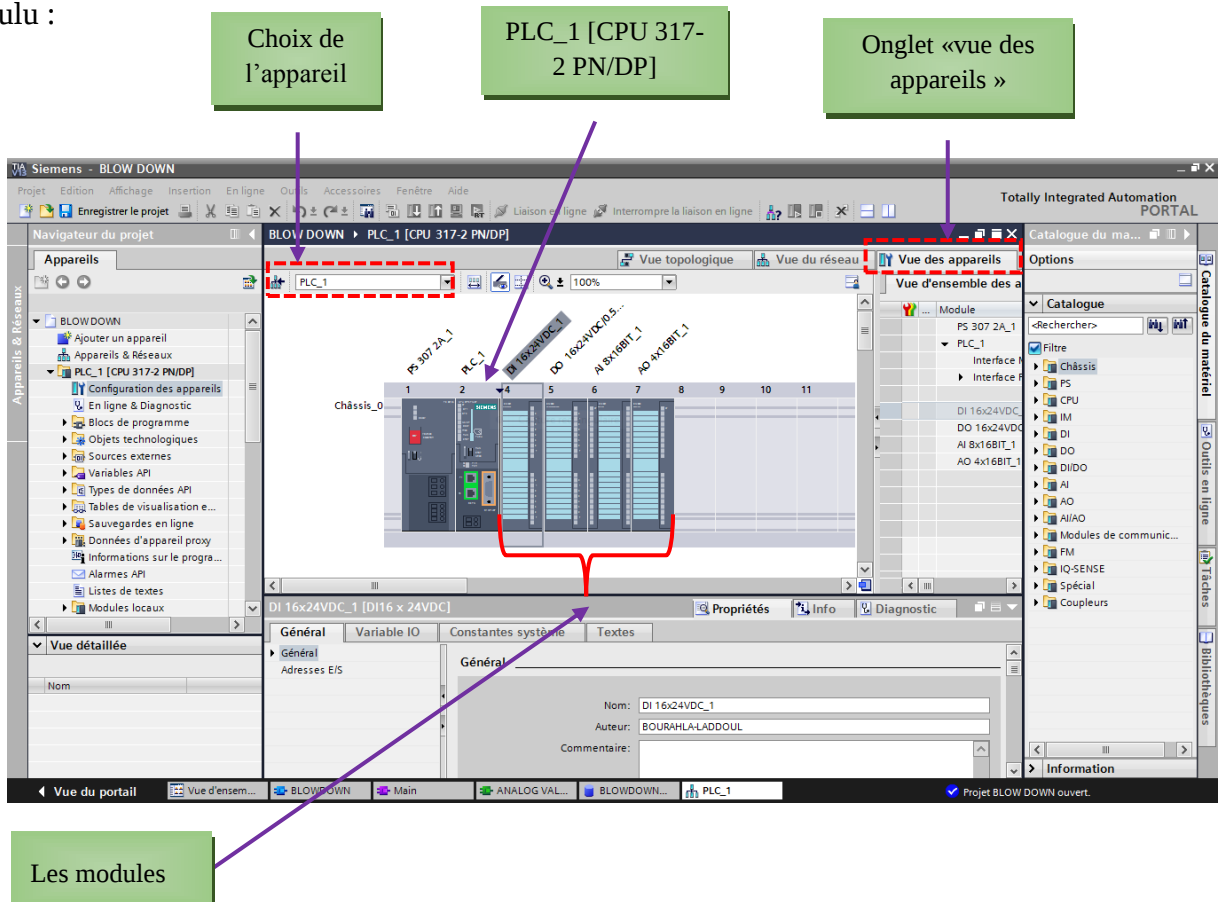
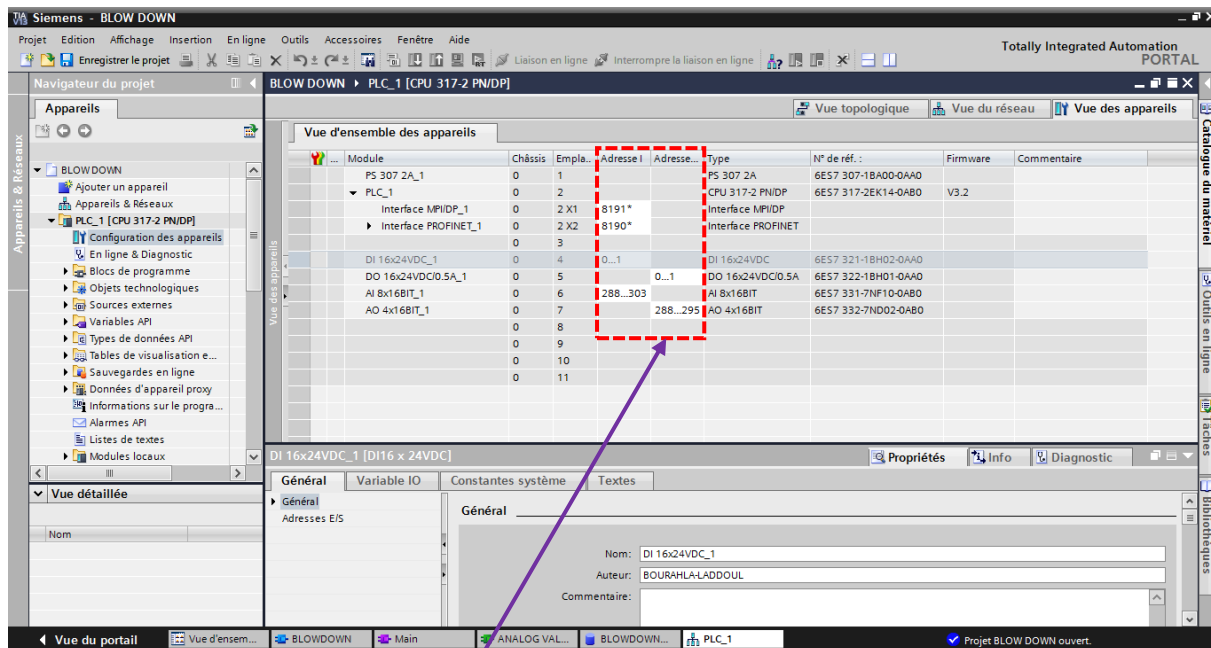


Figure [IV.39] : Les modules E/S

On sélectionne la CPU puis à l'aide des deux petites flèches “ voir figure [IV.6] “, on fait apparaître l'onglet « **Vue d'ensemble des appareils** ». Les adresses des entrées et sorties apparaissent. On peut les modifier en entrant une nouvelle valeur dans la case correspondante.



Adresses des modules d'E/S

Figure [IV.40]: Adressage des E/S

IV. 3.3- Création d'un projet dans le TIA PORTALE V13

Afin de créer un nouveau projet sur **TIA portal**, on doit de le créer et de le configurer directement, ce qui nous permet de gérer facilement notre projet.

Par un double clic sur l'icône TIA  portal on affiche la fenêtre principale, pour sélectionner un nouveau projet et le valider, comme le montre par la figure suivante :

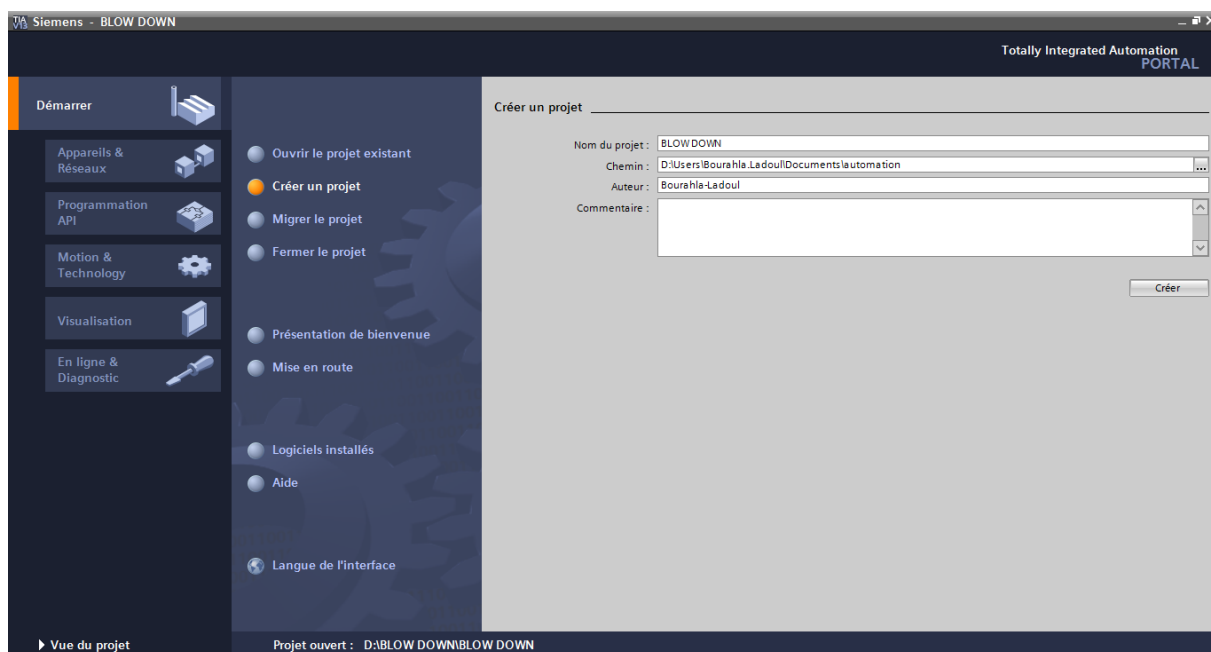


Figure [IV.41]: Création d'un nouveau projet dans le TIA PORTALE V13

On passe à la deuxième étape en cliquant sur le bouton « **appareils et réseaux** » ce qui nous permet de sélectionner les appareils qui constitueront notre système.

On doit choisir un type d'automate PLC et une interface homme/machine IHM

IV. 3.3.1- Configuration matérielle (partie HARDWARE)

Pour insérer la CPU, on clique sur "configurer un appareil" puis sur la commande "Ajouter un appareil " ‘ voir figure [IV.8] ‘. Cette étape est importante car elle concerne à l'agencement des châssis, des modules et de la périphérie décentralisée, les modules sont fournis avec des paramètres définis par défaut.

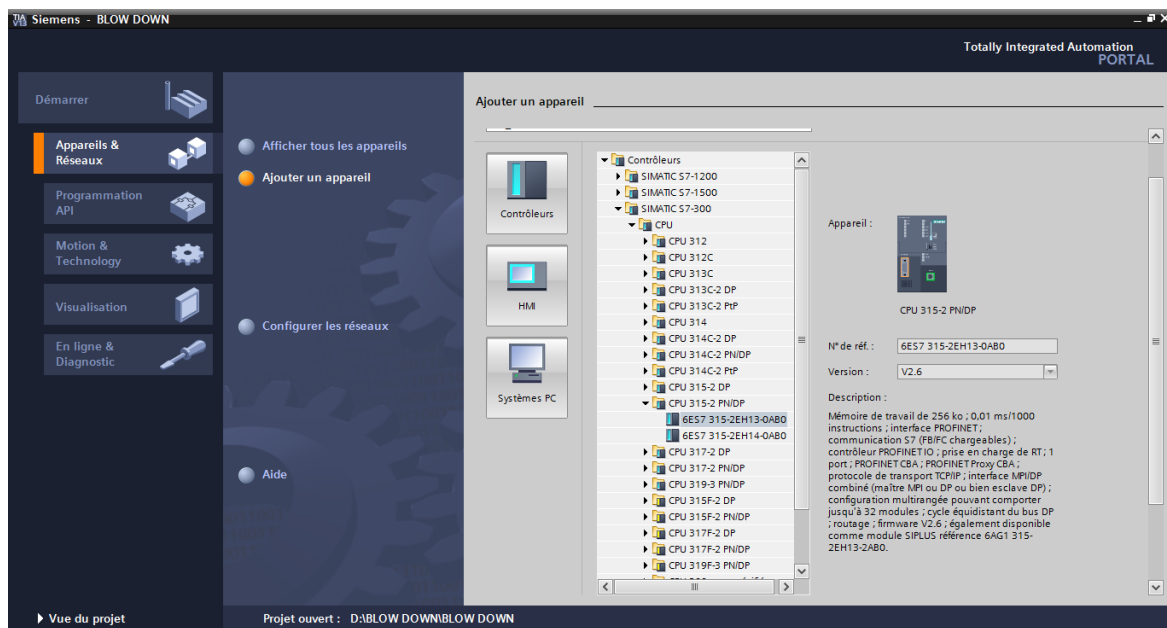


Figure [IV.42] : Configuration matérielle.



Figure [IV.43]: Configuration des appareils.

IV. 3.3.2- Création de la table des variables (PARTIE SOFTWARE)

Dans tout programme, il est nécessaire de définir la liste des variables qui seront utilisées lors de la programmation. Pour cela, nous créons une table des variables dans TIA. L'utilisation de noms appropriés rend le programme plus compréhensible et plus facile à manipuler. Ce type d'adressage est appelé « *relatif* ».

Nous éditons la table des variables en respectant notre cahier des charges pour les entrées et les sorties. La figure [IV.10] présente la table des variables pour notre système blow down

	Nom	Table des variables	Type de données	Adresse	Réma...	Visibl...	Acces...	Commentaire
1	PB_START	Table de variabl...	Bool	%I0.0		☒	☒	
2	PB_STOP	Table de variables s..	Bool	%I0.1		☒	☒	
3	System started	Table de variables s..	Bool	%M0.0		☒	☒	
4	HP DRUM VALVE	Table de variables s..	Bool	%Q0.0		☒	☒	
5	IP DRUM VALVE	Table de variables s..	Bool	%Q0.1		☒	☒	
6	BP DRUM VALVE	Table de variables s..	Bool	%Q0.2		☒	☒	
7	COLLECTION SUMP VALVE	Table de variables s..	Bool	%Q0.3		☒	☒	
8	SEAWATER PUMP 1	Table de variables s..	Bool	%Q0.4		☒	☒	
9	SEAWATER PUMP 2	Table de variables s..	Bool	%Q0.5		☒	☒	
10	SEAWATER VALVE	Table de variables s..	Bool	%Q0.6		☒	☒	
11	TANSFERT PUMP 1	Table de variables s..	Bool	%Q0.7		☒	☒	
12	TANSFERT PUMP 2	Table de variables s..	Bool	%Q1.0		☒	☒	
13	REJECT VALVE	Table de variables s..	Bool	%Q1.1		☒	☒	
14	WWT VALVE	Table de variables s..	Bool	%Q1.2		☒	☒	
15	COLLECTION SUMP VALVE OPENED	Table de variables s..	Bool	%I0.2		☒	☒	
16	COLLECTION SUMP VALVE FAULT	Table de variables s..	Bool	%M20.0		☒	☒	
17	COLLECTION SUMP VALVE OPENED...	Table de variables s..	Bool	%M10.0		☒	☒	
18	SEAWATER PUMP 1 STARTED	Table de variables s..	Bool	%I0.3		☒	☒	
19	SEAWATER PUMP 1 FAULT	Table de variables s..	Bool	%M20.1		☒	☒	
20	SEAWATER PUMP 2 STARTED	Table de variables s..	Bool	%I0.4		☒	☒	
21	SEAWATER PUMP 2 FAULT	Table de variables s..	Bool	%M20.2		☒	☒	
22	REPAIR SEAWATER PUMPS	Table de variables s..	Bool	%M10.1		☒	☒	
23	TANSFERT PUMP 1 STARTED	Table de variables s..	Bool	%I0.5		☒	☒	
24	TANSFERT PUMP 1 FAULT	Table de variables s..	Bool	%M20.3		☒	☒	

Figure [IV.44] : Variables API de système blow down

IV. 3.3.3- Programmation de la PLC (PARTIE SOFTWARE)

✓ Les blocs de code

Le dossier bloc, contient les blocs que l'on doit charger dans la CPU pour réaliser la tâche d'automatisation. Il englobe les blocs de code (OB, FB, SFB, FC, SFC) qui contiennent les programmes, les blocs de données DB d'instance et DB globaux qui contiennent les paramètres du programme. La figure [IV.11] montre la présente la fenêtre d'ajout d'un nouveau bloc

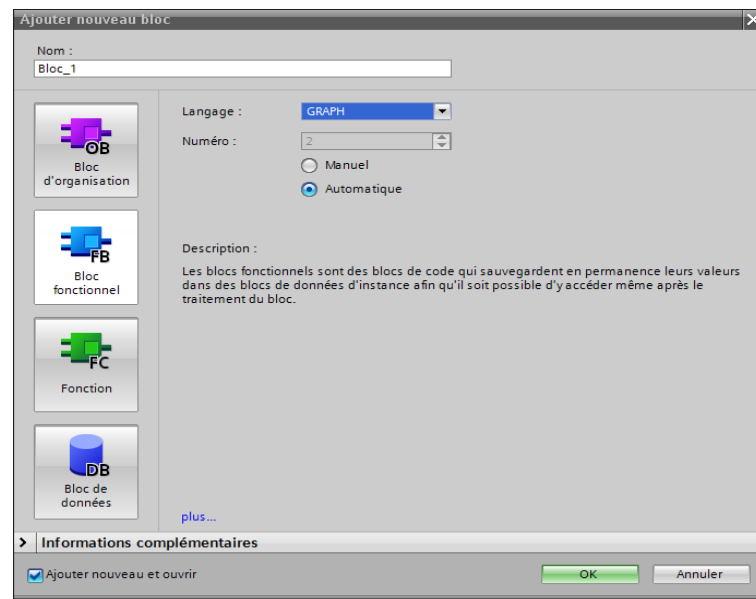


Figure [IV.45]: Fenêtre d'ajout de nouveau bloc.

✓ Les blocs d'organisation (OB)

Les OB sont appelés par le système d'exploitation. On distingue plusieurs types

- Ceux qui gèrent le traitement de programmes cycliques,
- Ceux qui sont déclenchés par un événement,
- Ceux qui gèrent le comportement à la mise en route de l'automate programmable
- Et enfin, ceux qui traitent les erreurs.

Le bloc OB1 est généré automatiquement lors de la création d'un projet. C'est le programme cyclique appelé par le système d'exploitation.

✓ Les blocs fonctionnels (FB)

Le FB est un sous-programme écrit par l'utilisateur et exécuté par des blocs de code. Il est associé à un bloc de données d'instance qui contient ses paramètres et sa mémoire.

Les SFB (Special Function Blocks) sont utilisés pour des fonctions spéciales intégrées dans la CPU.

✓ Les fonctions (FC)

La FC contient des routines pour les fonctions fréquemment utilisées. Elle est sans mémoire et sauvegarde ses variables temporaires dans la pile de données locales. Cependant elle peut accéder des blocs de données globaux pour la sauvegarde de ses données.

Les SFC (Séquentiel Function Charts) sont utilisées pour des fonctions spéciales intégrées dans la CPU S7, elles sont appelées à partir du programme.

✓ Les blocs de données (DB)

Contrairement aux blocs de code qui contiennent des instructions, ces blocs de données (DB) servent uniquement à stocker des informations et des données. Les données utilisateurs stockés dans ces blocs seront utilisées par la suite par d'autres blocs.

a. CREATION DU PROGRAMME DU SYSTEME DE DRAINAGE

Dans cette partie, nous allons représenter les liaisons qui existent entre les blocs qui constituent le programme. Cette architecture est donnée par la figure suivante :

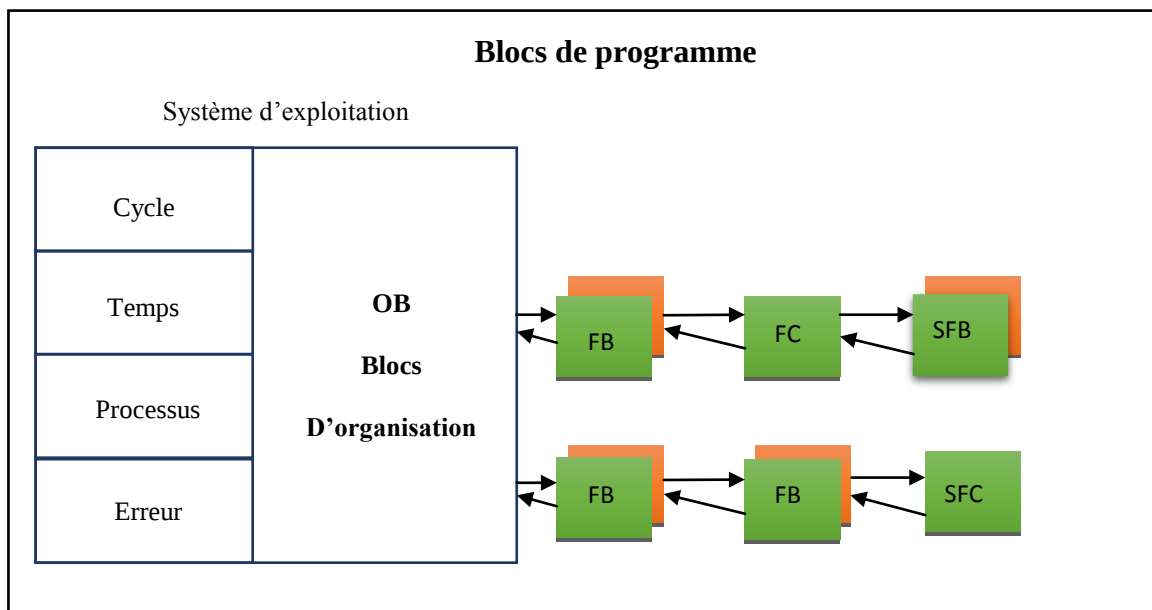


Figure [IV.46]: Les liaisons qui existent entre les blocs. [24]

OB : Bloc d'organisation

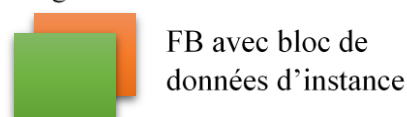
FB : Bloc fonctionnel

FC : Fonction

SFB : Bloc fonctionnel système

SFC : Fonction système

Légende :



b. PROGRAMMATION DES BLOCS

La programmation des blocs se fait du plus profond sous-bloc vers le bloc principal, le langage choisi pour la programmation est le langage (GRAPH), nous allons commencer par programmer les blocs fonctionnels.

Dans la suite, on présente quelques blocs de notre programme pour le filtre de tamis rotatif :

FB : le bloc FB1 est associé à un bloc fonctionnel (function block en anglais). Notons que Les blocs fonctionnels sont des éléments de programmation utilisés dans la programmation d'automates programmables (PLC) avec le langage de programmation graphique S7.

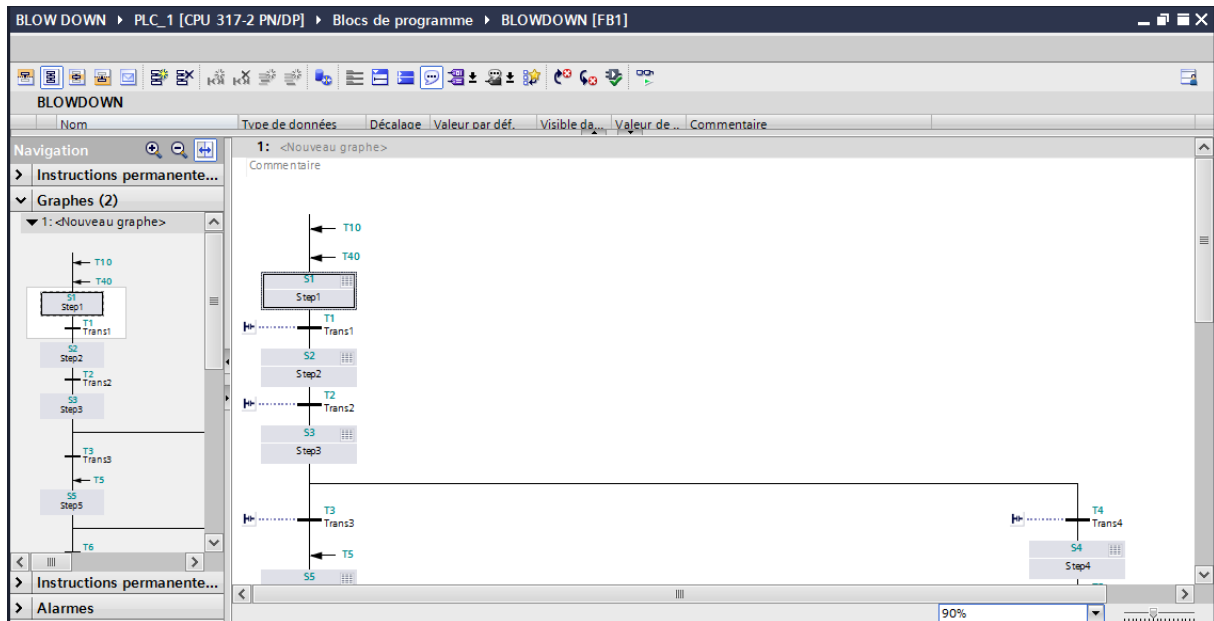


Figure [IV.47]: Vue du bloc FB1

FC : Le bloc FC1 est programmé pour effectuer un traitement des valeurs analogique. La mesure fournie par le capteur est convertie d'un signal électrique en une valeur numérique pour définir les seuils. À cet effet, on utilise la fonction SCALE existante dans la bibliothèque standard. La valeur numérique est enregistrée dans le DB d'instance propre à chaque mesure, et elle est affichée sur le pupitre, voici un aperçu de la vue interne du bloc :

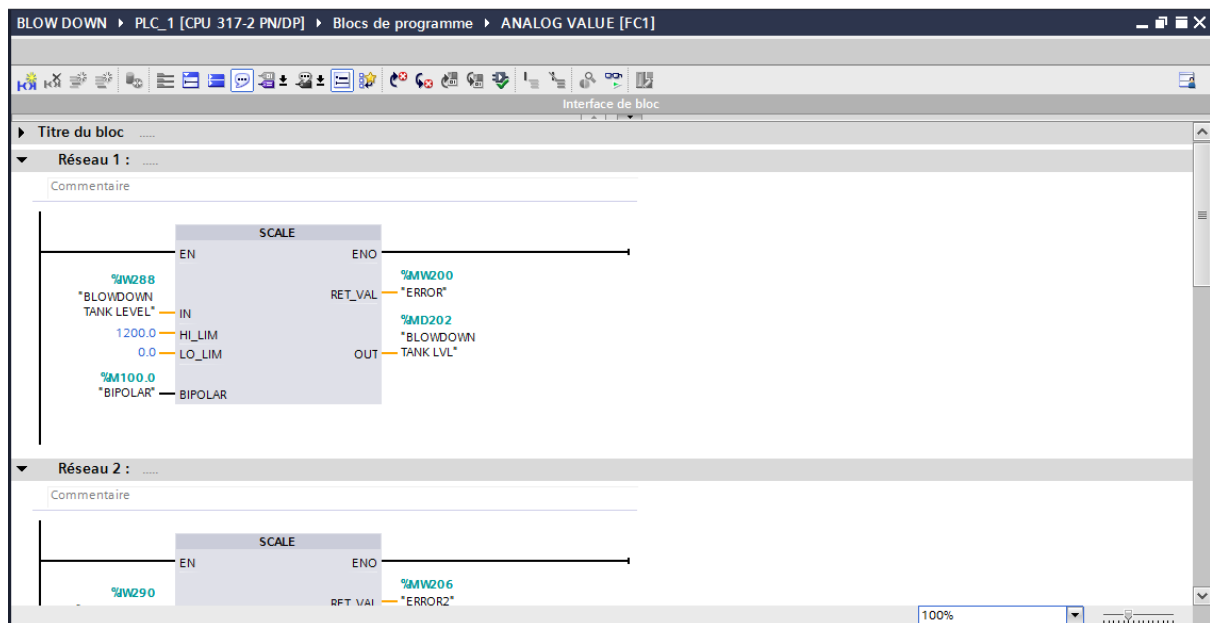


Figure [IV.48]: Vue du bloc FC1 [NIVEAU]

BLOC ALARM : Le bloc ALARM permet de hiérarchiser les alarmes en fonction de leur gravité, d'assigner des priorités et de configurer des actions spécifiques pour chaque niveau d'alarme :

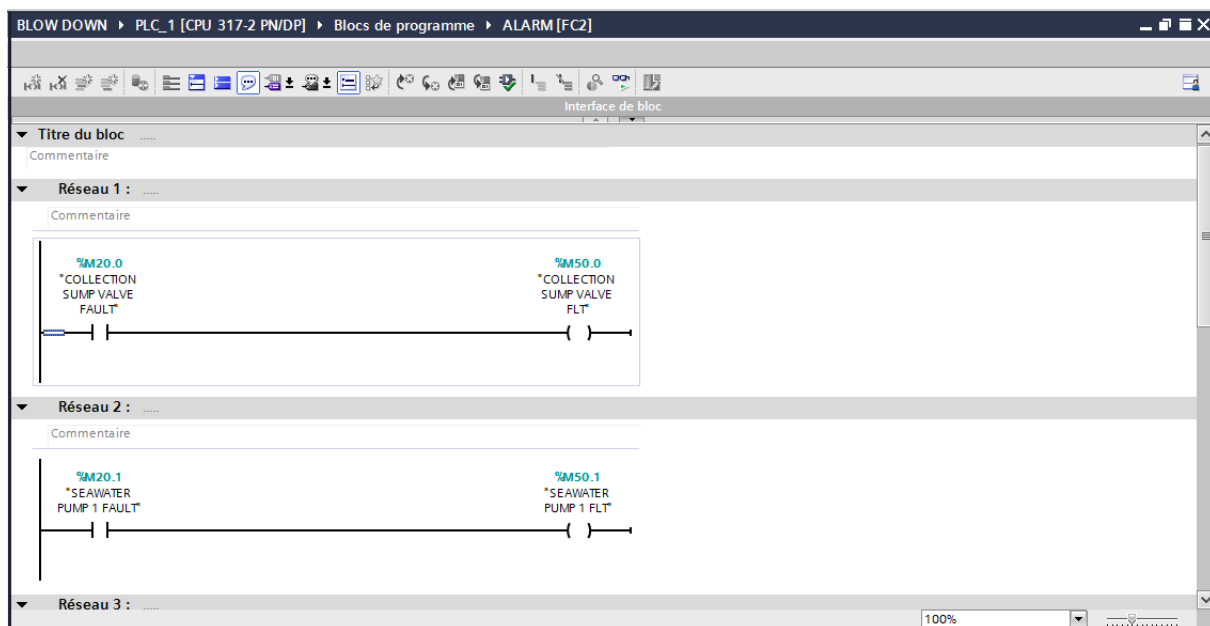


Figure [IV.49]: Vue du bloc FC2 [ALARM]

DB : Le bloc de données (DB) contient les informations échangées, il est programmé en insérant les données dans un tableau. Voici un aperçu :

Nom	Type de données	Délai	Valeur de départ	Rémanence	Visible da...	Valeur de...	Commentaire
Input							
OFF_SQ	Bool	0.0	false	☒	☐	☐	Désactiver le graphe
INIT_SQ	Bool	0.1	false	☒	☐	☐	Mettre le graphe à l'état initial
ACK_EF	Bool	0.2	false	☒	☐	☐	Acquitter toutes les erreurs et perturbations
S_PREV	Bool	0.3	false	☒	☐	☐	Afficher l'étape précédente dans le paramètre S...
S_NEXT	Bool	0.4	false	☒	☐	☐	Afficher l'étape suivante dans le paramètre S...
SW_AUTO	Bool	0.5	false	☒	☐	☐	Mode automatique
SW_TAP	Bool	0.6	false	☒	☐	☐	Mode semi-automatique/Activation de l'étape...
SW_TOP	Bool	0.7	false	☒	☐	☐	Mode semi-automatique/ignorer la transition
SW_MAN	Bool	1.0	false	☒	☐	☐	Mode manuel
S_SEL	Int	2.0	0	☒	☐	☐	Sélectionner l'étape à afficher dans S_NO
S_ON	Bool	4.0	false	☒	☐	☐	Activer l'étape figurant dans le paramètre S_NC
S_OFF	Bool	4.1	false	☒	☐	☐	Désactiver l'étape figurant dans le paramètre S...
T_PUSH	Bool	4.2	false	☒	☐	☐	Validation de commutation pour transition en...
Output							
S_NO	Int	6.0	0	☒	☐	☐	Numéro d'étape
S_MORE	Bool	8.0	false	☒	☐	☐	Il existe d'autres étapes qui peuvent être affich...
S_ACTIVE	Bool	8.1	false	☒	☐	☐	L'étape affichée dans le paramètre S_NO est a...
ERR_FLT	Bool	8.2	false	☒	☐	☐	Erreur groupée Interlock or Supervision
AUTO_ON	Bool	8.3	false	☒	☐	☐	Mode automatique activé
TAP_ON	Bool	8.4	false	☒	☐	☐	Mode semi-automatique/l'étape avec transition
TOP_ON	Bool	8.5	false	☒	☐	☐	Mode semi-automatique/ignorer la transition...
MAN_ON	Bool	8.6	false	☒	☐	☐	Mode manuel activé
InOut							

Figure [IV.50]: Bloc de données DB2

OB : OB1 regroupe les instructions que le programme va exécuter d'une manière cyclique, il fait appel à toutes les fonctions :

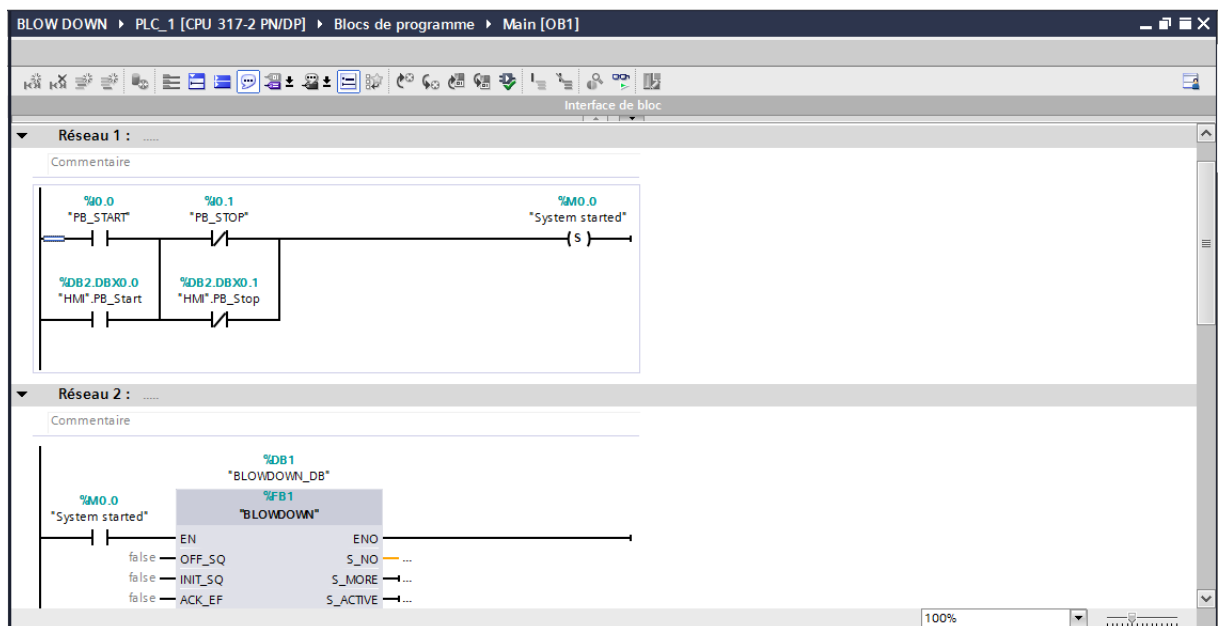


Figure [IV.17]: Vue du bloc FC2 [MAIN]

IV. 4- SUPERVISION DE SYSTEME DE DRAINAGE (BLOW DOWN) EN UTILISENT LE TIA PORTAL

IV. 4.1- Définition de la supervision industrielle

La supervision industrielle permet de suivre en temps réel une installation ou une machine industrielle. Elle offre un affichage dynamique du processus, incluant les alarmes, défauts et événements survenant pendant l'exploitation de la machine. De nos jours, de nouveaux procédés de supervision émergent, basés sur des architectures de systèmes distribués, permettant la surveillance ou le monitoring à distance.

Les logiciels de supervision intègrent souvent des systèmes d'historique des données et des événements, permettant par exemple leur exportation sous format Excel ou CSV. Cette fonctionnalité aide l'agent de production à optimiser la production en déterminant les besoins en matières premières et en planifiant les opérations de maintenance. La supervision est donc pratiquement indispensable sur des installations automatisées complexes. Les systèmes de supervision peuvent également inclure des systèmes d'alertes, permettant d'envoyer un SMS ou d'avertir l'opérateur en cas de problème sur la chaîne de production. [27]

IV. 4.2- Constitution d'un système de supervision

La plupart des systèmes de supervision se composent d'un moteur central (logiciel), auxquels rattachent des données provenant des équipements (automates). Le logiciel de supervision assure l'affichage, le traitement des données, l'archivage et la communication avec d'autres périphériques.

Le système de supervision se compose de plusieurs modules qui jouent des rôles spécifiques :

- **LE MODULE DE VISUALISATION** fournit aux opérateurs des informations en temps réel sur le processus grâce à une multitude de données.
- **LE MODULE D'ARCHIVAGE** stocke des données, telles que les alarmes et les événements, sur une longue période. Il permet ensuite l'exploitation de ces données pour des applications de maintenance ou de gestion de production.
- **LE MODULE DE TRAITEMENT** formate les données de manière à les présenter aux opérateurs via le module de visualisation, en utilisant une présentation prédéfinie.
- **LE MODULE DE COMMUNICATION** assure l'acquisition et le transfert des données, ainsi que la gestion de la communication avec les automates.

Ensemble, ces modules permettent d'obtenir, traiter, archiver et communiquer les données du système de supervision pour une surveillance et un contrôle efficaces du processus.

IV. 4.3- présentation d'une supervision wincc dans logiciel tia portal

WinCC (TIA Portal) est un logiciel d'ingénierie utilisé pour la configuration des pupitres SIMATIC, des PC industriels SIMATIC et des PC standard via le logiciel de visualisation. Le SIMATIC WinCC dans le TIA Portal fait partie d'un concept d'ingénierie intégré offrant un environnement homogène pour la programmation et la configuration des solutions de commande, de visualisation et d'entraînement.

Ce logiciel couvre toutes les applications IHM, allant des solutions de commande simples avec des Basic Panels aux applications SCADA pour les systèmes multipostes basés sur PC... [28]

Les étapes du déroulement de la supervision sous **WinCC** sont résumées dans la figure suivante :

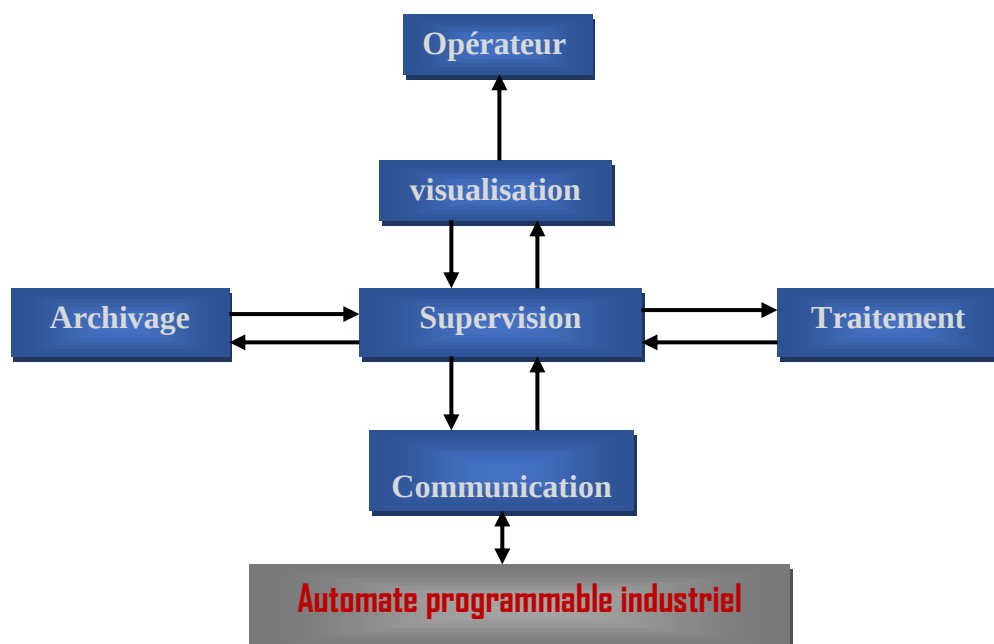


Figure [IV.18] : Déroulement de la supervision

IV. 4.3.1- Avantage de WINCC

Le programme SIMATIC WinCC permet :

- Améliorer la productivité en augmentant l'efficacité de la configuration lors de la création de projets IHM.
- Réaliser des concepts d'IHM et d'automatisation innovants dans le cadre de réseaux TCP/IP et du web.
- Accroître la disponibilité des machines et installations grâce à de nouveaux concepts de maintenance.
- Accéder facilement et en toute sécurité aux données de processus depuis n'importe quel endroit du globe.
- Assurer une réduction des coûts de formation, de maintenance et d'entretien grâce à la cohérence du logiciel de configuration, garantissant également l'évolutivité du produit.
- Minimiser les coûts d'ingénierie grâce au TIA (Totally Integrated Automation).
- Utiliser des outils intelligents pour une configuration simple et efficace.
- Prendre en charge des configurations multilingues pour une mise en œuvre globale.
- Optimiser le rapport performances/prix grâce à des fonctionnalités système personnalisables.
- Offrir une fonctionnalité de runtime flexible grâce à des scripts Visual Basic.
- Améliorer la disponibilité avec des concepts de maintenance innovants tels que la commande à distance, le diagnostic, l'administration via intranet/internet et la communication par courrier électronique.
- Soutenir des solutions d'automatisation distribuées simples basées sur des réseaux TCP/IP au niveau machine. [31]

La figure ci-dessous présente la vue du WinCC dans TIA portal :

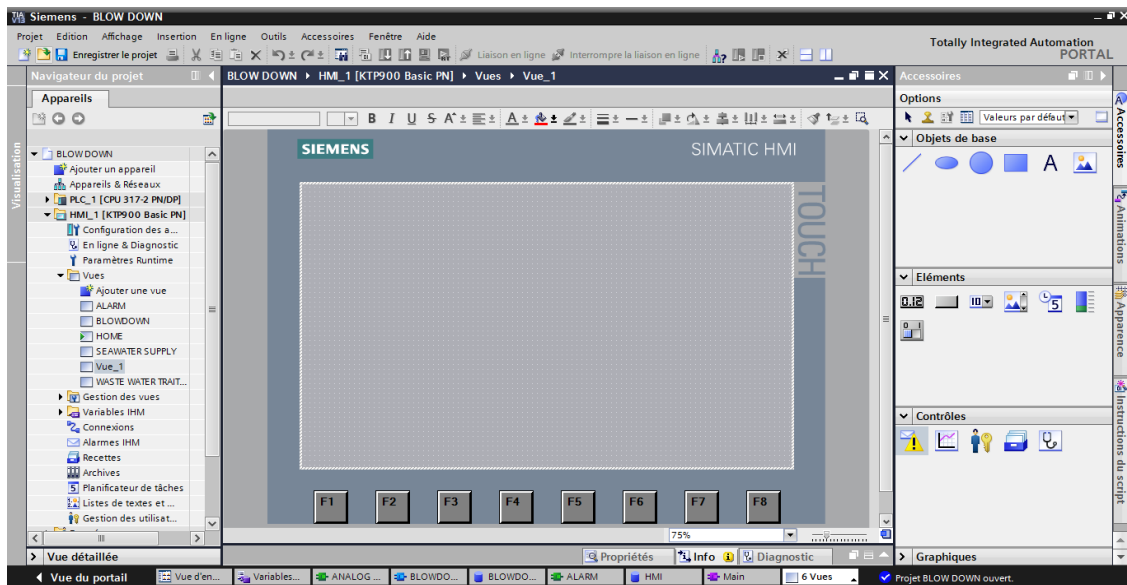


Figure [IV.19]: Vue du WinCC dans TIA portal

IV. 4.3.2- Application disponible sous WINCC

WinCC propose plusieurs applications pour la supervision :

- **GRAPHIC DESIGNER** : Permet de créer des vues de processus en configurant les variables correspondantes à l'aide d'une bibliothèque d'objets. Assure la fonction de visualisation grâce à graphics runtime.
- **TAG LOGGING** : Permet de définir les archives, les valeurs de processus à archiver et les temps de cycle d'enregistrement.
- **ALARM LOGGING** : Gère l'acquisition et l'archivage des alarmes, en offrant les fonctions nécessaires pour le traitement, la visualisation, l'acquiescement et l'archivage des alarmes provenant du processus.
- **GLOBAL SCRIPT RUNTIME** : Comprend des éditeurs pour le langage C et visuel basic (VBS), permettant de créer des actions et des fonctions personnalisées qui ne sont pas prévues dans WinCC Flexible.
- **REPORT DESIGNER** : Permet de créer des rapports d'impression en utilisant des informations spécifiques et des modèles de mise en page personnalisables.
- **USER ADMINISTRATOR** : Gère les utilisateurs et les autorisations. Permet de créer de nouveaux utilisateurs, de leur attribuer des mots de passe et de leur assigner des autorisations spécifiques.

En utilisant ces différentes applications, WinCC Flexible offre une gamme complète de fonctionnalités pour la supervision et la gestion des processus industriels.

IV. 4.4- Développement d'un système de supervision sous WINCC

Le programme de supervision que nous avons développé a été élaboré avec le logiciel WinCC, développé par SIEMENS.

IV. 4.4.1- Etape de mise en œuvre d'un système de supervision

Pour créer une interface Homme/Machine, il est essentiel de bien connaître les éléments de l'installation ainsi que le logiciel de programmation de l'automate utilisé. Nous avons créé l'interface de supervision à l'aide de TIA PORTAL V13, le dernier logiciel développé par Siemens, qui est le mieux adapté au matériel utilisé. Les principales étapes suivies pour créer notre application sous WinCC sont les suivantes :

- Créer un projet.
- Sélectionner et installer l'API.
- Définir les variables dans l'éditeur de variables.
- Créer et éditer les vues (vue d'accueil, vue de tous les ouvrages) dans l'éditeur graphics designer.
- Paramétrer les propriétés de WinCC Runtime.
- Activer les vues dans le WinCC Runtime.
- Utiliser le simulateur pour tester les vues du processus.

IV. 4.4.2- Etablir une liaison directe

La première chose à effectuer est de créer une liaison directe entre TIA PORTAL V13 et le S7-300, et ce dans le but que le TIA PORTAL V13 puisse lire les données qui se trouvent dans la mémoire de l'automate. Afin de créer la liaison, on sélectionne notre PLC, on clique dessus avec le bouton droit et on choisit « en ligne et diagnostique ». La configuration des appareils font que la liaison soit du mode MPI et ce à travers la carte PLCSIM. Voici l'aperçu de la vue de la liaison directe:

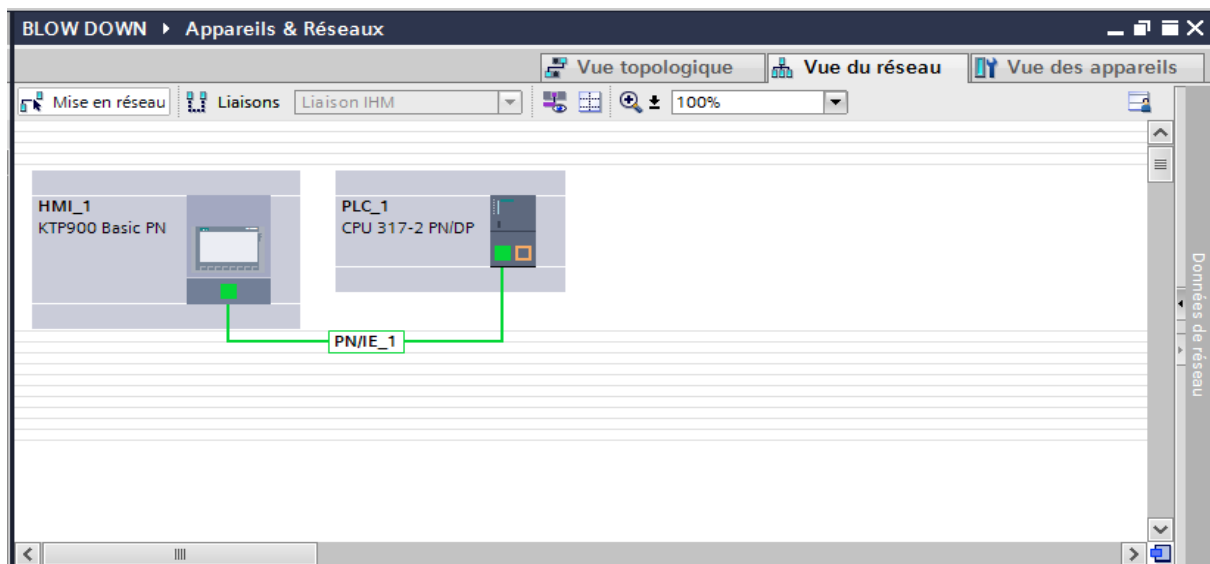


Figure [IV.20]: Liaison entre la PLC et IHM.

IV. 4.4.3- CREATION DE LA TABLE DES VARIABLES IHM

Maintenant que la liaison entre le projet TIA PORTAL et l'automate S7-300 est établie, il est possible d'accéder à toutes les zones mémoire de l'automate, telles que les mémoires d'entrée/sortie, les mémoires intermédiaires et les blocs de données. Les variables permettent de communiquer et d'échanger des données entre l'IHM et les machines. Une table de correspondance des variables IHM est créée à travers l'onglet Variable.

Chaque ligne de cette table correspond à une variable de l'IHM, spécifiée par : nom, type de données, table de variables, connexion, nom de l'API, adresse, et mode d'accès. L'éditeur Variables affiche toutes les variables du projet. Comme présenté dans la figure ci-dessous :

Nom	Table des variables	Type de données	Connexion	Nom API
ALARM(1)	Table de variables standard	Int	HMI_Liaison...	PLC_1
Bloc de données_1_AUTOMATIC	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1
Bloc de données_1_collection ...	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1
Bloc de données_1_collection ...	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1
Bloc de données_1_PB_Start	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1
Bloc de données_1_PB_Stop	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1
Bloc de données_1_seawater p...	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1
Bloc de données_1_seawater p...	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1
Bloc de données_1_transfer pu...	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1
Bloc de données_1_transfer pu...	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1
Bloc de données_1_WWT valve ...	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1
Bloc de données_1_WWT valve ...	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1
BLOWDOWN TANK LVL	Table de variables standard	Real	HMI_Liaison_1	PLC_1
BP DRUM VALVE	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1
COLLECTION SUMP HIGH TEMP...	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1
COLLECTION SUMP TEMP	Table de variables standard	Real	HMI_Liaison_1	PLC_1
COLLECTION SUMP VALVE	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1
COLLECTION SUMP VALVE FAULT	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1
HMI_SEAWATER PUMPS REPAIR	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1
HMI_TRANSFER PUMPS REPAIR	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1
HP DRUM VALVE	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1
IP DRUM VALVE	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1

Figure [IV.21]: Table des variables HMI

IV. 4.5- Présentation de contrôle de supervision du système BLOW DOWN

L'interface TIA PORTAL V13 permet de créer des vues dans le but de contrôler et de commander l'installation. Lors de la création des vues, on dispose d'objets prédéfinis permettant d'afficher des procédures et de définir des valeurs de procès.

Nous avons programmé quatre vues de supervisions qui permettent à l'opérateur d'avoir toutes les informations nécessaires sur notre système de drainage (BLOW DOWN) :

Pour ce faire nous avons créé la vue d'accueil " figure [V-22] ", qui contient le bouton d'entrer, ce bouton nous permettra d'afficher la vue initiale, à partir de quels on peut sélectionner la vue à visualiser notamment :

- BLOW DOWN " figure [IV.23] ".
- SEAWATER SUPPLY " figure [IV.24] ".
- WASTE WATER TRAITEMENT " figure [IV.25] "
- VUE D'ALARME " figure [IV.26] "

❖ VUE « D'ACCUEIL »

A travers cette vue " Figure [Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document..51] ", nous avons représenté l'entrée de la vue générale de notre système de drainage en commençant par les cellules {«BLOW DOWN», «SEAWATER SUPPLY», «WASTE WATER TRAITEMENT»}, le bouton «START», le bouton «STOP» (bouton d'arrêt d'urgence), "AUTO" et "ALARM" :



Figure [IV.22]: Vue d'accueil

❖ VUE « BLOW DOWN »

Cette vue représente le processus d'évacuer les impuretés et les dépôts accumulés dans l'eau de la chaudière, elle est constituée principalement de : ce qui représenté dans la figure suivante :

- Trois vannes interceptions de purge intermittentes et continues motorisées.
- Réservoir de purge pour purges intermittentes
- Capteur de niveau
- Une vanne de transfert du réservoir de purge au bassin du collecteur.
- Un système de contrôle affiché par deux boutons " open" et "manual"

- Vanne de régulation de purge intermittente d'eau de refroidissement
- Bassin collecteur pour purger les drains du réservoir.
- Capteur de température
- Deux Dispositif d'alarm un sur la vanne de collection et l'autre sur le capteur de température
- blocs de navigation vers les autres vues

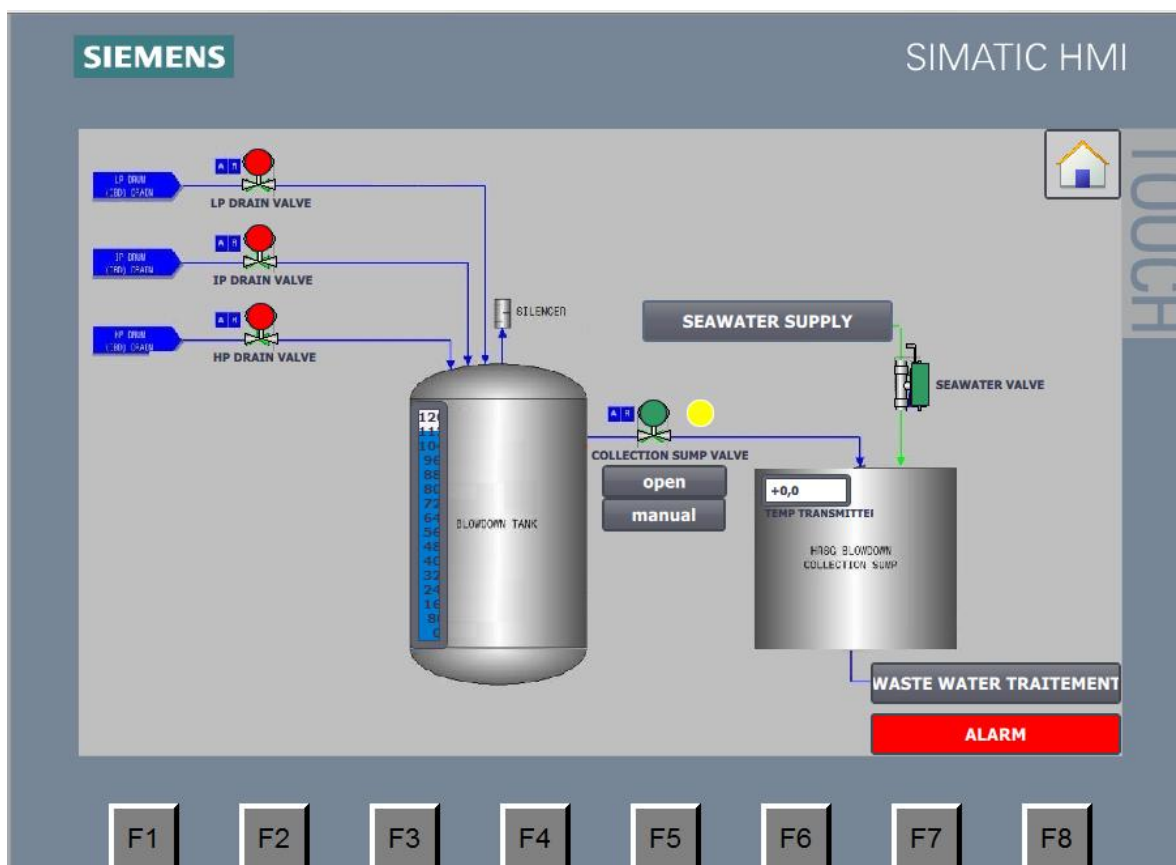


Figure [IV.23]: Vue BLOW DOWN

❖ VUE « SEAWATER SUPPLY »

La vue ci-dessous partage la fonctionnalité des pompes de refroidissement de la température de l'eau de collecteur donc elle contient :

- Deux pompes de refroidissement (pompe 1 et 2)
- Deux dispositifs d'alarm appartiennent au deux pompes
- Deux boutons de start
- Bouton de repaire si les deux vannes ne fonctionnes pas
- Ainsi que deux blocs de navigation vers les vues de BLOW DOWN et L'ALARM

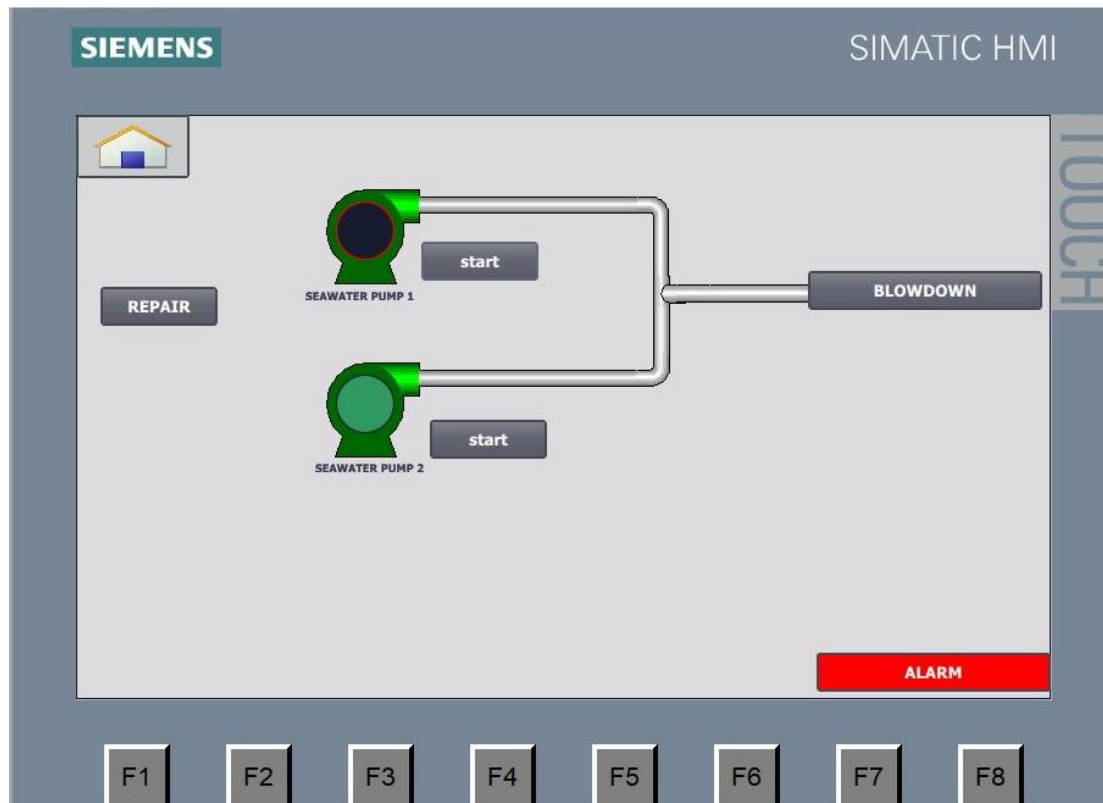


Figure [IV.24]: Vue SEAWATER SUPPLY

❖ VUE « WASTE WATER TRAITEMENT »

La vue ci-dessous représente le fondement du processus de purification ou de drainage, qui vient à la fin du système de Blow down.

Donc la vue montre les étapes suivies par le système pour compléter le processus de vidange, qui repose principalement sur la mesure du PH de l'eau présente dans le bassin collecteur. En fonction du taux de PH mesuré dans l'eau prélevée du bassin par les pompes, l'eau est dirigée vers l'un des deux canaux :

- Si le PH de l'eau est modéré, elle est directement rejetée dans la mer.
- En revanche, si le PH est trop élevé, risquant de polluer la mer, il est nécessaire de purifier et d'ajuster l'eau en y ajoutant certains composés chimiques.

Pour accomplir cela, les éléments suivants sont requis :

- deux pompes de transfert avec deux boutons de start
- capteur de PH
- deux vannes motorisées utilisées pour transporter l'eau vers la mer où à la station de traitement

- trois dispositifs d'alarme, deux relie avec les pompes de transfert 1et 2 et le troisième spéciale pour le capteur de PH
- bouton de repaire si les deux pompes de transfert ou les vannes ne fonctionnes pas
- deux bloc de navigation vers les vues de Blow down et l'alarm

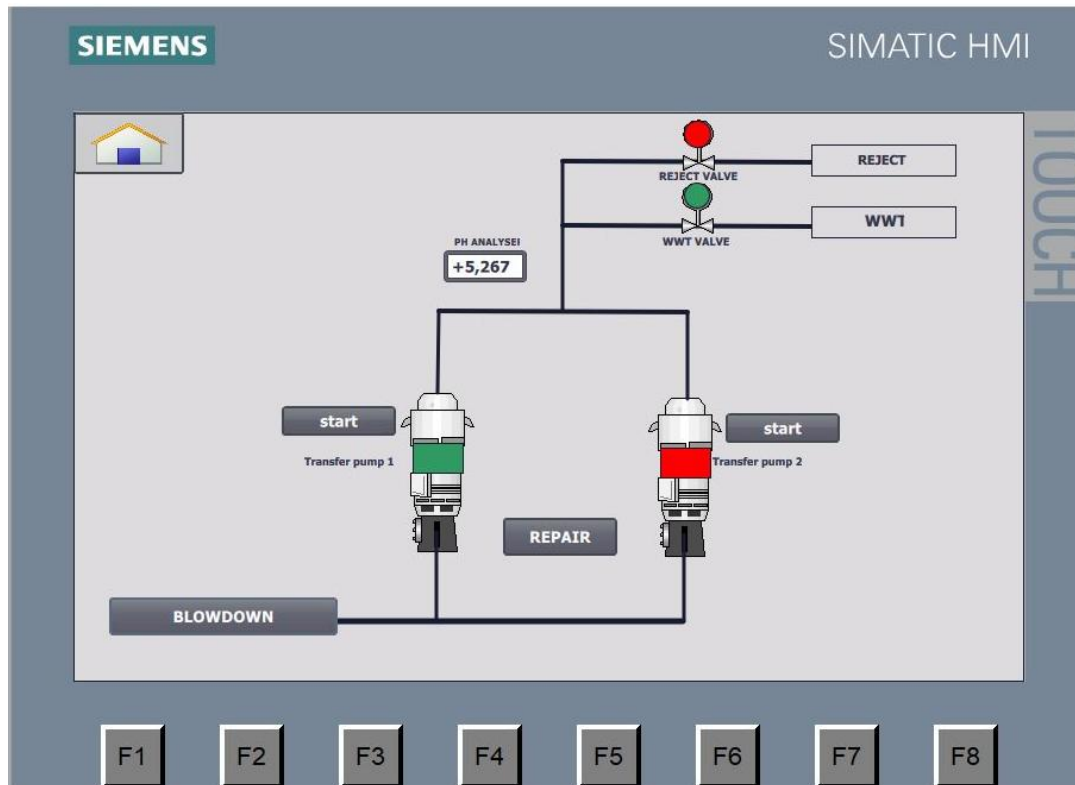


Figure [IV.25]: Vue WASTE WATER TRAITEMENT

❖ VUE D'ALARME

La figure ci-dessous illustre les principales alarmes qui représentent les pannes que notre installation peut rencontrer pendant le processus de vidange:

BLOW DOWN ▸ HMI_1 [KTP900 Basic PN] ▸ Alarmes IHM

Alarmes de bit Alarmes analogiques Classes d'alarmes Groupes d'alarmes

Alarmes de bit

ID	Texte d'alarme	Classe d'alar...	Variable de d...	Bit de ...	Adresse de dé...	Variable d'acq...	Bit d'a
1	"COLLECTION SUMP VALVE FLT"	Errors	ALARM(1)	8	%M50.0	<aucune v...	0
2	"SEAWATER PUMP 1 FLT"	Errors	ALARM(1)	9	%M50.1	<aucune vari...	0
3	"SEAWATER PUMP 2 FLT"	Errors	ALARM(1)	10	%M50.2	<aucune vari...	0
4	"TANSFERT PUMP 1 FLT"	Errors	ALARM(1)	11	%M50.3	<aucune vari...	0
5	"TANSFERT PUMP 2 FLT"	Errors	ALARM(1)	12	%M50.4	<aucune vari...	0
6	"PH is not OK"	Errors	ALARM(1)	14	%M50.6	<aucune vari...	0
7	"COLLECTION SUMP HIGH TEMPRATUR	Errors	ALARM(1)	15	%M50.7	<aucune vari...	0
<ajouter>							

Tâches

Bibliothèques

Figure [IV.26]: Vue d'alarme

IV. 4.6- L'état des vannes et pompes

IV. 4.6.1- Les pompes

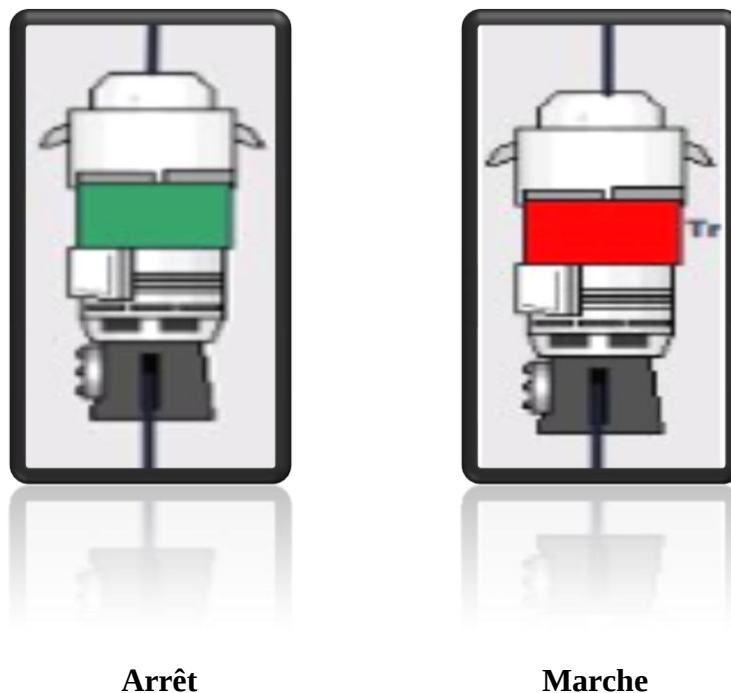
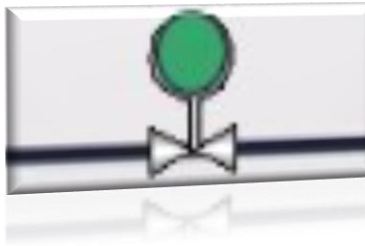
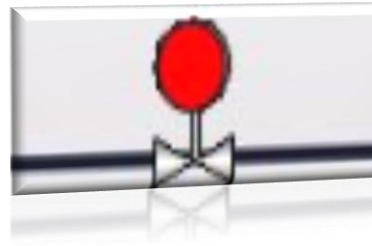


Figure [IV.27] : l'état d'arrêt et marche de la pompe

IV. 4.6.2- Les vannes



La vanne fermée



La vanne ouverte

Figure [IV.28] : l'état d'arrêt et marche de la vanne

VI. 5- CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté une vue d'ensemble de l'automate programmable industriel que nous avons adopté pour la commande de notre station qui est le SIMATIC ainsi que son logiciel de programmation SIMATIC TIA PORTAL.

Dans ce dernier chapitre consacré à la supervision HMI de la station de pompage d'eau de mer de Cap-d'Or, nous avons décrit la supervision en précisant sa place dans l'industrie. Nous avons élaboré sous le logiciel WinCC dans le TIA Portal, les vues qui permettent de suivre l'évolution du procédé en temps réel et du niveau d'eau, en sus de la vue d'accueil et les principales vues qui le composent.



CONCLUSION

Générale



*** CONCLUSION GENERALE ***

Après une étude approfondie, nous avons conclu que la réussite de tout projet d'automatisation repose sur deux éléments essentiels : une analyse détaillée du processus à contrôler et une sélection judicieuse de l'automate à utiliser.

Dans notre travail, nous avons d'abord étudié le fonctionnement de la centrale électrique de CAP DJINET, en nous concentrant particulièrement sur le système de drainage des ballons de chaudière {BLOW DOWN} que nous avons modélisée avec soin à l'aide de l'outil GRAFCET. Cette modélisation nous a permis de comprendre en détail les différentes étapes et actions nécessaires pour automatiser efficacement ce système.

Ensuite, nous avons présenté les automates programmables industriels (API) de manière générale, avant de nous concentrer sur l'automate S7-300. En nous basant sur les caractéristiques de cet automate, nous avons développé un programme avec le logiciel TIA Portal pour automatiser le système blow down. Nous avons ensuite effectué des simulations pour valider l'efficacité de notre solution et identifier d'éventuelles erreurs ou ajustements nécessaires.

Pour compléter notre projet, nous avons créé une interface de supervision (HMI) conviviale en utilisant le logiciel WinCC. Cette interface permet un contrôle en temps réel du système de drainage (blow down) , offrant aux opérateurs une visualisation claire des paramètres et des états du système.

En conclusion, nous espérons que notre travail servira de référence pour les futures promotions d'étudiants en automatisation ainsi que pour tous les passionnés d'automates programmables industriels et d'automatisation des procédés industriels. Nous sommes convaincus que notre étude, avec les solutions efficaces proposées, aura un impact significatif sur l'avancement de ce domaine.

Nous restons disponibles pour répondre à toute question supplémentaire et nous sommes impatients de voir les futures applications et développements inspirés par notre travail.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

[1]: Manuel de formation de la centrale thermique de CAP-DJINET

[2] : documentation interne de la centrale CAP-DJINET.

[3] : Documentation technique des constructeurs de la centrale (siemens Autriche, siemens KWU Allemagne. SGP Autriche)

[4] : KWU : Service de formation professionnelle, fichier de la centrale thermique de Cap DJINET/ Numéro d'enregistrement 5525.

[5] : K.RICHE. Dessalement de l'eau de mer dans la centrale thermique de CAP-DJINET thèse d'ingénieur. UMMTO 2002

[6]: Technique de contrôle commande ISMAIC B et E, par: KWU, service de formation professionnelle NO. D'enregistrement 5551. Année 1984.

[7]. I. Boukhercha, K. Kouribeché « Etude énergétique et économique de la centrale thermique de ras-Djinet », Mémoire de master en génie mécanique, option : énergétique et moteurs, USTHB ,2014.

[8] : Documentations de la société sur « Gaz Turbine ».

[9] : D. Chabouni, S. Ghanine « Etude de la centrale électrique de Cap-Djinet », Mémoire de licence professionnelle en génie électrique, option : électrotechnique, UMMTO, 2012.

[10] : documentation de la centrale Major Mechanical Components_ power point _ Le 23-05-2018.

[11]:OUARIACHIK «Etude des phénomènes vibratoires d'une turbine du groupe turbine alternateur de la centrale CAP-DJINET » Thèse Ingénieur d'état en ETH Boumerdes juin 2007

- [12]: Nadja, O., & Dalila, A. (2009). Conception d'une solution de commande programmable de la bache alimentaire de la centrale thermique de Cap Djinet (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri)
- [13]: Fekri, A. (1991). Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrogéochimique de la zone synclinale d'Essaouira (Bassin synclinal d'Essaouira).
- [14]: Maréchal, A., Aumond, M., & Ruban, G. (2001). Mise en oeuvre de la turbidimétrie pour évaluer la pollution des eaux résiduaires. *La Houille Blanche*, 87(5), 81-86
- [15]: Roux, C., & Viola, A. (2001). Analyse statistique des écarts à l'étalonnage des capteurs de niveau piézométriques. *La Houille Blanche*, 87(5), 75-80
- [16]: Fresiers, D., & Bourgoigne, P. (1994). 12.-Passage Galin: une inondation contrôlée. *Journées de l'hydraulique*, 23(2), 459-463
- [17]: Jackadit.com, 2008 – 2020, <http://jackadit.com/index.php?p=sysprod2>
- [18]: Mr DJATIT Farouk, Mr AMRANI Mustapha, Commande et supervision de la pompe d'extraction de la centrale thermique de Ras-Djinet par un API S7 300, Juin 2017, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES
- [19]: Hamid SEDIKI, Walid ZAIDI, Développement d'une solution à logique programmée pour le contrôle et la sécurisation des brûleurs, Mémoire réalisé à la Centrale Thermique de Cap Djinet, Le 12 / 07 / 2016, Université Mouloud MAMMERI De Tizi-Ouzou.
- [20]: Industrielle, Abdellah KHATORY Professeur Automatisme/Informatique, [est-usmba.ac.ma/](http://www.estusmba.ac.ma/), CHAPITRE I : GRAFCET, http://www.estusmba.ac.ma/GRAFCET/co/module_cours_grafcet_45.html
- [21]: Grafcet Designer, grafcetview.com, 2018 – 2021, <http://www.grafcetview.com/fr/le-grafcet-cote/regles-d-evolution>
- [22]: Adel, MR : Bouchahed, Cours d'automatisme Institut des sciences et techniques appliquées-UFM-Constantine-1, Institut des sciences et techniques appliquées-UFM-Constantine-1

[23] : institut-numerique.org, www.institut-numerique.org, 2011, <https://www.institut-numerique.org/iii42-definition-de-lapi-4e1b375ea3342>

[24] : YAZID, FAHEM NASSIM ET HAMMAR , Etude de l'automatisation par automate programmable S7-300 de la machine à garnir les encoches De l'ENEL , Promotion : 2008, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

[25] : Prévéraud, Yves Granjon et François, Automates programmables industriels - 2ème édition, 2016, Dunod.

[26]: Siemens AG, SIMATIC S7-300 Automation System, System Manual

[27]: Arnould, Neva, SlidePlayer.fr Inc, <https://slideplayer.fr/slide/1173711/>

[28]: MEHDI Ahcene, TAIBI Kenza, Automatisation et supervision de l'unité de traitement des eaux par osmose inverse du complexe CEVITAL via le logiciel TIA Portal V13 de SIEMENS, Promotion 2015, UNIVERSITE DE UNIVERSITE DE BEJAIA

[29] : HAMMOUMI, EL, SE-S2-M7.1- Cours Automatisme et API Ch5-CRS-, école supérieur de technologie université sidi mohamed ben abdellah de fas.

[30]: univ-reims.fr, 2020, <https://www.univ-reims.fr/meserp/descriptif-des-logiciels/descriptif-des-logiciels>