

الجمهورية الديمقراطية الشعبية الجزائرية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur

et de la Recherche Scientifique

Ecole Supérieure des Sciences Appliquées

d'Alger

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية بالجزائر



Département du second cycle

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

Filière : **Electrotechnique**

Spécialité : **Traction électrique**

Thème :

**Etude et dimensionnement d'une installation de
dessalement de l'eau de mer**

Présenté par : MAMMAR CHAOUCH

Meriem

Et par : MERIOULI Roumaïssa

Encadré (e) par : Dr.A.BENACHOUR

Co-encadré(e) par : M. AKLIL

Soutenu publiquement, le :24/06/2023,

Devant le Jury composé de :

Dr.M. AISSIOU..... . Président

Dr.A. DEBOUCHA Examineur

Dr.A.BENACHOUR..... ..Encadreur

M.AKLIL..... ..Co-Encadreur

Binôme N° : 13/PFE. /TR/2023

Remerciements

Nous exprimons tout d'abord notre gratitude à ALLAH , qui nous a guidés et nous a accordé la force, la volonté et la patience pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance envers notre promoteur, le **Dr. A. BENACHOUR**, pour sa disponibilité et sa contribution précieuse. Ses orientations, conseils et remarques ont été d'une grande valeur, et nous lui témoignons ici notre profonde reconnaissance pour le temps qu'il nous a accordé. Nos chaleureux remerciements vont également à **M. M. AKLIL** pour son assistance, ses éclaircissements et son aide inestimable, ainsi que pour ses encouragements tout au long de notre travail.

Nous souhaitons exprimer nos sincères remerciements à :

- **Le Dr. M. AISSIOU**, qui a présidé notre jury de soutenance.
- **Le Dr. A. DEBOUCHA**, qui a accepté d'être examinateur et qui a consacré son précieux temps à la lecture de ce mémoire.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers tous les enseignants en traction électrique pour leur travail afin de nous transmettre leurs connaissances précieuses tout au long de notre parcours à l'École supérieure en sciences appliquées d'Alger.

Nous adressons une attention particulière à nos familles, qui nous ont apporté un soutien permanent, tant sur le plan financier que sur le plan émotionnel. Nous leur témoignons notre profonde reconnaissance et gratitude.

Nous remercions sincèrement tous nos amis qui nous ont apporté un soutien précieux et une assistance lors des moments difficiles.

Enfin, nous exprimons notre sincère reconnaissance envers toutes les personnes qui, par leur participation ou leurs suggestions, nous ont aidés tout au long de ce projet. Leurs contributions sont très appréciées et nous les remercions sincèrement.

Dédicaces

Je dédie ce travail À celle qui m'a donné la vie, l'amour et le courage, la prunelle de mes yeux, mon ange gardien, qui a sacrifié pour mon bonheur et qui sacrifie encore À celle qui n'a jamais cessé de prier pour ma réussite et que mes souhaits se réalisent, à une femme exceptionnelle : ma maman.

Celui qui m'encourage à chaque pas que je fais, celui qui me soulève après chaque obstacle, et qui croit en moi lorsque j'en doute, mon pilier, mon exemple de vie, mon idole, celui qui a été avec moi tout au long de mes années d'études, qui a souffert avec moi, à un homme formidable : mon papa

A ma petite adorée, qui m'encourage malgré son jeune âge, ma sœur Melissa que j'aime du plus fond de mon cœur

A ma chère grand-mère paternelle et mes chers grands-parents maternels, que je remercie pour les vœux qu'ils n'ont cessé de formuler dans leurs prières. Que Allah leur préserve santé et longue vie.

A la mémoire de mon cher grand père qui sera très fière de moi je ne t'oublierai jamais

A ma chère tante maternelle qui me soutient toujours ainsi que son époux

A mon cher oncle maternel pour ses conseils et sa bienveillance

A mes chères cousines pour leurs disponibilités et leurs amours depuis notre jeune âge mes sœurs de cœur Ikram et Ferial

A mes amies : Amina, Manel qui sont toujours à mes côtés, à mon ami Nadjib malgré la distance il ne cesse de me soutenir et de m'encourager et à Karim pour son soutien inconditionnel qui m'a motivé à donner le meilleur de moi-même.

A mes formidables amis que j'ai connu à l'école avec qui j'ai passé des moments inoubliables spécialement : Nassima, Roumaissa, Selma et Chakib

Meriam

Dédicaces

Je dédie humblement ce modeste travail à mes chers parents, témoignage de ma persévérance et de leur soutien inébranlable. Tout au long de mon parcours, vous avez été présents, me prodiguant amour, encouragement et confiance.

Je souhaite également rendre hommage à mon oncle, mon deuxième père - qu'Allah Yarahmo qui a été à mes côtés tout au long de ce parcours. Sa présence, son soutien et sa force ; ont accompagnée pendant toutes ces années.

à toute ma famille adorable, je vous dédie également ce travail. Leur présence et leur soutien ont été précieux pour moi.

Enfin, Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers mes amis, leur amitié, leur soutien et leurs encouragements ont toujours été une source inestimable d'inspiration et de réconfort pour moi.

Roumaissa

ملخص:

في هذا العمل، تم التركيز على دراسة وهيكلة محطة تحلية مياه البحر الموجودة في المرسي، ضواحي الشرقية للجزائر العاصمة. تم بدايةً إجراء بحث مفصل حول تقنيات تحلية المياه المتاحة. بعد ذلك، تم التركيز على قدرة المحطة وحساب تيار الأجهزة الكهربائية المختلفة المستخدمة في عملية التحلية. تم استخدام برامج محددة لتقدير القيم المناسبة لأجهزة الحماية المطلوبة لضمان سلامة واستقرار التشغيل، أما بالنسبة لجهاز تغيير السرعة، فتم برمجته وتكوينه للتحكم في ضغط الماء في المحطة. يتيح هذا التحكم ضبط سرعة المضخات ومعدل تدفق الماء بما يتناسب مع الاحتياجات المتغيرة وضمان استدامة وكفاءة أعلى في عملية التحلية. أخيراً، تم إجراء دراسة حول إنتاج الطاقة الكهربائية باستخدام الألواح الشمسية. تم تحليل إمكانية دمج نظام الطاقة الشمسية في المحطة لتوفير جزء من الاحتياجات الكهربائية اللازمة لعملية التحلية. تمت دراسة الجوانب التقنية والاقتصادية لتنفيذ هذا النظام البيئي بهدف تحقيق التوازن بين الاستدامة البيئية وتكاليف التشغيل

كلمات مفتاحية: تحلية المياه، أجهزة الحماية الكهربائية، جهاز مغير السرعة

Abstract:

The aim of this project is to conduct an in-depth study and dimensioning of the El Marsa seawater desalination plant, located in the eastern suburbs of Algiers. The study begins with an analysis of the state of the art in seawater desalination. Then, using specialised software and considering the technical parameters specific to the plant, a precise assessment of electrical performance is carried out. This assessment is used to determine the appropriate values for the protection equipment, thus ensuring the safety and stability of the installation. a variable speed drive is configured to control the plant pressure, enabling optimum management of desalinated water production according to demand. At the same time, a study is being carried out into the integration of photovoltaic solar energy to reduce energy costs and promote environmental sustainability.

Keywords: water desalination, electrical protection, variable speed drive

Résumé :

Ce travail se concentre sur l'étude et le dimensionnement d'une station de dessalement d'eau de mer à El Marsa, dans la banlieue Est d'Alger. L'étude commence par une analyse approfondie des techniques de dessalement de l'eau de mer. En utilisant des logiciels spécialisés et en tenant compte des paramètres techniques propres à la station on a déterminé les valeurs appropriées pour les équipements de protection, assurant ainsi la sécurité et la stabilité de l'installation.

un variateur de vitesse est configuré pour contrôler la pression de l'installation, permettant une gestion optimale de la production d'eau dessalée en fonction de la demande. Parallèlement, une étude est menée sur l'intégration de l'énergie solaire photovoltaïque afin de réduire les coûts énergétiques et de favoriser la durabilité environnementale.

Mot clés : dessalement d'eau, les protection électriques, variateur de vitesse.

Table des matières

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.....	17
CHAPITRE I: ÉTAT DE L'ART SUR LES SYSTEMES DE DESSALEMENTS D'EAU DE MER.....	4
I.1 INTRODUCTION	4
I.2 DESSALEMENT DE L'EAU :	4
I.2.1 Importance du dessalement :	5
I.2.2 Techniques de dessalement d'eau :	5
I.3 PROCESSUS DE DESSALEMENT D'EAU DE MER PAR OSMOSE INVERSE :	11
I.4 LES ETAPES DE PROCESSUS DE DESSALEMENT D'EAU DE MER PAR OSMOSE INVERSE	12
I.4.1 Système de pré-traitement.....	12
I.4.2 Système de pompage d'une station de dessalement par RO	12
I.4.3 Système à membrane d'Osmose inverse et récupération d'énergie :	15
I.4.4 Poste traitement :	17
I.5 SCHNEIDER ELECTRIC.....	18
I.5.1 Schneider Electric en Algérie.....	19
I.6 PROJET DE EL MARSА.....	20
I.6.1 Situation géographique :	20
I.6.2 Les éléments constituant la station de dessalement :	20
I.7 CONCLUSION :	29
CHAPITRE II : DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION	31
II.1. INTRODUCTION	31
II.2. SCHEMA UNIFILAIRE	31
II.2.1. Poste de livraison	32
II.3. BILAN DE PUISSANCE	33
II.3.1. Vérification des protections :	44
II.4. VERIFICATION PAR LES LOGICIELS :	46
II.4.1. Logiciel EcoStruxure Power Design :	46
II.4.2. Logiciel Caneco HT	54
II.4.3. Description des sous-stations par caneco HT :	58
II.5. CONCLUSION.....	69
CHAPITRE III : CONFIGURATION DES VARIATEURS DE VITESSE	71
III.1. INTRODUCTION	71
III.2. MOTEUR ASYNCHRONE.....	71
III.2.1. Types de démarrage	72
III.2.2. Le démarrage avec VFD et directement en ligne :	75
III.3. VARIATEURS DE VITESSE :	80
III.3.1. Définition :	80
III.3.2. Constitution :	80
III.3.3. Principe de fonctionnement.....	82
III.3.4. Commande du variateur de vitesse [20].....	83
III.3.5. Problème d'harmonique dans la tension et le courant.....	84
III.4. LES VARIATEURS DE VITESSE SCHNEIDER ALTIVAR PROCESS : [24]	86
III.4.1. Présentation générale des Altivar Process ATV600 :	86
III.4.2. Caractérisation de Altivar Process ATV600	87
III.5. CONFIGURATION DU VARIATEUR DE VITESSE (VFD) :	87
III.5.1. Le logiciel SoMove :	87
III.5.2. Commande du VFD par API.....	96
III.6. CONCLUSION.....	103

CHAPITRE IV: HYBRIDATION DE L'ALIMENTATION AVEC L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE**ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.**

IV.1 INTRODUCTION	105
IV.2 RAYONNEMENT SOLAIRE :	105
IV.3 ENERGIE SOLAIRE	106
IV.1.1 Cellule photovoltaïque	107
IV.1.2 Différents types de générateurs photovoltaïques.....	108
IV.1.3 Regroupement des modules PV :	109
IV.1.4 Types de systèmes photovoltaïques	111
IV.1.5 L'onduleur solaire	112
IV.1.6 Commande MPPT	112
IV.4 ETUDE PAR LE LOGICIEL PVSYS :	112
IV.5 CONCLUSION.....	125
CONCLUSION GENERALE	127
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	130
ANNEXE.....	133
ANNEXE A : SYMBOLES ET SIGNIFICATIONS :	133
IV.6 ANNEXE B : LES LOGICIELS EXPLOITES	135

Liste des figures

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 Schéma distillation à simple effet.....	6
Figure I.2 Distillation à multiples effets.....	7
Figure I.3 Distillation à détente étagées	7
Figure I.4 Schéma de L'électrodialyse.....	8
Figure I.5 schéma d'osmose inverse.....	9
Figure I.6 Schéma des étapes d'osmose inverse.....	9
Figure I.7 Conception générale simplifiée d'une usine de dessalement par RO.....	11
Figure I.8 Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge.	14
Figure I.9 Classification de types de filtration membranaire	16
Figure I.10 Schéma de membrane.....	17
Figure I.11 situation géographique de la station	20
Figure I.12 Réservoir d'eau de mer	21
Figure I.13 Grilles	22
Figure I.14 Schéma de décantation	22
Figure I.15 Filtres à sable.....	23
Figure I.16 Schéma filtres à sable	23
Figure I.17 Cinq racks de membranes.....	24
Figure I.18 Constitution du rack	24
Figure I.19 Pompe à haute pression	25
Figure I.20 Pompe booster	25
Figure I.21 Système de récupération d'énergie.....	26
Figure I.22 Schéma d'osmose inverse	27
Figure I.23 Schéma d'osmose inverse.....	27
Figure I.24 Schéma de la reminéralisation.....	28
Figure.II.1 poste de livraison.....	32
Figure II.2 Schéma unifilaire de la sous-station 3.2.....	36
Figure II.3 Schéma unifilaire de la sous-station 3.1.....	37
Figure II.4 Schéma unifilaire de la sous-station 3.....	39
Figure II.5 Schéma de la sous-station 2	40
Figure II.6 Schéma unifilaire de la sous-station 2.1.....	41
Figure II.7 Schéma unifilaire de la sous-station 1.....	42
Figure II.8 Schéma unifilaire de la sous-station 2.....	44
Figure II.9 quelques puissance des moteurs et la puissance consommées par les pompes.....	45
Figure II.10 Schéma unifilaire de la sous-station 2 par Ecostruxture	47
Figure II.11 Les charges avec les protections	48
Figure II.12 Paramètres du moteur.....	49
Figure II.13 Schéma unifilaire de la sous-station 3.....	49
Figure II.14 Guide de choix du disjoncteur pour les grandes puissances	50
Figure II.15 Guide de choix du disjoncteur des petites puissances.....	51
Figure II.16 Sélectivité totale	52
Figure II.17 Sélectivité partielle.....	52
Figure II.18 Courbe de sélectivité totale	53
Figure II.19 Sélectivité partielle.....	53
Figure II.20 Interface de caneco HT	54
Figure II.21 Schéma unifilaire complet de la station de pompage.....	55
Figure II.22 Paramètres du moteur.....	56
Figure II.23 Sous-station 1 avec Caneco HT	58
Figure II.24 Rapport de courant de court-circuit de la sous station1 par caneco HT.....	59
Figure II.25 Rapport de chute de tension de sous station 1 par caneco HT.....	60
Figure II.26 paramètre de choix de type de liaison de câble.....	61

Figure II.27 paramètre de choix des caractéristique des câbles	61
Figure II.28 paramètre de choix de type de câble	62
Figure II.29 Rapport de liaison de câble de sous station1 par caneco HT	63
Figure II.30 Rapport de calcul des câbles selon le courant admissible	64
Figure II.31 Schéma unifilaire de la sous-station 2 par caneco HT	65
Figure II.32 Rapport de courant de court-circuit du jeu de barre P2.	65
Figure II.33 Rapport de calcul de chute de tension de jeu de barre P2.	66
Figure II.34 Rapport de la liaison des câbles de P2.	67
Figure II.35 Rapport de calcul des câbles selon courant admissible de P2.	68
Figure III.1 Moteur asynchrone	72
Figure III.2 Schéma pour l'analyse électrique	76
Figure III.3 Comparaison des types de démarrage par rapport au courant de défaut.	76
Figure III.4 Comparaison des types de démarrage par rapport à la chute de tension	77
Figure III.5 Economie d'énergie annuelle du VFD.....	79
Figure III.6 réduction de la pollution	79
Figure III.7 schéma d'un variateur de vitesse	81
Figure III.8 La modulation de largeur d'impulsion MLI	83
Figure III.9 Variateur de vitesse ATV600	86
Figure -III.10 Llogiciel Somovo	88
Figure III.11 Schéma de fonctionnement avec VFD.....	89
Figure III.12 les différentes gammes de VFD	89
Figure III.13 Topologie du VFD	90
La figure III.14 représente l'appareil choisis et ses caractéristiques.....	90
Figure III.15 Présentations du VFD	90
Figure III.16 Paramètres du VFD.....	91
Figure III.17 Paramètres du moteur	91
Figure III.18 Entrées/sorties	92
Figure III.19 Configuration du PID.....	93
Figure III.20 schéma PID par somove	94
Figure III.21 Graphe représentant la vitesse en fonction de la fréquence.....	94
Figure III.22 Courbe de la tension en fonction de la fréquence	95
Figure III.23 Pression en fonction de fréquence	96
Figure III.24 Schéma de l'API.....	97
Figure III.25 les éléments de l'API.....	99
Figure III.26 Modules entrés/sorties	99
Figure III.27 Les variables élémentaires	100
Figure III.28 Block de défaut	100
Figure III.29 Schéma du block marche	101
Figure III.30 Schéma de régulation PID	101
Figure III.31 Block du VFD.....	102
Figure III.32 Les variables	102
Figure IV.1 Différents types de rayonnement solaire	106
Figure IV.2 Transformation de l'énergie solaire en énergie électrique	107
Figure IV.3 Principe de la cellule photovoltaïque.....	108
Figure IV.4 Regroupement en série	109
Figure IV.5 Regroupement en parallèle	110
Figure IV.6 Situation géographique de la station.....	113
Figure IV.7 Données métrologiques	114
Figure IV.8 trajectoire du soleil	114
Figure IV.9 Orientation des panneaux	115
Figure IV.10 Choix de système.....	116
Figure IV.11 schéma unifilaire simulé par pvsys.....	117
Figure IV.12 bilan et résultats principaux	117

Figure IV.13 Energie produite par les PV	118
Figure IV.14 Energie journalière à la sortie du système	119
Figure IV.15 diagramme d'entrées/sortie journalier	119
Figure IV.16 distribution de la puissance de sortie système	120
Figure IV.17 bilan d'émission de CO2	121
Figure IV.18 les couts introduits	122
Figure IV.19 prix de vente d'électricité	122
Figure IV.20 frais financiers	123
Figure IV.21 frais de l'installation.....	124

Liste des tableaux

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 bilan de puissance de la sous-station 3.2.....	36
Tableau 2 Bilan de puissance de la sous-station3.1	38
Tableau 3 bilan de puissance de la sous-station 3	39
Tableau 4 bilan de puissance de la station 2	41
Tableau 5 bilan de puissance de la sous-station 2.1	41
Tableau 6 bilan de puissance de la sous-station 1	43
Tableau 7 bilan de puissance de jeu de barre de départ	43
Tableau 8 Tableau de vérification des courants de courts de sous station 2.1	45
Tableau 9 les courants des câbles de la sous-station 3	45
Tableau 10 comparaison entre les valeurs des courant de sous station 3.2.....	56
Tableau 11 comparaison entre les valeurs des courant de sous station 3.....	57
Tableau 12 comparaison entre les valeurs des courant de sous station 2.....	57
Tableau 13 comparaison entre les valeurs des courant de sous station 1.....	57

Liste des symboles

Liste des symboles

E/S : Entrée / Sortie

IM : Cellule arrivée

IM : Cellule départ

CM : Cellule comptage

DM2 : Cellule de protection générale

DM1 : Cellule de protection transformateur

TC : Transformateurs de Courant

GE : un générateur de secours

MT : Moyenne Tension

BT : Basse Tension

I_k : courant de court-circuit

BP : Basse Pression

HP : Haute pression

CPU : Central Processing Unit

VFD : variateur de vitesse

K_p : gain proportionnel

K_i : gain intégral

K_d : gain dérivé

Introduction Générale

Introduction générale

L'eau est une ressource précieuse et vitale qui joue un rôle essentiel dans la vie quotidienne des êtres humains, ainsi que dans le développement socio-économique des nations. Elle est utilisée pour la consommation humaine, l'agriculture, l'industrie, la production d'énergie et la préservation de l'environnement.

L'accès à une eau de qualité suffisante constitue un défi mondial majeur, exacerbé par des facteurs tels que la croissance démographique, l'urbanisation rapide, le changement climatique et la pollution. Ces défis ont conduit à des pénuries d'eau dans de nombreuses régions du monde, mettant en péril la sécurité alimentaire, la santé publique et le développement économique.

Dans ce contexte, il est crucial de préserver et de gérer judicieusement les ressources en eau disponibles, tout en explorant de nouvelles solutions pour augmenter l'approvisionnement en eau potable. Le dessalement de l'eau de mer émerge comme une technologie prometteuse pour répondre à cette problématique.

L'Algérie souffre de graves pénuries d'eau car la majeure partie de son territoire est classée comme zone aride et semi-aride. Afin de résoudre ce problème, notamment dans les grands centres urbains où les ressources conventionnelles sont insuffisantes, l'Algérie a mis en œuvre la technique du dessalement de l'eau de mer. Cette méthode est désormais indispensable pour répondre aux besoins croissants en eau potable de la population algérienne. Dans le cadre de cette initiative, plusieurs stations de dessalement ont été établies dont la station **El Marsa** située dans la banlieue Est d'Alger .qui fait l'objet de la présente étude.

Dans ce travail, on a fait une l'étude et le dimensionnement de cette station de pompage. Notre mémoire est organisé en plusieurs parties présentées comme suit : le chapitre I est l'état de l'art sur les systèmes de dessalements d'eau de mer

Ensuite, dans le chapitre II, on étudiera le dimensionnement électrique de l'installation.

Dans le chapitre III. On s'étalera sur la configuration des variateurs de vitesses.

Le quatrième chapitre abordera l'injection d'une puissance électrique au réseau par les panneaux photovoltaïques, le travail sera clôturé par une conclusion générale.

Chapitre I

État de l'art sur les systèmes de dessalements d'eau de mer

CHAPITRE I: ÉTAT DE L'ART SUR LES SYSTEMES DE DESSALEMENTS D'EAU DE MER

I.1 Introduction

Selon les données statistiques, la population de l'Algérie devrait doubler au cours des trente prochaines années, sans que les ressources en eau conventionnelles ne subissent de modifications. La situation de l'eau, notamment dans les villes côtières, témoigne clairement d'une période prolongée de sécheresse s'étendant sur plus de deux décennies. Le dessalement de l'eau de mer est une solution efficace pour résoudre ce grave problème de pénurie d'eau. En effet, en raison du phénomène de littoralisation, la majorité de la population et des activités économiques se concentrent le long des 1200 km de côtes. Les caractéristiques particulières de la mer Méditerranée permettent des coûts d'exploitation plus abordables et des rendements plus élevés pour les sites situés en bord de mer. La méthode d'osmose inverse a été choisie pour le site, car elle présente un coût moins élevé grâce à des avancées technologiques, des membranes plus performantes et une durée de vie plus longue. Dans ce chapitre, nous allons examiner les techniques de dessalement existantes, les différents types de pompes et leurs systèmes d'alimentation, et nous concluons avec le projet d'osmose inverse d'El Marsa, pris en charge par Schneider Electric.

I.2 Dessalement de l'eau :

Le dessalement de l'eau (dessalage ou désalinisation) est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce (potable) à partir d'une eau saumâtre (eau de mer). En éliminant les sels et autres impuretés de l'eau salée pour la rendre propre à la consommation ou à d'autres utilisations. Il existe plusieurs méthodes de dessalement, parmi lesquelles l'osmose inverse, la distillation et l'électrodialyse. [1]

I.2.1 Importance du dessalement :

La technique du dessalement d'eau de mer représente une ressource alternative qui apporte des réponses aux besoins en eau à court et à long terme. 72% de la surface totale de la terre est recouverte d'eau, dont 97% est salée. Les 3% d'eau douce qui restent sont inégalement répartis dans 10 pays. Bien qu'un peu moins de 1% de l'eau potable consommée dans le monde soit produite à partir du dessalement, les perspectives offertes par cette technologie sont inexorablement grandissantes. 40 % de la population mondiale vit à moins de 70 kilomètres d'une côte, soit la zone d'utilisation raisonnable du dessalement. [2]

I.2.2 Techniques de dessalement d'eau :

I.2.2.1 Distillation

- **Distillation à simple effet :**

Le principe est de reproduire le cycle naturel de l'eau en différentes étapes :

- À l'intérieur d'une enceinte fermée, l'eau de mer est portée à ébullition grâce à un serpentin de réchauffage.
- La vapeur d'eau ainsi produite se condense lorsqu'elle entre en contact avec un deuxième serpentin alimenté par de l'eau de mer froide.
- Un groupe électropompe est utilisé pour extraire l'eau condensée, tandis qu'un deuxième groupe électropompe est utilisé pour récupérer l'eau de mer concentrée, également appelée saumure [3]

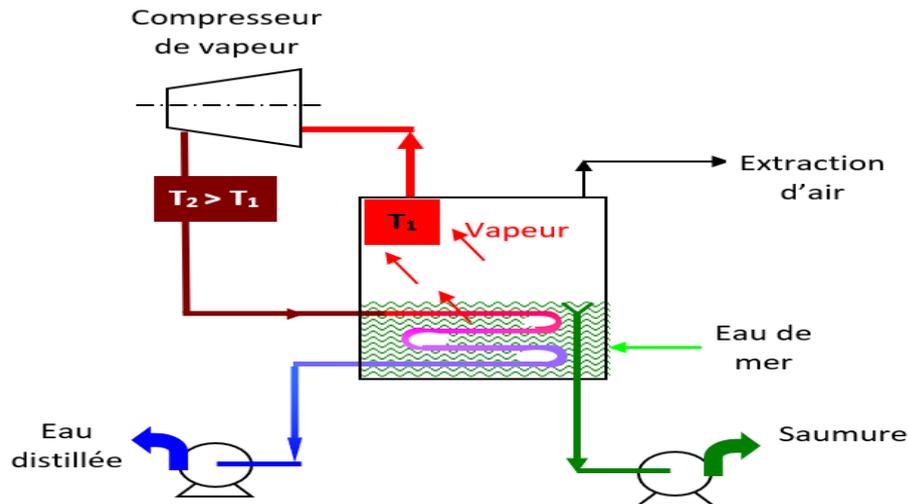


Figure I.1 Schéma distillation à simple effet

- **Distillation à multiples effets (MED) :**

Ce procédé repose sur l'évaporation, sous une pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température comprise entre 70 et 80°C. L'évaporation de l'eau se produit sur une surface d'échange, où elle est réalisée par détente à travers des étages successifs. La chaleur est transférée à travers cette surface grâce à la vapeur produite par une chaudière ou à travers de l'eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur. La vapeur ainsi produite dans le premier étage est ensuite condensée pour produire de l'eau douce dans le deuxième étage, où règne une pression inférieure. Cette chaleur de condensation est utilisée pour évaporer une partie de l'eau de mer présente dans le deuxième étage, et ainsi de suite. Ainsi, seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier étage provient de sources externes. En multipliant le nombre d'étages, il est possible de réduire la consommation spécifique d'énergie.[4]

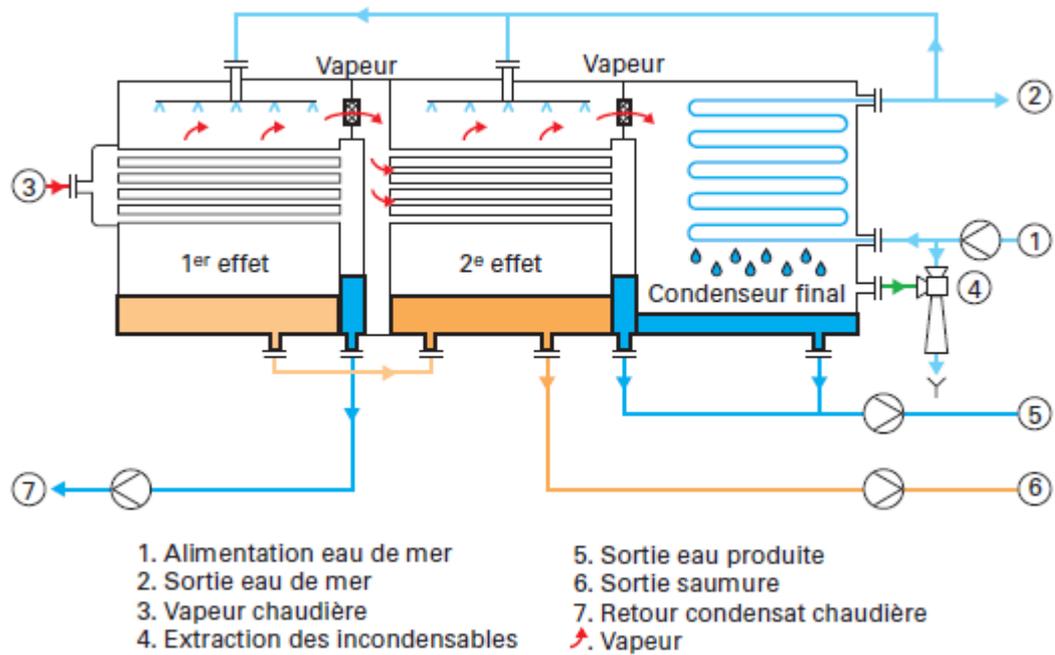


Figure I.2 Distillation à multiples effets

- **Distillation à détente étagées ou multi flash (MSF)**

Ce procédé dit flash consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage ; lorsqu'elle atteint une température de 120°C, elle est introduite dans un étage où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée flash. Une fraction de l'eau s'évapore puis va se condenser sur les tubes condenseurs placés en haut de l'enceinte, et l'eau liquide est recueillie dans des réceptacles en dessous des tubes. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs L'énergie requise est principalement l'énergie thermique à fournir à la chaudière. Cette énergie peut être peu coûteuse si on récupère de la vapeur à basse pression à la sortie d'une turbine de centrale électrique. Il faut également fournir de l'énergie électrique pour les pompes de circulation de l'eau de mer.[4]

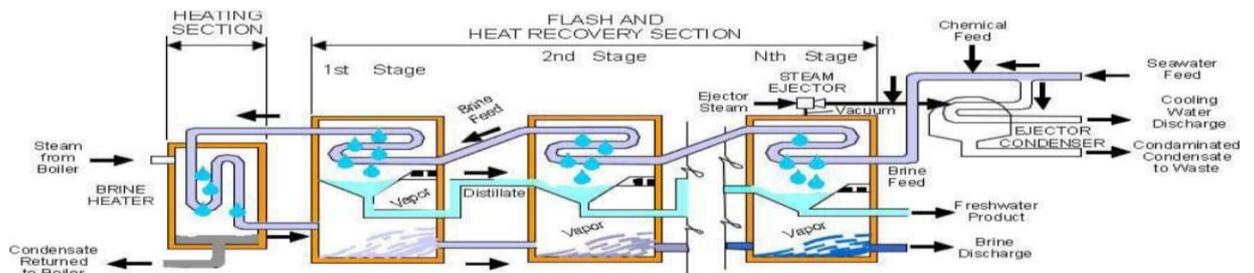


Figure I.3 Distillation à détente étagées

I.2.2.2 L'électrodialyse :

Le principe de l'électrodialyse est bien connu. Les ions d'un sel dissous dans l'eau, comme le chlorure de sodium par exemple, déplacent sous l'action d'un champ électrique créé par deux électrodes trempant dans le liquide. Les ions positifs « cation » sont attirés par l'électrode négative tandis que les ions négatifs sont attirés par l'électrode positive. Dans l'électrodialyse, on intercale alternativement des membranes filtrantes soit perméables aux anions et perméables aux cations, soit imperméables aux cations et perméables aux anions. On obtient ainsi une série de compartiments à forte concentration de sels et d'autres à faible concentration. L'électrodialyse est bien adaptée aux eaux saumâtres dont la salinité est assez faible, inférieure à celle de l'eau de mer, les membranes utilisées en électrodialyse laissent passer les ions mais sont imperméables à l'eau.

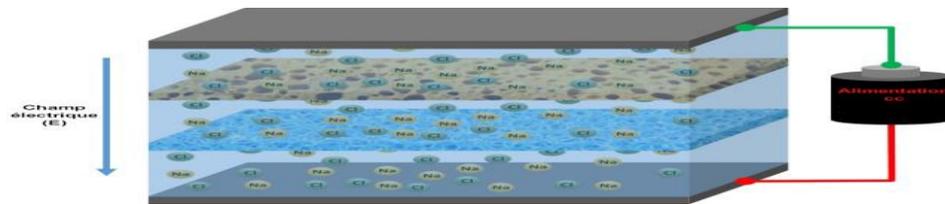


Figure I.4 Schéma de L'électrodialyse

I.2.2.3 L'osmose inverse :

L'osmose est basée sur le principe fondamental de l'équilibre. Lorsque deux liquides contenant différentes concentrations de solides dissous sont mis en contact, ceux-ci se mélangent jusqu'à uniformisation des concentrations. Lorsque ces deux liquides sont séparés par une membrane semi-perméable (laquelle laisse passer les liquides tandis que les solides dissous restent dans leur compartiment), le liquide contenant la plus faible concentration de solides dissous va traverser la membrane pour aller dans le liquide contenant la plus forte concentration de solides dissous. Après un temps donné, le niveau de l'eau sera plus élevé d'un côté de la membrane. La différence de hauteur est appelée pression osmotique.[5]

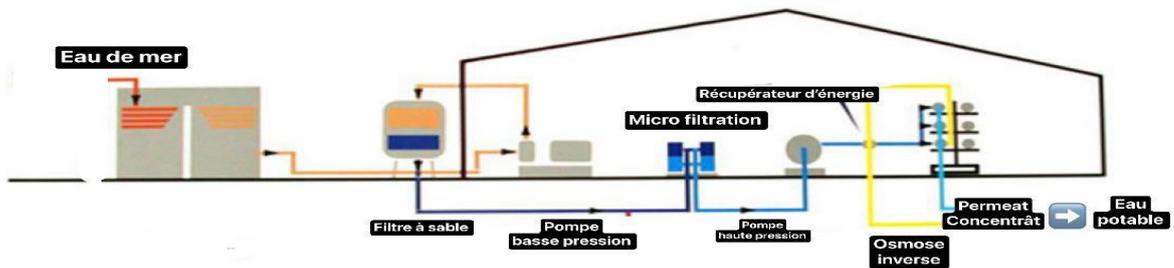


Figure I.5 schéma d'osmose inverse

L'osmose inverse consiste à faire passer l'eau au travers des membranes semi-perméables, sous l'effet de la pression différentielle de la solution concentrée vers la solution diluée. Le taux d'élimination est exprimé en pourcentage de la salinité totale, la réduction de salinité de l'eau saumâtre est supérieure à 92% contre plus de 98,5% pour l'eau de mer.

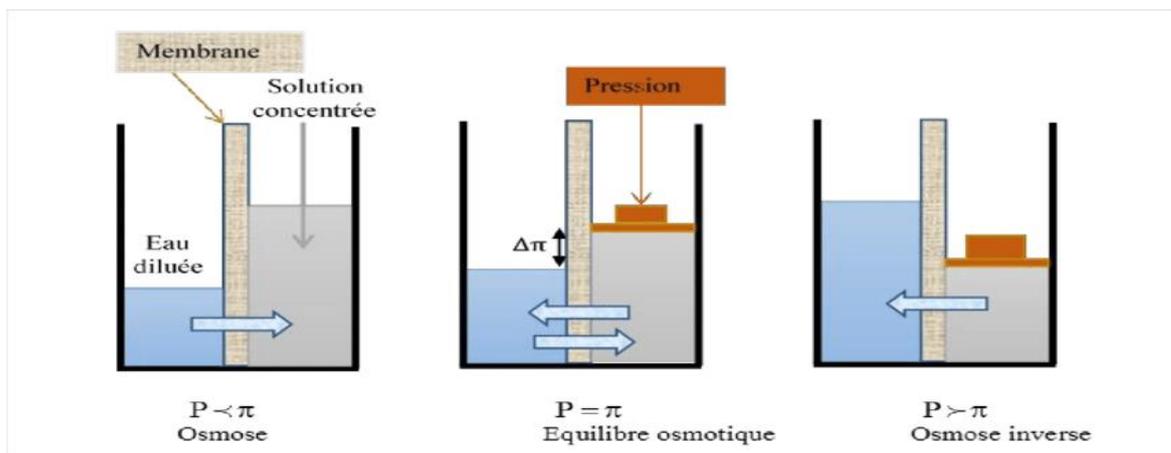


Figure I.6 Schéma des étapes d'osmose inverse

Étape 1 : Osmose : Le niveau est identique dans les deux compartiments séparés par la membrane semi-perméable : L'eau circule de la gauche vers la droite

Étape 2 : Équilibre : Durant cette étape, une différence de niveau s'établit, c'est la pression osmotique C'est une différence de pression de part et d'autre de la membrane. Il faut savoir que la pression osmotique varie selon la concentration du liquide.

Étape 3 : Osmose inverse : Ici, on va appliquer une pression $P > \pi$, l'eau circulera en sens inverse c'est à dire de la droite vers la gauche et les sels présent dans la solution concentrée

vont rester bloquer dans leur compartiment car ils sont trop gros pour passer à travers la membrane.[6]

a) La pression osmotique :

La pression osmotique désigne la force qui agit sur une membrane hémiperméable, c'est-à-dire une membrane perméable uniquement à l'eau, lorsqu'elle sépare deux solutions de concentrations différentes. Cette pression provoque le déplacement de l'eau de la solution moins concentrée vers la solution plus concentrée jusqu'à ce qu'un équilibre soit atteint.

- **Avantages de l'osmose inverse :**

L'osmose inverse est une méthode qui tend à se développer très largement dans le futur, car elle présente un intérêt en termes de coût d'énergie. Elle consomme 3 fois moins d'énergie que la distillation. En effet, pour traiter un mètre cube d'eau de mer on a besoin de 4 à 5 KW/h avec l'osmose inverse contre 15KW/h pour la distillation.

De plus, grâce à des innovations, les consommations de l'osmose inverse tendront à baisser régulièrement dans le futur. Effectivement, des membranes plus fines sont en cours de création, elles réduiraient considérablement la pression nécessaire à la désalinisation.

Enfin, la diminution en cours du coût des membranes et l'amélioration des rendements des pompes et moteurs sont d'autres points positifs valorisant l'osmose inverse.

- **Inconvénients de l'osmose inverse :**

-La dégradation des membranes : lors du dimensionnement d'une installation d'osmose inverse, on tient compte en moyenne d'une durée de vie des membranes de l'ordre de 3 ans.

-Les pertes en eau. En effet, le concentrat qui contient tous les sels qui n'ont pas traversé les membranes, représente environ 25% du débit entrant, Cette eau contient une concentration excessive de sels pour être utilisée dans l'agriculture, ce qui entraîne sa perte.

I.3 Processus de dessalement d'eau de mer par osmose inverse :

L'eau salée est pompée dans les profondeurs de la mer, loin au large, là où l'eau est plus fraîche et plus propre ; puis elle est filtrée via plusieurs processus (qui durent une trentaine de minutes en tout). La première filtration élimine les gros objets (plastiques et autres déchets). On ajoute ensuite un produit coagulant : les petites algues et les autres particules en suspension vont alors former des agglomérats qui seront écumés à la surface dès que leur taille le permettra. On filtre enfin les particules plus fines tandis que l'eau clarifiée traverse plusieurs couches de sable ; c'est la phase finale du prétraitement. L'eau subit alors une osmose inverse : l'eau salée est pompée à très haute pression à travers des membranes extrêmement fines, qui piègent le sel et ne laissent passer que les plus petites particules d'eau. La moitié du liquide devient de l'eau douce déminéralisée ; l'autre moitié (la saumure) contient environ deux fois plus de sel.

La suite dépend de l'utilisation qui sera faite de l'eau. L'eau destinée à l'industrie et à l'agriculture ne nécessite aucun traitement supplémentaire : elle peut être transférée hors de la station d'épuration. L'eau potable doit être reminéralisée, et les niveaux de pH doivent être contrôlés afin de respecter toutes les normes en vigueur. Il faut rajouter du sel et des minéraux après un tel processus, mais il faut savoir que l'H₂O pure est mauvaise pour notre santé et pour nos canalisations.[7]

Une usine de dessalement par osmose inverse comporte les étapes ou sections suivantes :

- Système de prétraitement.
- Système de pompage.
- Systèmes à membrane RO et Système de récupération d'énergie
- Post-traitement.

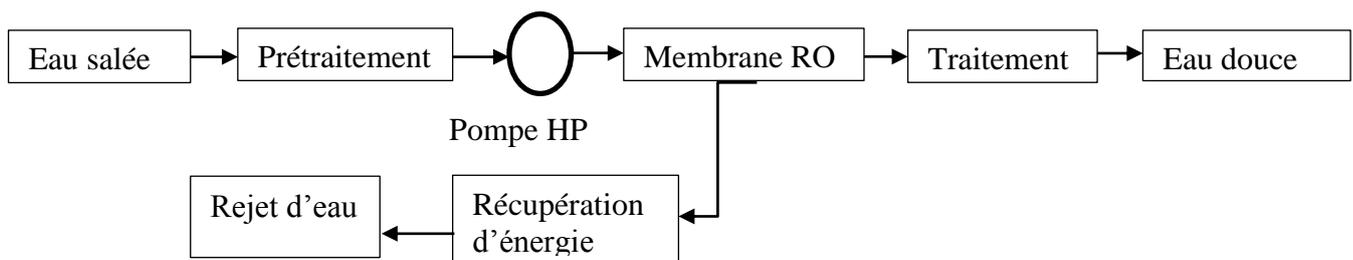


Figure I.7 Conception générale simplifiée d'une usine de dessalement par RO

I.4 Les étapes de processus de dessalement d'eau de mer par osmose inverse

I.4.1 Système de pré-traitement

Le prétraitement est considéré comme l'une des étapes les plus critiques de tous les systèmes, car il a un impact direct sur l'encrassement des membranes et peut grandement améliorer la qualité de l'eau d'alimentation, assurant ainsi un fonctionnement fiable et régulier. Les méthodes de prétraitement peuvent être choisies en fonction de l'analyse de la composition de l'eau d'alimentation et du type de contaminants présents.

I.4.1.1 Filtration :

La filtration est un processus physique conçu pour clarifier les liquides contenant des solides en suspension en les faisant passer à travers des milieux poreux. La filtration fonctionne bien pour éliminer les bactéries, la couleur, la turbidité et indirectement certains goûts et odeurs.

a) Filtration à sable :

La filtration à sable est un processus de traitement de l'eau qui utilise un lit de sable pour éliminer les particules et les impuretés présentes dans l'eau. Il s'agit d'une méthode couramment utilisée dans les systèmes de traitement de l'eau potable.

Lors de la filtration à sable, l'eau est introduite dans un réservoir contenant un lit de sable granulaire. Au fur et à mesure que l'eau traverse le lit de sable, les particules en suspension sont piégées et retenues par les interstices entre les grains de sable. Cela permet de filtrer les matières en suspension, présentes dans l'eau.

I.4.2 Système de pompage d'une station de dessalement par RO

La consommation d'énergie primaire d'un système d'osmose inverse est la puissance nécessaire pour pomper l'eau d'alimentation, qui est directement liée à la pression et au débit de l'eau. 75 % de la consommation d'énergie de la plupart des usines de dessalement RO est dû au système de pompage. Les pompes haute pression dans les systèmes RO sont dimensionnées pour le débit, où la pression hydrostatique nécessaire doit être supérieure à la pression

osmotique du côté alimentation de la membrane pour permettre à l'eau de traverser la membrane semi-perméable et de rejeter les sels dissous. La pression varie de 54 à 80 bars pour l'eau de mer, La pompe d'alimentation en eau salée la plus répandue dans les usines RO est la pompe centrifuge.[7]

I.4.2.1 Définition de la pompe :

Une pompe est un dispositif qui transfère de l'énergie mécanique à un liquide. Cette énergie se présente principalement sous deux formes :

1. Énergie cinétique : débit

2. Énergie potentielle : pression Le rôle d'une pompe est de prélever un fluide dans une zone à haute pression pour le refouler vers une zone à basse pression.

Son fonctionnement consiste à convertir l'énergie mécanique fournie par son moteur en énergie hydraulique. Le liquide entre dans la pompe par l'orifice d'aspiration avec un certain niveau d'énergie, puis il est expulsé par l'orifice de refoulement avec un niveau d'énergie plus élevé. [8]

I.4.2.2 Les différentes catégories de Pompes :

Les pompes sont classées en deux catégories principales : les pompes volumétriques et les pompes centrifuges. Cette classification est couramment utilisée pour distinguer les différents types de pompes en fonction de leur principe de fonctionnement.

a) Volumétriques :

Ce type de pompes est utilisé pour les fluides qui ne sont pas particulièrement compressibles. Le fluide est élaboré par la machine dans un volume de contrôle variable dans le temps, de manière périodique. Il est échangé statiquement avec la machine, sur des surfaces en mouvement.

Dès leur mise en route elles provoquent une diminution de pression en amont qui permet l'aspiration du liquide. Elles permettent d'obtenir des hauteurs manométriques totales. Beaucoup plus élevées que les pompes centrifuges. La pression au refoulement est ainsi plus importante. Le débit est en revanche plus faible mais il ne dépend pratiquement pas des caractéristiques du réseau. Le rendement est souvent voisin de 90 %. Si la canalisation de

refoulement est bouchée, Il faut arrêter immédiatement une pompe volumétrique dans cette situation pour éviter les risques d'une augmentation de pression très importante dans la pompe qui pourrait entraîner de graves détériorations.

b) Centrifuges :

Une pompe centrifuge est composée principalement de deux parties : la première étant un élément rotatif composé d'une roue et d'un arbre, et la seconde étant un élément fixe composé d'un carter, d'un couvercle de carter et de paliers. Cependant, il y a d'autres composants qui complètent un ensemble de pompe centrifuge

Les pompes centrifuges fonctionnant à vitesse constante peuvent pomper des volumes variables du Liquide de zéro au maximum en fonction de la portance totale. Généralement, Dans une pompe centrifuge, le débit délivré par la pompe diminue avec la hauteur le débit passe à zéro lorsque la hauteur manométrique atteint cette valeur maximum. La puissance mécanique nécessaire au fonctionnement varie également dans des limites Défini. Même à débit nul, une certaine force est nécessaire pour surmonter le frottement. La hauteur, la puissance et l'efficacité sont généralement tracées en fonction de la capacité flux uniforme.

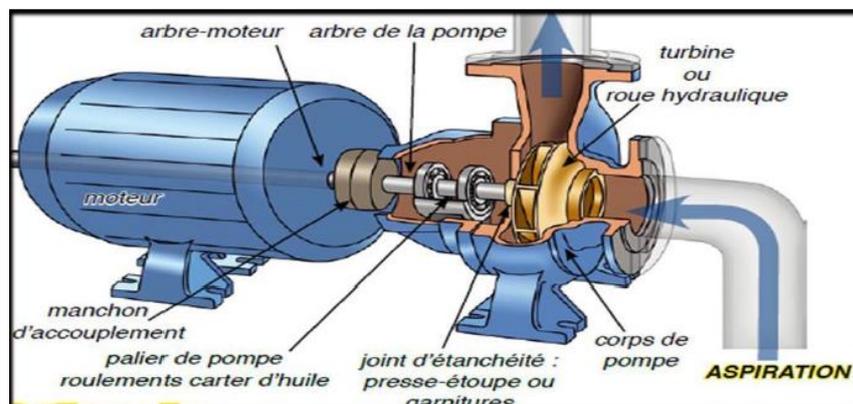


Figure I.8 Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge.

c) Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge: [9]

On peut décomposer le fonctionnement d'une pompe centrifuge en trois étapes :

- **L'aspiration**

Le liquide est aspiré au centre du rotor par une ouverture appelée distributeur dont le rôle est de conduire le fluide depuis la conduite d'aspiration jusqu'à la section d'entrée du rotor. La

pompe étant amorcée, la vitesse du fluide qui entre dans la roue augmente et par conséquent la pression dans l'ouïe diminue et engendre ainsi une aspiration et maintient l'amorçage.

- **L'accélération**

Le rotor transforme l'énergie mécanique appliquée à l'arbre de la machine en énergie cinétique. A la sortie du rotor, le fluide se trouve projeté dans la volute dont le but est de collecter le fluide et de le ramener dans la section de sortie.

- **Le refoulement**

Dans l'élargissement en sortie, qui se comporte comme un divergent, le liquide perd de la vitesse au profit de l'accroissement de pression : l'énergie cinétique est convertie en énergie de pression au niveau de diffuseur.

I.4.3 Système à membrane d'Osmose inverse et récupération d'énergie :

I.4.3.1 La filtration membranaire

La filtration membranaire est une technique de séparation utilisant des membranes pour réaliser des séparations sélectives en phase liquide ou gazeuse. Les différents procédés, tels que la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration et l'osmose inverse, diffèrent par la taille des pores de leurs membranes et les pressions appliquées pour le processus de filtration. Est un procédé de séparation utilisant des membranes pour limiter le transport de composants spécifiques. Les membranes possèdent une sélectivité intrinsèque basée sur des caractéristiques physico-chimiques telles que la taille des pores et la surface chargée. Il existe plusieurs types de procédés membranaires : la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nanofiltration (NF) et l'osmose inverse (RO).[7]

La microfiltration (MF) utilise des membranes avec des pores de 0,1 à 10 μm pour retenir les particules en suspension, les bactéries et les boues. La faible différence de pression transmembranaire (0,5 à 1 bar) est utilisée comme force motrice.

L'ultrafiltration (UF) utilise des membranes avec des pores de 2 à 100 nm pour retenir des espèces de masse molaire élevée telles que les polymères, les protéines, les colloïdes et les virus. Des pressions transmembranaires de 1 à 5 bars sont généralement appliquées.

La nanofiltration (NF) utilise une pression hydrostatique pour propulser un mélange moléculaire à travers la surface de la membrane. Elle se situe entre l'ultrafiltration et l'osmose inverse en termes de pression appliquée et de taille des pores (0,5 à 2 nm).

L'osmose inverse (RO) est basée sur la neutralisation du processus osmotique naturel en appliquant une pression hydrostatique sur la solution saline concentrée (par exemple, l'eau de mer). Cela permet au solvant de passer à travers la membrane d'osmose inverse de la solution saline concentrée vers le côté opposé, produisant ainsi de l'eau dessalée.

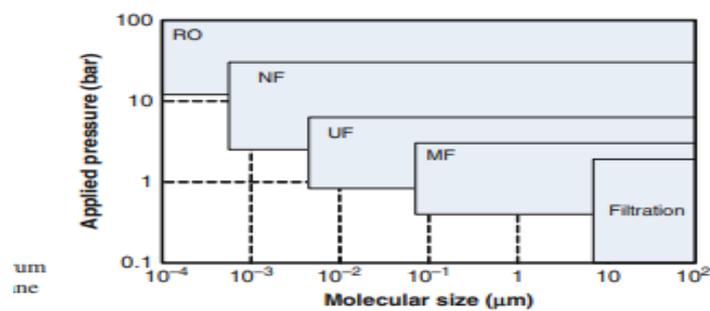


Figure I.9 Classification de types de filtration membranaire

Le système à membrane RO est composé d'un récipient sous pression avec une membrane semi-perméable à l'intérieur, qui est typiquement faite d'un composite à couche mince en polyamide et qui a des ouvertures suffisamment petites pour permettre le passage des molécules d'eau et empêcher le passage des molécules de sel et autres contaminants. Après avoir traversé le système RO, deux flux sont produits : l'eau dessalée et la saumure. Les membranes d'osmose inverse sont fabriquées dans une variété de configurations [1]

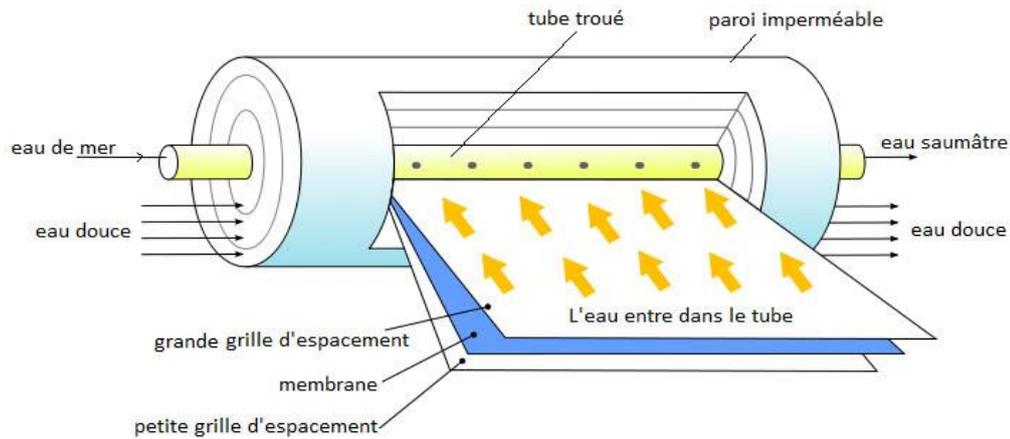


Figure I.10 Schéma de membrane

I.4.3.2 Système de récupération d'énergie

Dans un procédé RO, la pression du flux de perméat est d'environ la pression atmosphérique. D'autre part, la pression du flux de déchets (concentré) est très élevée, proche de la pression fournie par la pompe haute pression.

Permet d'augmenter la pression d'alimentation en eau brute au moyen d'un dispositif adapté. C'est ce qu'on appelle un système de récupération d'énergie. L'énergie récupérée peut atteindre 25% à 35% de l'énergie d'entrée de l'osmose inverse. L'intégration d'équipements de récupération d'énergie dans la conception des usines de dessalement RO est un moyen logique et économique de récupérer de l'énergie et de minimiser le coût énergétique global du dessalement.[7]

I.4.4 Poste traitement :

Les processus de traitement de l'eau qui se déroulent en aval des unités RO. Le perméat provenant du système d'osmose inverse ne peut pas être distribué directement dans les systèmes de distribution. En outre, la qualité de l'eau du produit est très importante, elle doit répondre aux normes de qualité de l'eau potable dans ce domaine.

-L'eau ne doit contenir aucun organisme pathogène.

-Il est bon au goût, sans odeur et incolore.

Le post-traitement des usines de dessalement RO est si important, non seulement pour rendre l'eau potable, mais aussi pour éviter d'endommager les conduites qui alimentent les consommateurs en l'ajustement du pH, l'ajout d'inhibiteurs de corrosion appropriés, l'élimination des gaz dissous comme le H₂S et le CO₂, et la désinfection.[10], il faut ajouter des minéraux alcalins naturels comme la chaux et la soude caustique à la solution de perméat afin de rétablir le pH à un niveau acceptable. L'eau est également désinfectée par l'ajout du chlore afin de s'assurer que toutes les bactéries ou virus qui ont pu traverser la membrane sont éliminés. Avec une taille de pores de 0.0001 micron, les systèmes RO typiques sont capables d'éliminer 99% des sels dissous, les bactéries, les virus et de nombreux contaminants chimiques (fluorure, cuivre, plomb) peuvent être éliminés par le procédé RO, bien qu'un traitement secondaire soit recommandé pour s'assurer que l'eau potable est complètement exempte de tout contaminant qui pourrait être présent dans l'eau de distribution

L'eau de produit provenant des usines de dessalement est typiquement faible en teneur en minéraux, en alcalinité et en pH. Par conséquent, l'eau dessalée doit être conditionnée (post-traitée) avant la distribution et l'utilisation finales. En règle générale, le post-traitement de l'eau du produit comprend un ou plusieurs des processus suivants :

- Stabilisation par addition d'alcalinité carbonatée
- Inhibition de la corrosion
- Reminéralisation par mélange avec de l'eau à haute teneur en minéraux.
- Désinfection.

I.5 Schneider Electric

Schneider Electric, est une entreprise industrielle française de renommée mondiale, se spécialise dans la fabrication et la fourniture de produits de gestion d'électricité, d'automatismes et de solutions adaptées à divers secteurs d'activité. Schneider Electric opère sur cinq marchés clés : l'énergie et les infrastructures, le bâtiment, le résidentiel, l'industrie, les centres de données et les réseaux.

En tant que leader dans le domaine de la gestion d'électricité, Schneider Electric offre une gamme complète de produits et de solutions pour répondre aux besoins des clients dans différents secteurs. Dans le domaine de l'énergie et des infrastructures, l'entreprise fournit des

solutions pour la distribution électrique, la gestion de l'énergie, les réseaux électriques intelligents et les infrastructures de transport. Pour le secteur du bâtiment, Schneider Electric propose des solutions de gestion énergétique, de contrôle d'accès, de sécurité et de gestion de l'éclairage, entre autres. Dans le secteur résidentiel, l'entreprise offre des produits pour l'automatisation résidentielle, la gestion de l'énergie et la sécurité des foyers.

I.5.1 Schneider Electric en Algérie

Schneider Electric est également présent en Algérie, où il propose une large gamme de produits et de solutions dans le domaine de la gestion d'électricité et des automatismes. L'entreprise opère en collaboration avec des partenaires locaux pour fournir des solutions adaptées aux besoins du marché algérien. Schneider Electric a réalisé et continue de réaliser plusieurs projets en Algérie dans le domaine de la gestion d'électricité, de l'automatisation industrielle et des solutions énergétiques. Ces projets visent à soutenir le développement de l'infrastructure électrique, à améliorer l'efficacité énergétique.

I.6 Projet de El Marsa

I.6.1 Situation géographique :

El Marsa est une commune de la wilaya d'Alger en Algérie, située dans la banlieue Est d'Alger. La commune d'El Marsa constitue la pointe est de la baie d'Alger.



Figure I.11 situation géographique de la station

I.6.2 Les éléments constituant la station de dessalement :

La station de dessalement d'eau de mer à El Marsa a une capacité de production de 60.000 mètres cubes/jour elle est basée sur l'osmose inverse la station de El Marsa assure un débit de 60000 m³ quotidiennement tel que 7200 m³ est destiné à El Marsa et 52800 m³ à la commune de Ain Taya[11].

I.6.2.1. La prise d'eau de mer :

La prise d'eau de mer est basée sur une conduite construite de façon que l'écoulement d'eau de mer puisse remplir le réservoir. Les conduites seront déposées sur le fond marin. Cependant, les 300 premiers mètres de conduite à partir de la station de pompage seront

enfouis sous le fond marin pour protéger les conduites et assurer leur stabilité contre l'effet des vagues. Cette longueur correspond à une hauteur d'eau entre 5 et 6 m au-dessus des conduites.

I.6.2.2. Prétraitement :

L'objectif du prétraitement est de réduire l'encrassement des membranes, et d'améliorer la qualité de l'eau produite et de maintenir les Performances d'osmose inverse. Dans un réservoir d'eau de mer on injecte des produits chimiques ce qu'on nomme coagulation

a) Coagulation :

La coagulation implique l'élimination des particules en suspension et les matières organiques colloïdales, on injecte H_2SO_4 et $NaClO$ qui augmente la vitesse de la réaction chimique entre $FeCl_3$ ajoutée à l'eau et le polymère pour former les floes plus gros pour faciliter ainsi leur élimination par filtration. L'eau est transférée à l'étape suivante par les quatre pompes ce qui monter ci-dessous

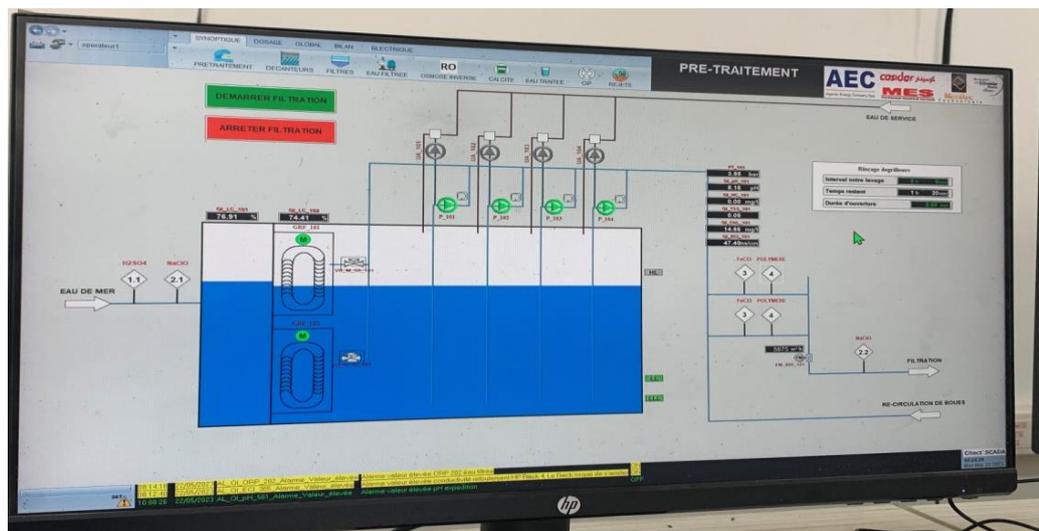


Figure I.12 Réservoir d'eau de mer

b) Décantation :

L'ouvrage de décantation est nécessaire lorsque l'eau brute est trop chargée avec l'agitation lente à l'entrée du bassin, pour favoriser le grossissement des floes et améliorer leur décantation, la boue reste en bas, on place trois grilleurs manuels verticaux à l'entrée de la station pour la protection des pompes d'eau de mer, contre les débris majeurs qui peuvent entrer par la prise, comme de branche, des algues, des poissons...



Figure I.13 Grilles

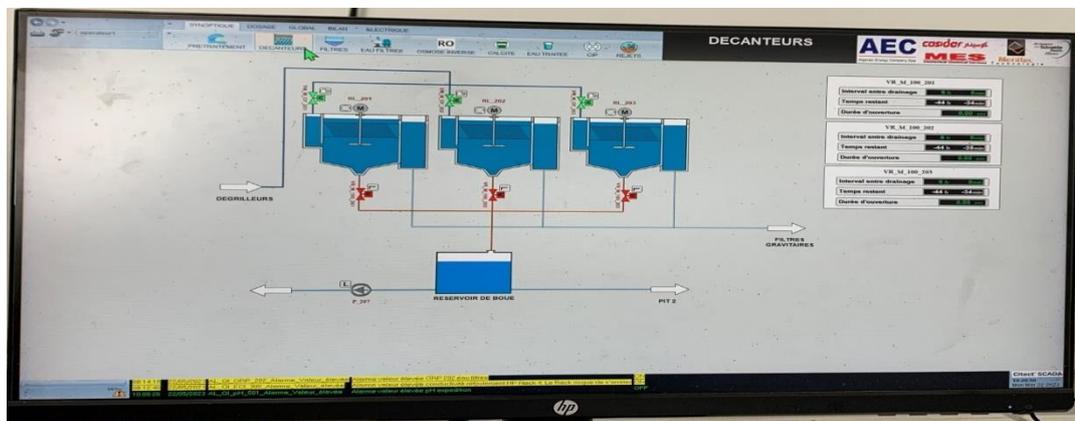


Figure I.14 Schéma de décantation

Dans cette étape, l'eau riche en produits chimique est transférée vers trois réservoirs avec grilles par trois de pompes où la boue est versée vers un réservoir de rejet et l'eau filtrée des floccs est transférée vers le filtrage à sable

c) Filtres à sable :

Les filtres fonctionnent à un niveau et à un débit constant, pour la filtration gravitaire, nous avons choisi d'installer des filtres bicouches composés de charbon et de sable. Ce système permet d'éliminer la plupart des matières en suspension et des particules présentes dans l'eau de mer. Il passe à travers des filtres bicouches qui se composent d'une couche de sable et d'une couche de carbone actif. Cette configuration permet d'éliminer les odeurs, les couleurs, les goûts indésirables et les chlorures présents dans l'eau.



Figure I.15 Filtres à sable

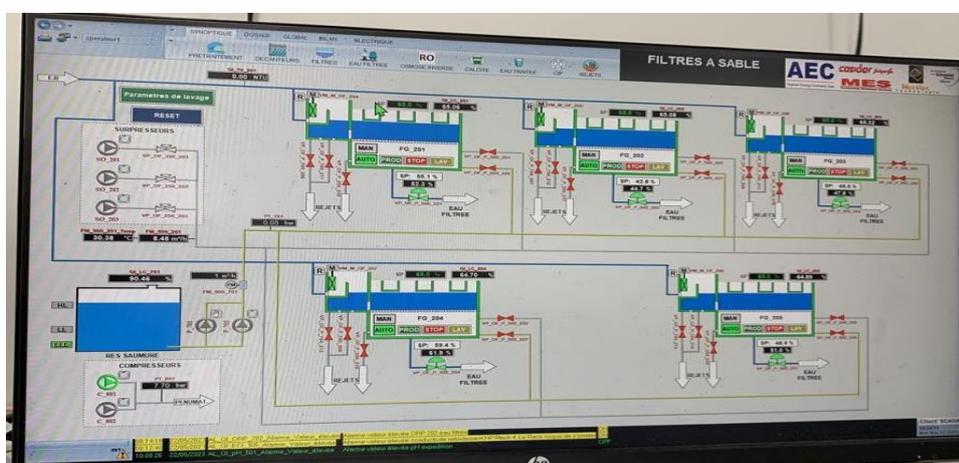


Figure I.16 Schéma filtres à sable

Donc pour cette étape l'eau du réservoir précédent est transférée vers cinq bacs de filtres à sable par cinq pompes, après l'eau qui réussit à franchir le sable est transmise vers un réservoir sous terrain où elle est totalement déminéralisée tandis que les résidus et les sels sont jeté dans une conduite.

d) Filtres à cartouches :

Afin de filtrer les petites particules pouvant s'échapper des filtres à sable et protéger ainsi les membranes contre un encrassement des filtres à cartouches capables de filtrer des particules microscopiques sont installés en amont des unités d'osmose.

I.6.2.3. L'osmose inverse :

Après avoir subi un prétraitement, l'eau passe par l'étape de l'osmose inverse. Cette étape implique le passage de l'eau à travers des membranes à l'aide d'une pompe haute pression (HP) qui fournit une pression pouvant atteindre 58 bars sur la membrane. En conséquence, on obtient 45% de perméat (eau déminéralisé) sous une pression de 1 bar, et 55% de rejet (saumure) sous une pression de 57 bars. Une partie de l'énergie est récupérée lors du rejet, grâce à un système de récupération d'énergie ce qui montre dans la figure ci-dessous.



Figure I.17 Cinq racks de membranes

Chaque rack est constitué des membranes, une pompe à haute pression, une pompe booster et système de récupération d'énergie



Figure I.18 Constitution du rack

- **Pompe haute pression**

La pompe haute pression joue un rôle essentiel dans une installation d'osmose inverse, car elle est directement liée à la consommation d'énergie en raison de son rendement. Son rôle consiste à fournir à la membrane une pression de 58 bars, nécessaire pour effectuer l'osmose inverse. Cette pression est soutenue par une pompe booster placée juste après un système de récupération d'énergie. Ainsi, la pompe HP fournit une pression de 56 bars, tandis que la pompe booster fournit 2 bars supplémentaires.



Figure I.19 Pompe à haute pression

- **Pompe booster :**

La pompe booster est une pompe qui aide à ajouter une pression de 2 bars à l'eau d'alimentation qui sort de récupérateur d'énergie.



Figure I.20 Pompe booster

- **Système de récupération d'énergie**

Dans le système d'osmose inverse le concentrât est rejeté sous haute pression arrivant jusqu'à 58 bars, c'est pourquoi il est important de récupérer de l'énergie du débit de concentrât.

La récupération d'énergie de saumure produite pendant le procédé d'osmose se fait grâce à des échangeurs.



Figure I.21 Système de récupération d'énergie

Ce système vise à récupérer une partie de l'énergie de la saumure rejetée à haute pression et à la réutiliser pour préalimenter la pompe d'alimentation en eau brute.

Lors du processus d'osmose inverse, une partie de l'eau est filtrée à travers les membranes et devient le perméat (eau déminéralisé), tandis que le reste de l'eau, contenant les solutés rejetés, devient la saumure. La saumure est généralement rejetée à une pression élevée.

Au lieu de simplement rejeter la saumure, le système de récupération par récupérateur de pression utilise un échangeur de pression pour récupérer l'énergie de la saumure à haute pression par des turbines l'énergie récupérée de la saumure est utilisée pour préalimenter la pompe d'alimentation en eau brute. Cela signifie que la pression de la saumure est utilisée pour aider à comprimer l'eau brute à une pression plus élevée, réduisant ainsi la quantité d'énergie nécessaire à la pompe d'alimentation.

L'énergie de la saumure rejetée à haute pression est réutilisée pour préalimenter la pompe d'alimentation en eau brute. Cela contribue à réduire la consommation d'énergie globale du processus d'osmose inverse, améliorant ainsi son efficacité et sa durabilité.

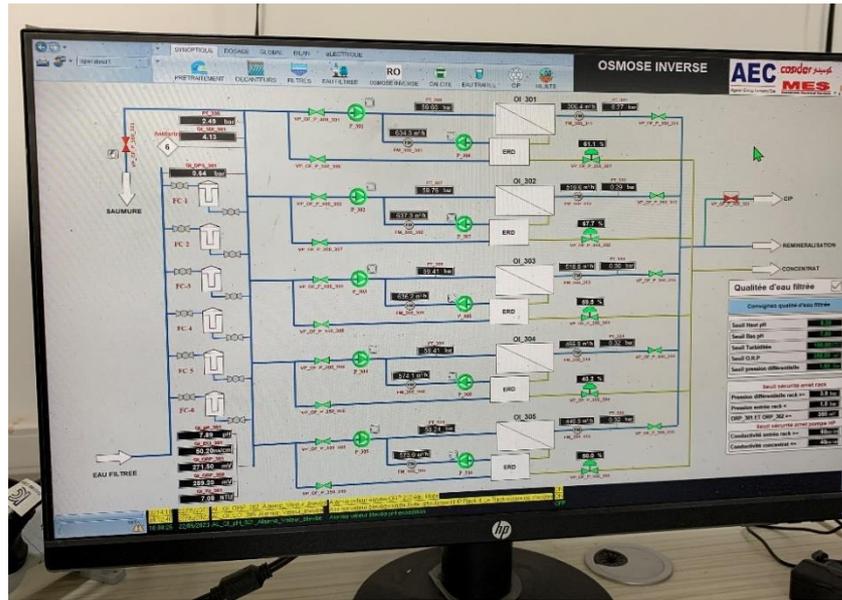


Figure I.22 Schéma d'osmose inverse

La figure ci-dessus représente le schéma d'osmose inverse tel que on a cinq racks dont chacun d'eux contient une pompe d'haute pression 1600 kW, membranes et un système de récupération d'énergie

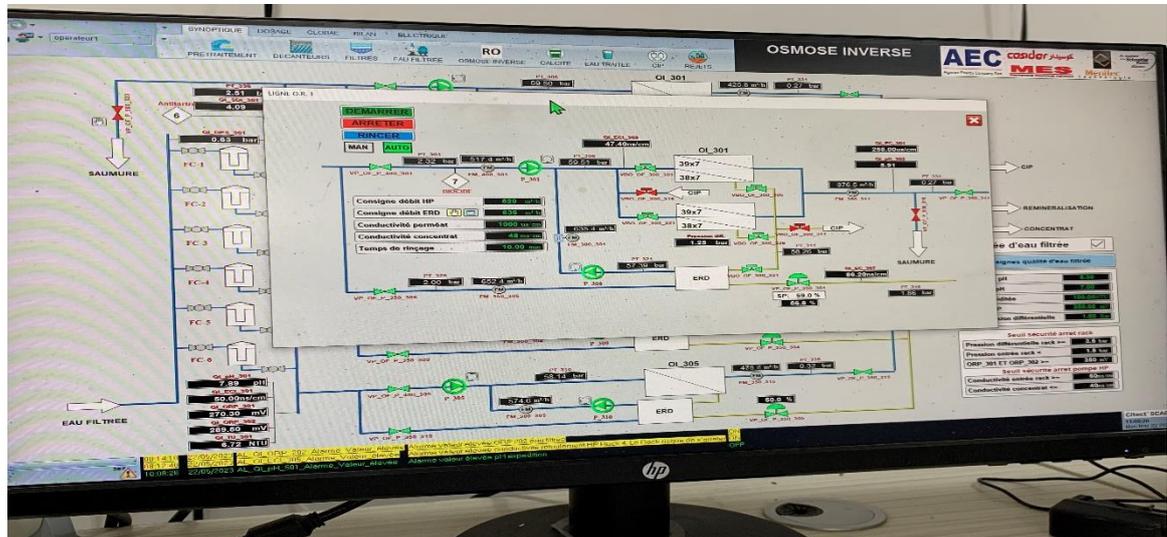


Figure I.23 Schéma d'osmose inverse

L'eau prétraitée entre sous une pression de 2 bars et traverse la pompe à haute pression, atteignant une valeur de 59 bars avant d'être filtrée par les membranes. L'eau filtrée est ensuite transférée à l'étape suivante à une pression de 0,27 bar et un débit de 376,5 m³/h pour chaque rack dispose d'un système de récupération d'énergie, où l'eau saumure, à une pression de 57

bars, est acheminée à travers des turbines pour récupérer son énergie, ce qui réduit sa pression à 2 bars, ce qui peut être facilement rejeté dans la mer. De plus, la turbine est utilisée pour alimenter en amont la pompe à haute pression.

I.6.2.4. Poste traitement

Après le processus d'osmose inverse, l'eau douce subit généralement un post-traitement pour ajuster sa qualité et la rendre propre à la consommation. Les étapes de post-traitement peuvent inclure :

Reminéralisation : Pour améliorer le goût de l'eau et prévenir la corrosion des canalisations, des minéraux essentiels tels que le calcium et le magnésium sont ajoutés. Cela permet de restaurer les caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

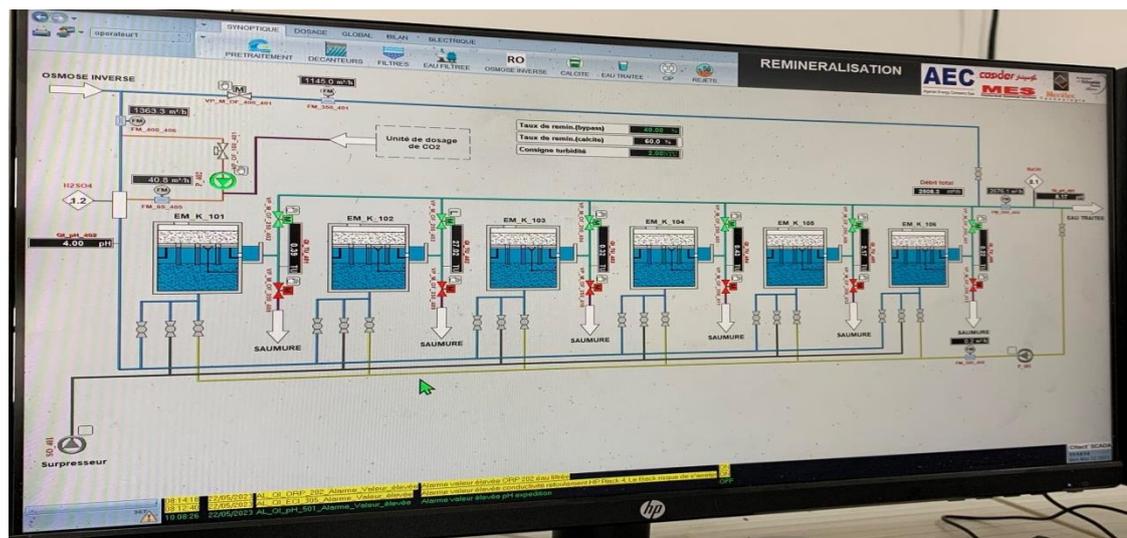


Figure I.24 Schéma de la reminéralisation

Une fois que l'eau a été traitée et reminéralisée, elle est acheminée vers les 5 réservoirs d'eau traitée situés dans la station de dessalement. Ces réservoirs servent de points de stockage temporaires pour l'eau douce avant sa distribution ultérieure. Des pompes de type centrifuge sont utilisées pour transférer l'eau traitée des réservoirs vers le réseau de distribution. Un système de contrôle automatique est mis en place pour réguler le fonctionnement des pompes en fonction des besoins en eau. Aussi des capteurs de niveau sont utilisés pour surveiller le niveau d'eau dans les réservoirs d'eau traitée.

L'usine de El Marsa est équipée de dispositifs de correction de la dureté et de l'alcalinité pour stabiliser la nature relativement agressive de l'eau dessalée produite et lui conférer un goût plus satisfaisant. Le système de reminéralisation se fait avec l'injection de la chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et CO_2

Un dispositif additionnel de désinfection par chloration NaClO est également inclus pour prévenir tout risque de développements bactériens dans les réservoirs et les systèmes de distribution.

I.7 Conclusion :

En conclusion de ce chapitre, nous avons examiné en détail le processus de dessalement d'eau de mer, en mettant l'accent sur la technique d'osmose inverse. Cette méthode de dessalement est largement utilisée en raison de ses avancées technologiques, de ses membranes efficaces et de sa durée de vie prolongée. Nous avons également abordé les différentes techniques de dessalement, telles que la distillation et l'électrodialyse.

En ce qui concerne les pompes utilisées dans les installations de dessalement, nous avons discuté des différents types de pompes et de leurs systèmes de démarrage,

Enfin, nous avons abordé le projet de dessalement d'eau de mer d'El Marsa à Alger. Ce projet, soutenu par Schneider Electric, vise à mettre en place une station de dessalement d'eau de mer basée sur la technique de l'osmose inverse. Cette installation aura une capacité de production de 60 000 mètres cubes par jour, contribuant ainsi à résoudre les problèmes de pénurie d'eau dans la région.

En somme, le dessalement d'eau de mer et plus particulièrement la méthode de l'osmose inverse, associés aux systèmes de pompes et aux projets tels que celui d'El Marsa, jouent un rôle crucial dans la fourniture d'une source d'eau potable durable et fiable, en répondant aux défis liés à la croissance démographique et à la rareté des ressources en eau.

Chapitre II

Dimensionnement de l'installation

CHAPITRE II : Dimensionnement de l'installation

II.1. Introduction

Le dimensionnement et l'étude d'un schéma électrique sont des étapes cruciales dans la conception de tout système électrique. Ces étapes permettent d'assurer le bon fonctionnement du système, de garantir la sécurité des utilisateurs et de minimiser les coûts de construction et de maintenance.

Dans ce chapitre, nous allons examiner les principes de base du dimensionnement et de l'étude d'un schéma électrique. Nous allons commencer par le schéma électrique, les symboles électriques. Ensuite, nous allons passer au calcul des puissances et des intensités, et le dimensionnement des câbles et des protections. Enfin on va comparer nos résultats obtenus dans les bilans de puissance avec les logiciels de conceptions Ecostructure pour la partie BT et CANECO HT pour toute l'installation.

II.2. Schéma unifilaire

Le schéma unifilaire représente tous les câbles et les éléments de l'installation électrique à l'aide de symboles spécifiques

Il Fournit les bases d'établissement et de réalisation physique de l'installation,

- Faciliter les essais (mise en service),
- Faciliter la maintenance et les dépannages plus rapidement.

Le schéma unifilaire illustre un système de distribution électrique comprenant un poste de livraison qui est connecté à des transformateurs, lesquels sont également reliés aux sous-stations.

II.2.1. Poste de livraison

Le poste de livraison est représenté par la Figure ci-dessous

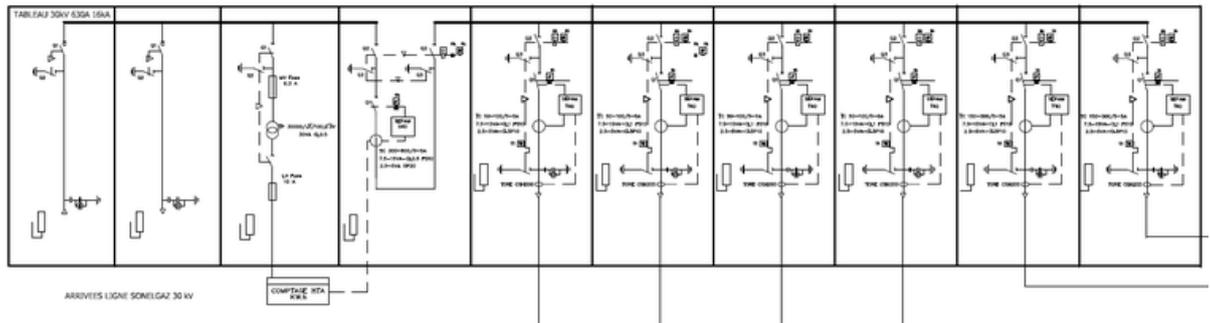


Figure.II.1 poste de livraison

Ce poste de livraison est divisé en deux parties

II.2.1.1. Partie Sonelgaz

Elle est constituée de trois cellules

- Cellule arrivée « IM » : Sonelgaz fournit 30kV /630A à la station en côté gauche le plus proche de la ligne de distribution.
- Cellule départ « IM » : cette cellule est installée pour assurer la continuité de service car Sonelgaz fournit de l'électricité à ses clients en chaîne fermée où chaque client peut fournir de la puissance au client le plus proche, et il peut recevoir de ce dernier aussi en cas de panne.
- Cellule comptage CM : elle est installée pour la supervision de la puissance consommée par le client en mesurant la tension prélevée par des TP « transformateur de puissance ». Un transformateur de puissance est un convertisseur qui permet de modifier les valeurs de la tension et de l'intensité du courant, délivrées par une source d'Énergie Électrique alternative en un système de tension et du courant de valeurs différentes, mais de même forme et de même fréquence. Et le courant par des TC « transformateur de courant » après on calcule la puissance active.

II.2.1.2. Partie client

La partie client est composé de :

- Cellule de protection générale DM2 : Elle est responsable de détecter les anomalies telles que les courts-circuits, les surcharges, les variations de tension, et de prendre les mesures appropriées pour éviter les dommages aux équipements et garantir la continuité de l'alimentation électrique. Elle est constituée de deux sectionneurs et un disjoncteur.
- Cellule de protection transformateur DM1 : ce dispositif de protection de chaque unité peut inclure des relais de protection autoalimentés, apportant un niveau élevé de sécurité et des Transformateurs de Courant (TC) qu'est utilisé pour mesurer de forts courants Electriques. Il sert à faire l'adaptation entre le courant Elevé circulant dans un circuit électrique (jusqu'à quelques milliers d'ampères) et le relais de protection, qui eux sont prévus pour mesurer les courants de l'ordre d'ampère. Ce poste de livraison alimente directement deux grandes sous-stations avec 2 transformateurs MT/BT qui fonctionnent en même temps et un générateur de secours (GE)
- Poste de distribution : les charges sont situées à 1500m du poste de livraison ce qui nécessite l'installation d'un poste de distribution lors de la transmission de puissance sur des distances de plusieurs kilomètres, il est important de choisir des lignes à moyenne tension. L'objectif est de réduire la perte de ligne. La perte en ligne est causée par l'effet Joule, qui ne dépend que de deux paramètres : la résistance et le courant. Pour la puissance d'émission équivalente ($P = \sqrt{3}.U. I \cos \varphi$), l'utilisation d'une moyenne tension permet de réduire le courant et donc de réduire la perte. De plus, il n'y a que deux facteurs pour réduire la résistance électrique aux fréquences industrielles, la résistivité des matériaux utilisés pour fabriquer les câbles de transmission et la section de ces câbles.

II.3. Bilan de puissance

Le bilan de puissance est une opération qui consiste à effectuer un bilan de courant en évaluant la consommation de chaque appareil et équipement électrique à son niveau jusqu'à la source. La puissance électrique d'un équipement est relative au travail qu'il peut effectuer à un moment donné. C'est donc la quantité d'énergie qu'un appareil peut générer et convertir lors de

son utilisation. Pour effectuer le bilan de puissance on suit la méthode de BOUCHEROT tel que la puissance active totale est la somme algébrique des puissances actives de chaque récepteur. Il en est de même pour la puissance réactive mais pas pour la puissance apparente

- **Puissance active :**

La puissance active représente la quantité d'énergie électrique réellement dissipée, consommée ou fournie par un appareil, un système ou un réseau électrique.

Cette puissance s'exprime en : kW

Et par l'expression en triphasée :

$$P = \sqrt{3} U.I. \cos\varphi$$

Tel que :

U : Tension composée

Cos φ : Facteur de puissance

- **Puissance réactive :**

Est une mesure de l'énergie qui oscille entre les sources d'alimentation et les éléments réactifs d'un circuit électrique sans être convertie en travail utile. Elle est associée aux composants réactifs tels que les bobines et les condensateurs.

Cette puissance est dite « improductive » pour l'utilisateur. L'expression de la puissance réactive est en Triphasé par :

$$Q = \sqrt{3} U.I. \sin\varphi$$

- **Puissance apparente**

La puissance apparente est la puissance maximale disponible pour faire fonctionner une installation électrique. C'est la somme trigonométrique de la puissance active et de la puissance réactive. Exprimée en Volt-Ampère (VA)

En triphasé : $S = \sqrt{3} U.I$ ou $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

S : Puissance apparente [VA]

U : Tension composée [V]

I : Courant [A]

P : Puissance active [W]

Q : Puissance réactive [VAR]

Dans notre cas pour l'installation électrique de la station de pompage on a comme données : la puissance active (P), $\cos \varphi$ et la tension de chaque équipement donc pour pouvoir calculer le courant nécessaire on doit d'abord déterminer la puissance réactive (Q) et la puissance apparente (S)

Tel que $Q = P.tang(\varphi)$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Et le courant $I = \frac{S}{\sqrt{3}U}$.

Donc on a calculé tous les courants de chaque charge qui fonctionne en redondance en appliquant le principe de (n-1) ;si on a 5 moteurs de même puissance dans la même station on prend en considération seulement 4 moteurs car ils travaillent en redondance, après on a calculé les puissances globales d'une part et d'une autre part on rajoute 20% de la puissance totale à la valeur de celle-ci pour garantir que le système a une capacité suffisante pour faire face à des charges imprévues ou à des situations de pointe.

Ce qui nous a permis d'avoir ces différents tableaux qui représente les bilans de puissance de chaque sous-station et pouvoir les comparer avec les valeurs du courant indiqué dans le schéma unifilaire.

• **Sous-station 3.2 :**

La figure II.3 représente le schéma de la sous-station 3.2

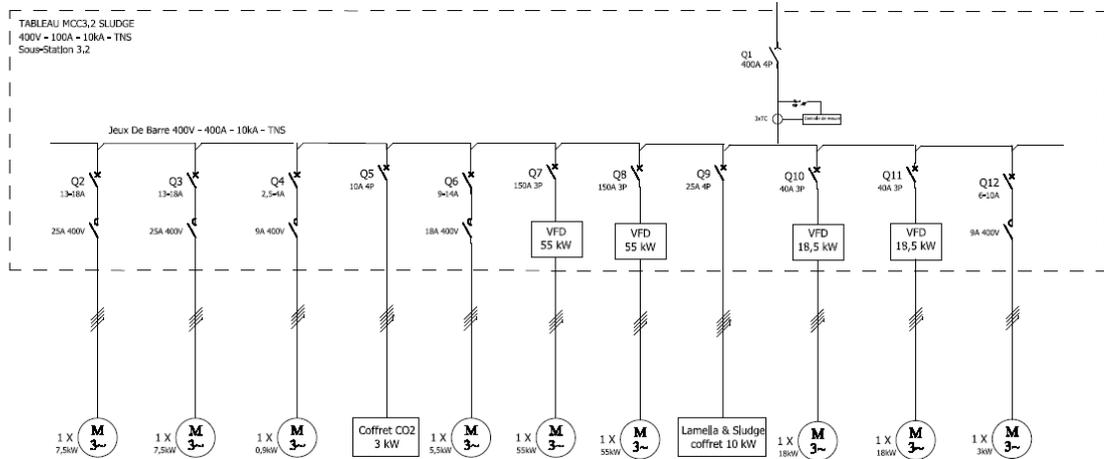


Figure II.2 Schéma unifilaire de la sous-station 3.2

Cette sous-station se compose de deux moteurs de 7.5 kW, deux de 55 kW, deux de 18 kW, un de 5.5 kW, un de 3 kW, un de 0.9 kW et une charge de 3kW

Les moteurs de même puissance fonctionnent en redondance (n-1) ce qui explique le calcul fait dans ce (tableau 1) ci-dessous

Tableau 1 bilan de puissance de la sous-station 3.2

Tableau MCC 3,2 SLUDGE 400 V - 400 A - 10KA - TNS Sous station 3,2									
tab1	P(KW)	cos(phi)	U(v)	Phi	tng(phi)	Q(KVAR)	S(KVA)	I(A)	
	7,5	0,87	400	29,5413605	0,56672612	4,25044587	8,62068966	12,4428937	
	0,9	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,5100535	1,03448276	1,49314725	
	3	0,85	400	31,7883306	0,61974434	1,85923302	3,52941176	5,09426708	
	5,5	0,87	400	29,5413605	0,56672612	3,11699364	6,32183908	9,12478874	
	55	0,87	400	29,5413605	0,56672612	31,1699364	63,2183908	91,2478874	
	10	0,85	400	31,7883306	0,61974434	6,19744338	11,7647059	16,9808903	
	18	0,87	400	29,5413605	0,56672612	10,2010701	20,6896552	29,862945	
	3	0,87	400	29,5413605	0,56672612	1,70017835	3,44827586	4,97715749	
Totale	102,9		400			59,0053543	118,617207	171,209191	
avec 20%	123,48		400			70,8064251	142,340649	205,451029	

Dans ce cas le courant calculé pour chaque charge respecte l'intervalle de courants admissible dans chaque disjoncteur du schéma unifilaire, on prend exemple de la charge de 7.5 kW on a trouvé I=12.44 A, qui peut passer parfaitement dans le câble vu qu'il est inférieur à la

valeur indiqué sur le schéma unifilaire, c'est le même cas pour toute les charges on les comparant avec les valeurs du courant dans le schéma unifilaire on trouve une certaine similarité , finalement on confirme nos calculs avec le courant des jeux de barre dans les deux cas pour la puissance totale avec $I=171.209$ A et pour la puissance totale en rajoutant les 20% où on trouve $I=205.45$ A dans ces deux cas le courant respecte parfaitement l'intervalle indiqué dans le schéma qui est de $I= 400$ A.

• **Sous-station 3.1 :**

Cette sous-station (Figure 2.5)se compose de plusieurs moteurs de faible puissance :deux charges de 3kW, quatre moteurs de 0.09kW, quatre de 0.12kW, ,trois moteurs de 0.25kW, un moteur de 0.75 kW, un moteur de 1 kW et douze moteurs de 1.5kW

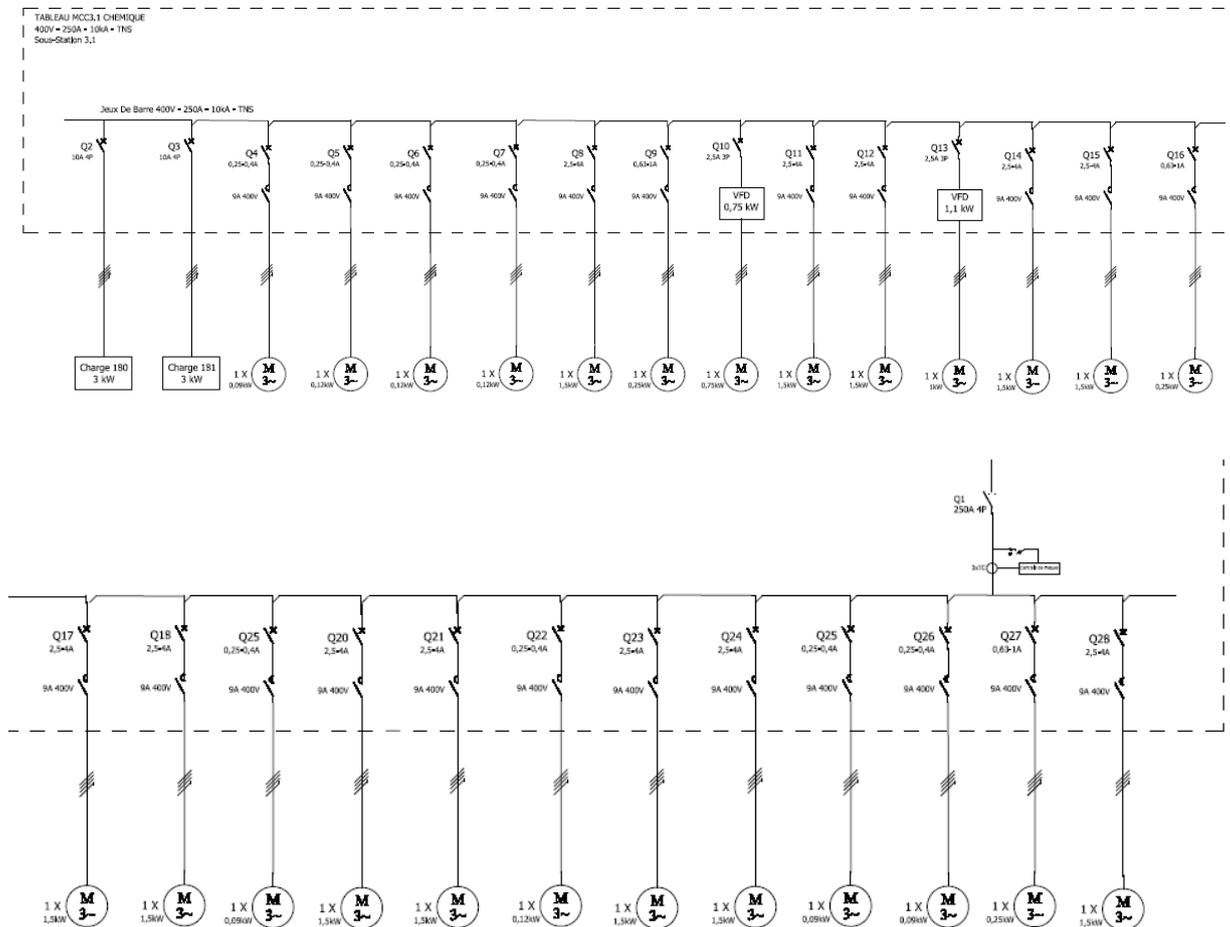


Figure II.3 Schéma unifilaire de la sous-station 3.1

Tableau 2 Bilan de puissance de la sous-station3.1

Tableau MCC 3,1 CHIMIQUE 400V-250A-10KA-TNS Sous station 3,1									
tab2	p(Kw)	cosphi	U(v)	phi	tangphi	Q(KVAR)	S(KVA)	I(A)	
	3	0,87	400	29,5413605	0,56672612	1,70017835	3,44827586	4,97715749	
	3	0,87	400	29,5413605	0,56672612	1,70017835	3,44827586	4,97715749	
	0,09	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,05100535	0,10344828	0,14931472	
	0,12	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,06800713	0,13793103	0,1990863	
	0,12	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,06800713	0,13793103	0,1990863	
	0,12	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,06800713	0,13793103	0,1990863	
	1,5	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,85008917	1,72413793	2,48857875	
	0,25	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,14168153	0,28735632	0,41476312	
	0,75	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,42504459	0,86206897	1,24428937	
	1,5	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,85008917	1,72413793	2,48857875	
	1,5	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,85008917	1,72413793	2,48857875	
	1	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,56672612	1,14942529	1,6590525	
	1,5	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,85008917	1,72413793	2,48857875	
	1,5	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,85008917	1,72413793	2,48857875	
	0,25	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,14168153	0,28735632	0,41476312	
	1,5	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,85008917	1,72413793	2,48857875	
	1,5	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,85008917	1,72413793	2,48857875	
	0,09	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,05100535	0,10344828	0,14931472	
	1,5	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,85008917	1,72413793	2,48857875	
	1,5	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,85008917	1,72413793	2,48857875	
	0,12	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,06800713	0,13793103	0,1990863	
	1,5	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,85008917	1,72413793	2,48857875	
	1,5	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,85008917	1,72413793	2,48857875	
	0,09	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,05100535	0,10344828	0,14931472	
	0,09	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,05100535	0,10344828	0,14931472	
	0,25	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,14168153	0,28735632	0,41476312	
	1,5	0,87	400	29,5413605	0,56672612	0,85008917	1,72413793	2,48857875	
	Totale	27,34		400		15,494292	31,4252874	45,3584953	
	avec 20%	32,808		400		18,5931504	37,7103448	54,4301943	

Ces valeurs de puissances indiquées dans le (Tableau 2) engendre la diminution de la consommation d'énergie électrique, le courant calculé dans le jeu de barre est de 54 A, ce que ne dépasse pas la valeur indiquée dans le schéma de 250 A, et c'est le même cas pour les différentes charges. Par exemple pour le moteur de 3kW le courant calculé est I=4.97 que le courant de protection est 10 A ce que confirme nos calculs.

• **Sous-station 3**

Elle se compose des moteurs de grandes puissances, deux moteurs de 500 kW, deux moteurs de 355 kW, trois moteurs de 110kW, deux de 75 kW, deux de 55 kW et quatre de 30 kW comme montre la Figure 2-6

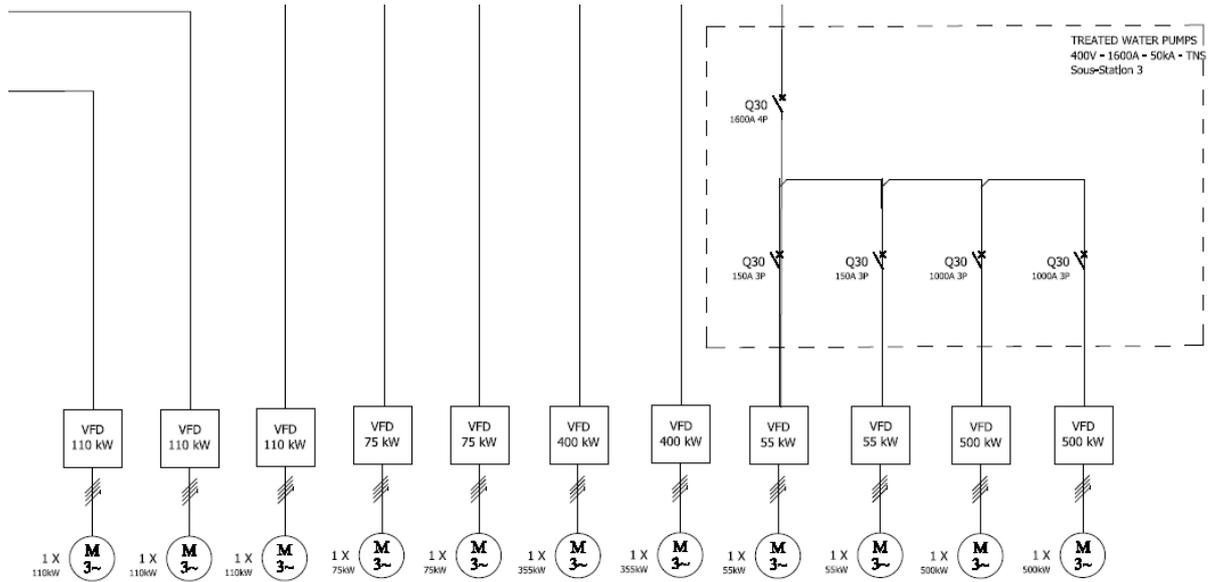


Figure II.4 Schéma unifilaire de la sous-station 3

Tableau 3 Bilan de puissance de la sous-station 3

Tableau (sous station 3)+ Treated water pimps 400v-1600A-50KA-TNS Sous station 3									
tab3		p(Kw)	cosphi	U(v)	phi	tangphi	Q(KVAR)	S(KVA)	I(A)
		110	0,87	400	29,5413605	0,56672612	62,3398728	126,436782	182,495775
		110	0,87	400	29,5413605	0,56672612	62,3398728	126,436782	182,495775
		75	0,87	400	29,5413605	0,56672612	42,5044587	86,2068966	124,428937
		355	0,87	400	29,5413605	0,56672612	201,187771	408,045977	588,963637
		55	0,87	400	29,5413605	0,56672612	31,1699364	63,2183908	91,2478874
		500	0,87	400	29,5413605	0,56672612	283,363058	574,712644	829,526249
		30	0,87	400	29,5413605	0,56672612	17,0017835	34,4827586	49,7715749
		30	0,87	400	29,5413605	0,56672612	17,0017835	34,4827586	49,7715749
		30	0,87	400	29,5413605	0,56672612	17,0017835	34,4827586	49,7715749
	Totale	1295					733,910321	1488,50575	2148,47298
	avec 20%	1554					880,692385	1786,2069	2578,16758

Pour cette sous-station les moteurs ont des grandes puissances ce qui implique une forte consommation d'énergie et un courant très important, sa valeur calculée est de 2.1 kA et de 2.57 kA avec l'ajout des 20% de la puissance tandis que celle indiquée sur le schéma unifilaire est de 4 KA, les calculs faits et les courants indiqués sont presque similaires et cette différence est dû au 20% qu'on a ajouté

- **Sous-station2**

Elle est composée des moteurs de grandes puissances, deux moteurs de puissance 132 kW, cinq moteurs de 110 kW, quatre moteurs de 355 kW. Cette sous station est représenté par la figure 2-7

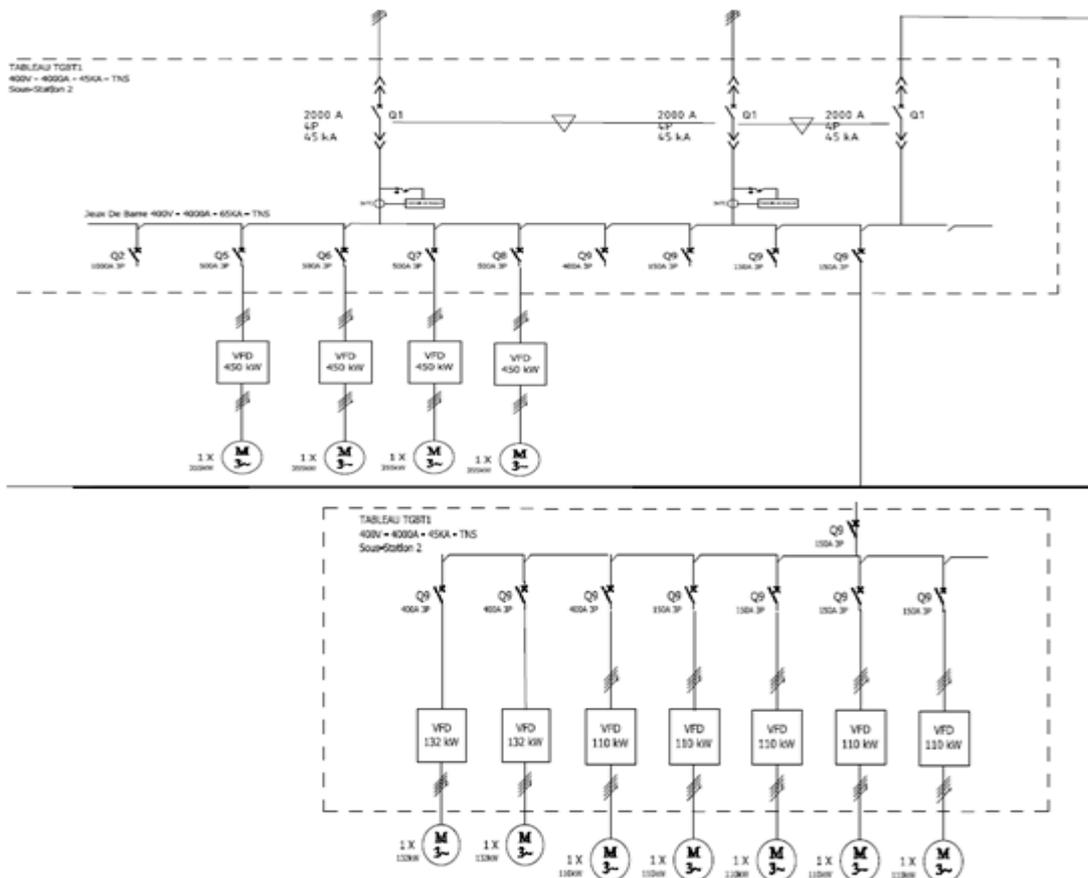


Figure II.5 Schéma de la sous-station 2

Tableau 4 bilan de puissance de la station 2

Tableau TGBT1 400V-4000A-45KA-TNS Sous-station-2									
		p(Kw)	cosphi	U(v)	phi	tangphi	Q(KVAR)	S(KVA)	I(A)
		132	0,87	400	29,5413605	0,56672612	74,8078474	151,724138	218,99493
		110	0,87	690	29,5413605	0,56672612	62,3398728	126,436782	105,794652
		110	0,87	690	29,5413605	0,56672612	62,3398728	126,436782	105,794652
		110	0,87	690	29,5413605	0,56672612	62,3398728	126,436782	105,794652
		110	0,87	690	29,5413605	0,56672612	62,3398728	126,436782	105,794652
		355	0,87	690	29,5413605	0,56672612	201,187771	408,045977	341,428195
		355	0,87	690	29,5413605	0,56672612	201,187771	408,045977	341,428195
		355	0,87	690	29,5413605	0,56672612	201,187771	408,045977	341,428195
	Totale	1637		400			603,563314	1744,72281	2518,29046
	avec 20%	1964,4		400			724,275977	2093,66737	3021,94855

Dans cette sous-station a de grandes valeurs de puissances ce qui entraine une grande consommation de courant dans les alentours de $I=2.58 \text{ kA}$, et en ajoutant les 20% de la puissance totale on trouve le courant $I=3.02 \text{ kA}$ est compatible avec le courant indiqué dans le schéma unifilaire de 4 kA .

• **Sous-station 2.1**

Cette sous-station est composée de quatre moteurs de 355kW qui sont issu du jeu de barre de 2.5 kA,

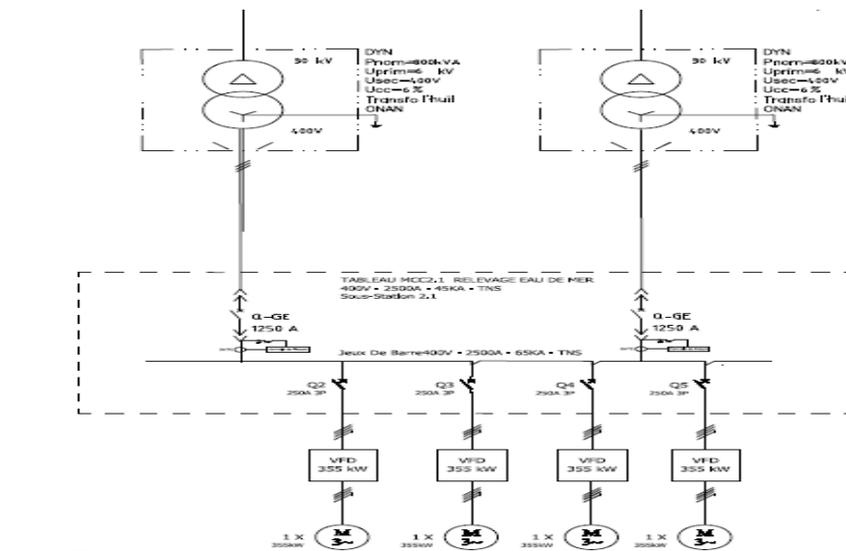


Figure II.6 Schéma unifilaire de la sous-station 2.1

Tableau 5 bilan de puissance de la sous-station 2.1

Tableau MCC2,1 ,RELEVAGE EAU DE MER 400V-2500A-45KA-TNS Sous station 2,1									
	p(Kw)	cosphi	U(v)	phi	tangphi	Q(KVAR)	S(KVA)	I(A)	
	355	0,87	690	29,5413605	0,56672612	201,187771	408,045977	341,428195	
	355	0,87	690	29,5413605	0,56672612	201,187771	408,045977	341,428195	
	355	0,87	690	29,5413605	0,56672612	201,187771	408,045977	341,428195	
Totale	1065		400			603,563314	1224,13793	1766,89091	
avec 20%	1278		400			724,275977	1468,96552	2120,26909	

Notre calcul du courant a confirmé la valeur indiquée dans le schéma unifilaire, qu'on a trouvé $I=1.76$ kA et avec les 20% rajouté à la puissance totale on a trouvé $I=2.1$ kA ce qui est compatible avec le courant du jeu de barre, et les deux transformateurs délivrent une puissance de 1.6 MVA ce qui est compatible avec nos calculs puisque on a trouvé une puissance apparente consommée par les moteurs est de 1.2 MVA et 1.4 MVA avec ajout de 20%.

• **Sous-station 1**

Elle est composée de cinq moteur de grandes puissances de 1600 kW des variateurs de vitesse de type ATV 6000

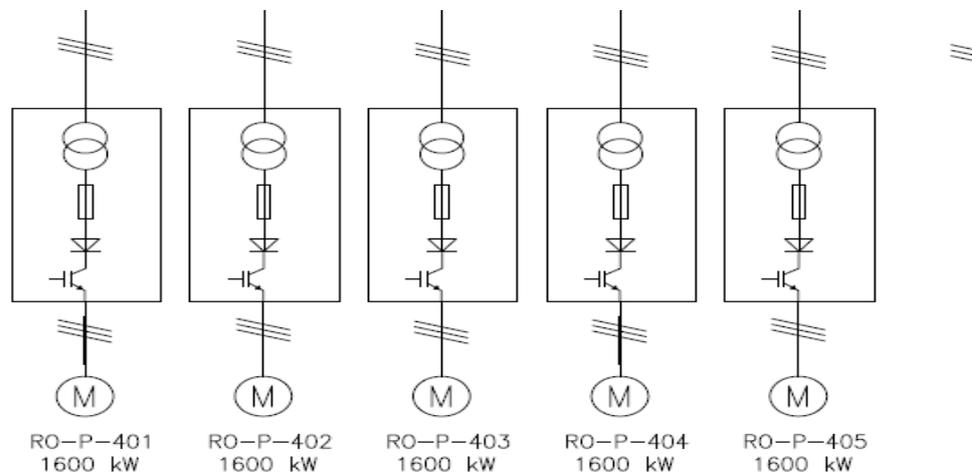


Figure II.7 Schéma unifilaire de la sous-station 1

Tableau 6 Bilan de puissance de la sous-station 1

Tableau 6KV-1250A-25KA									
Sous station 1									
		p(Kw)	cosphi	u(v)	phi	tangphi	Q(K VAR)	S (KVA)	I (A)
	moteur2	1600	0,87	6000	29,5413605	0,56672612	906,761787	1839,08046	176,9656
	moteur3	1600	0,87	6000	29,5413605	0,56672612	906,761787	1839,08046	176,9656
	moteur4	1600	0,87	6000	29,5413605	0,56672612	906,761787	1839,08046	176,9656
	moteur5	1600	0,87	6000	29,5413605	0,56672612	906,761787	1839,08046	176,9656
	Totale	4800					3627,04715	6016,2672	578,915581
	avec 20%	5760					4352,45658	7219,52064	694,698697

Le courant total calculé est $I=578$ A et avec l'ajout des 20% on trouve $I=694$ A, alors que le jeu d barres de cette sous-station est de 1250A donc on confirme que notre calcul est juste.

- **Départ**

Pour déterminer le courant total de l'ensemble de l'installation, nous avons additionné les puissances de tous les jeux de barres qui sont principalement associés à un jeu de barres principal. Ces calculs sont représentés dans le tableau 7.

Tableau 7 Bilan de puissance de jeu de barre de départ

le départ						
		p(Kw)	u(v)	Q(K VAR)	S (KVA)	I (A)
		1710,288	30000	970,318068	1966,36777	37,8427653
		355	30000	201,187771	408,045977	7,85284849
		1278	30000	724,275977	1468,96552	28,2702546
		5760	30000	4352,45658	7219,52064	138,939739
	totale	9103,288	30000	6248,23839	11041,3013	212,489943
	totale+0,2totale	10923,9456	30000	7497,88607	13249,5616	254,987932
	total +630kVA	13108,7347	30000		13879,5616	267,112288

Avec les calculs on a trouvé le courant total $I=212.231$ A pour le départ

Et $I=254.98$ A avec l'ajout de 20% et on ajoute aussi une puissance de 630 kVA pour les auxiliaires (éclairage, climatisation...) cette valeur est estimée par l'ingénieur responsable de ce projet, dont on trouve le courant $I=267.109$ A et ce qui reste toujours inférieure au courant indiqué dans le schéma unifilaire $I=1250$ A délivré par la Sonelgaz .

II.3.1. Vérification des protections :

Dans cette station de dessalement, plusieurs types de dispositifs de protection ont été mis en place. En réalisant des calculs de courants de court-circuit, nous avons effectué des vérifications de protection pour chaque sous-station. Pour ces calculs, nous utilisons la puissance réelle, qui est basée sur la consommation spécifique de la pompe,

- **Sous station 2.1**

Dans cette sous-station, il existe une différence entre la puissance des moteurs (355 KW) et la puissance consommée par la charge (pompes) (250 KW). Ainsi, lors de la vérification des courants de protection, on prend en considération la puissance consommée des charges. Les détails concernant cette vérification sont indiqués ci-dessous (Figure 2-10)

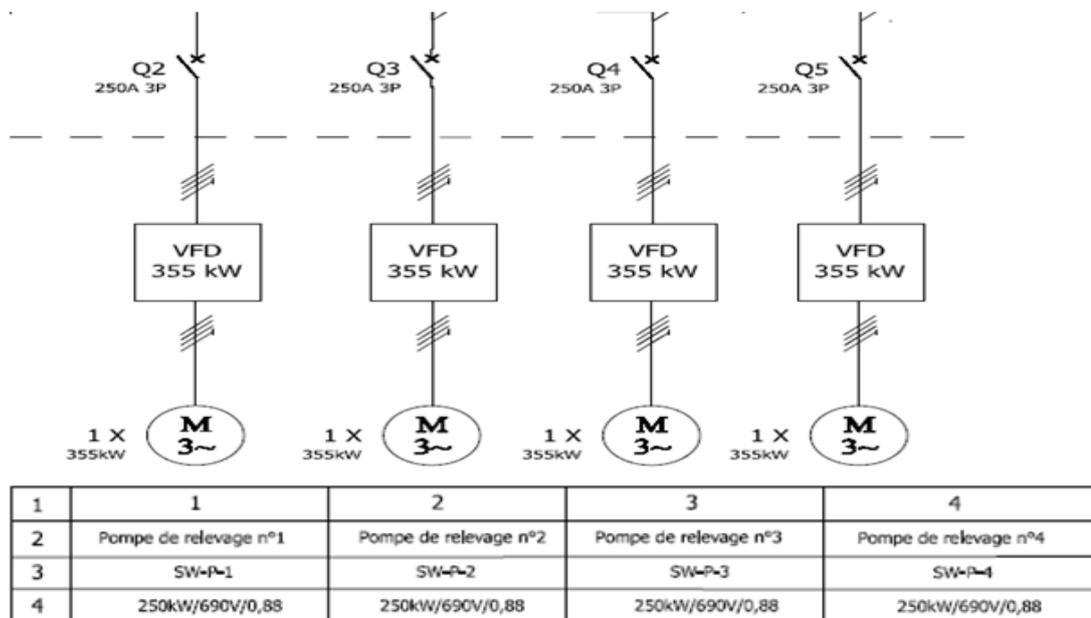


Figure II.8 Schéma unifilaire de la sous-station 2.

Tableau 8 Tableau de vérification des courants de courts de sous station 2.1

Sous station 2,1								
p(Kw)	cosphi	U(v)	phi	tangphi	Q(KVAR)	S(KVA)	I(A)	I (A) disjonct
250	0,87	690	29,5413605	0,56672612	141,681529	287,356322	240,442391	250

Pour le moteur de 355 kW, la pompe alimentée par ce moteur consomme 250 kW , après le calcul du courant On constate que le courant admissible est de 240 A et la protection indiquée sur le disjoncteur est de 250 A. Ainsi, cette protection est suffisante pour assurer la sécurité et la fonctionnalité dans ce cas.

• **Sous-station 3**

Lors de l'observation de la sous-station (Figure II 13), nous avons remarqué que le schéma unifilaire indiquait une protection de 350 A pour un moteur de 75 kW et une protection de 150 A pour les moteurs de 355 kW. Afin de vérifier ces choix de protection, nous avons effectué les calculs mentionnés dans le Tableau 9.

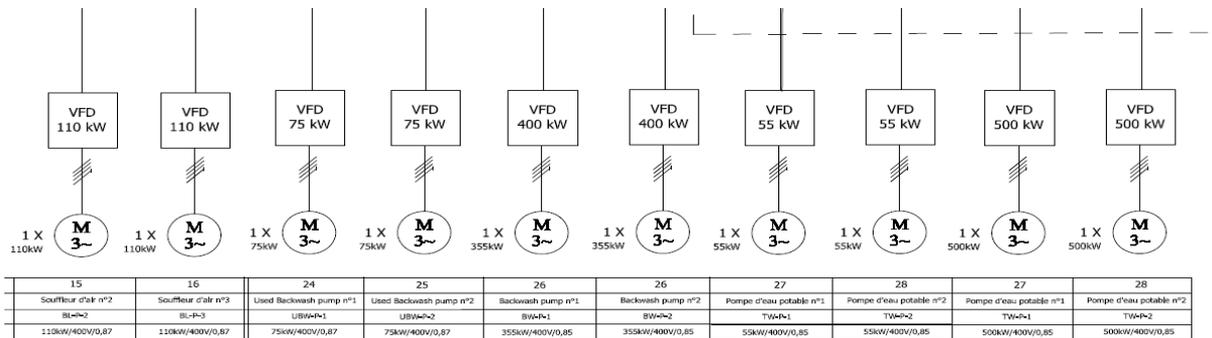


Figure II.9 quelques puissance des moteurs et la puissance consommées par les pompes

Tableau 9 les courants des câbles de la sous-station 3

Sous station 3			
tab3		p(Kw)	I(A) disjoncteur
		110	220
		75	320
		355	150
		55	150
		500	1000
		30	63

Dans ce cas, la puissance consommée par les pompes est équivalente à celle fournie par les moteurs. Lors du calcul des courants des câbles, on constate qu'ils sont adaptés à ceux indiqués sur le schéma unifilaire. Cependant, on observe un surdimensionnement des disjoncteurs. Par exemple, le moteur de 75 kW consomme un courant de 124,42 A, tandis qu'un disjoncteur de 320 A est indiqué, ce qui est admissible. En revanche, le moteur de 110 kW consomme 182,49 A, et un disjoncteur de 220 A est utilisé. Dans ces cas, les disjoncteurs choisis sont appropriés, mais leur dimensionnement ne l'est pas. En effet, pour un moteur de faible puissance, un disjoncteur avec un courant de coupure élevé a été utilisé, tandis que pour le moteur de grande puissance, un disjoncteur de capacité inférieure a été choisi par rapport à celui utilisé pour la petite puissance.

Et pour le moteur de 355 kW on a trouvé le courant 341.42A tandis que le courant indiqué dans le disjoncteur est de 150A ce qui signifie un sous-dimensionnement

Pour remédier à cette situation, il est recommandé de remplacer les disjoncteurs existants par des disjoncteurs ayant une capacité nominale appropriée pour les courants réels des moteurs. Pour le moteur de 110 kW, un disjoncteur d'une capacité supérieure à 182,49 A devrait être sélectionné pour assurer une protection adéquate. De même, pour le moteur de 355 kW, un disjoncteur d'une capacité supérieure à 341,42 A doit être utilisé.

II.4. Vérification par les logiciels :

II.4.1. Logiciel EcoStruxure Power Design :

EcoStruxure Power Design est un logiciel convivial qui gère les spécifications d'exploitation, tout au long de la conception de l'installation électrique du projet

Il permet de concevoir le schéma unifilaire et définir des propriétés telles que la puissance de charge, la polarité, l'agencement du système de mise à la terre, la longueur du câble et les conditions de fonctionnement.

Ainsi que la vérification de la cohérence des choix entre l'appareillage de commutation calculé et l'équipement recommandé et la cohérence du réseau électrique pour renforcer la sécurité des personnes.[12].

La sous-station EL MARSSA a été équipée de dispositifs Schneider tels que des variateurs de vitesse, des automates, etc. Pour faciliter la gestion et assurer une bonne

sélectivité entre ces équipements, le logiciel EcoStruxure utilise une bibliothèque unique de Schneider, ce qui permet une intégration harmonieuse des différents composants et une coordination efficace entre eux.

II.4.1.1. Description des sous-stations par Ecostruxure

La station de dessalement d'eau de mer comporte deux sous-stations BT et un post MT (qu'on ne peut pas dimensionner par ce logiciel)

- **Sous-station 2 :**



Figure II.10 Schéma unifilaire de la sous-station 2 par Ecostruxure

Le logiciel nous donne un large choix pour les équipements (sources, protections disjoncteur, fusible, transformateurs MT/BT et pour les charges (moteurs avec différentes mode de démarrage)

On prend exemple de la source HTA, où on peut modifier ses paramètres : la valeur de la tension, dans notre cas c'est 30kV, le transformateur 30kV/400 V passant par la puissance apparente minimum et maximum qu'il peut délivrer ce qui indiquer ci-dessous

Ce logiciel détermine le dimensionnement des câbles par défaut dans ce cas, on remarque que le courant calculé délivré par la source est de 3.6 kA et le courant qui passe par le jeu de barre indiqué dans le schéma est 7217 A ce qu'est entre dans la marge [4-65] kA

Et on peut vérifier aussi toutes les charges de la station avec la possibilité de modifier le type de démarrage, la valeur de la puissance et la longueur des câbles. Et le logiciel nous donne la main pour choisir le disjoncteur adéquat pour assurer la protection des équipements tout dépend la valeur de la puissance, en général pour les petites valeurs de puissances c'est par défaut tandis que pour les grandes valeurs de puissances (300-500 kW) c'est à l'utilisateur de faire le choix des disjoncteurs.

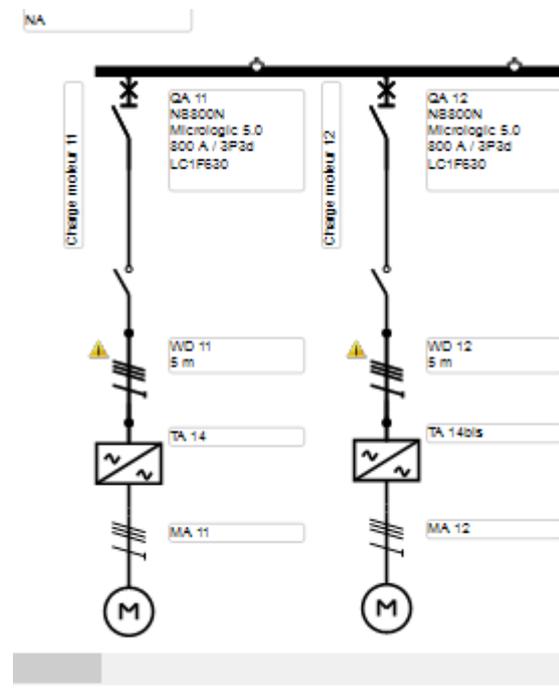


Figure II.11 Les charges avec les protections

Il donne accès à tous les paramètres pour pouvoir les modifier tel que la puissance du transformateur, longueur du câble, type de démarrage des moteurs (direct, avec variateur de vitesse) ainsi que le domaine d'utilisation du moteurs (fluide, pompes...) ce qui est présenter ci-dessous

ction

Moteur

Pmr (kW) 132

Avec protection thermique ? Oui

I^d/I_r <=19

I_r (A) 230

Cos φ 0,87

Départ moteur

Puissance mécanique utilisée pour le dimensionnement (kW) 132

I_r dimensionnement 230

Type de démarrage Variateur de vitesse

Type application Application de fluide

Contacteur

Avec contacteur ? Oui

Type de coordination Type 1

Implémentation du contacteur Séparé

Variateur de vitesse

Polarité 3 phases

Surcouple transitoire Fort couple

IP IP21

Figure II.12 Paramètres du moteur

Dans ce guide de choix des moteurs on peut modifier les paramètres : la puissance active, le courant thermique de déclenchement est égal à 230A , le facteur de puissance de 0.87 et on peut déterminer le type de démarrage (direct, étoile triangle, par variateur de vitesse) et pour tout type d'application et tout est indiqué dans la figure ci-dessus

- **La sous-station 3**

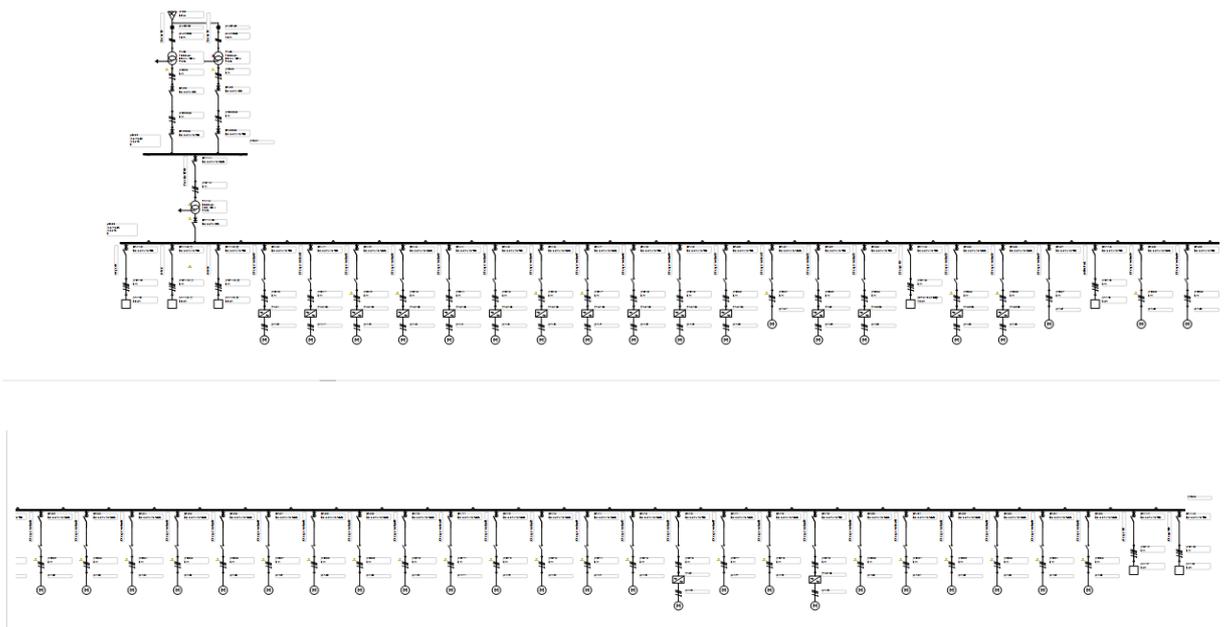


Figure II.13 Schéma unifilaire de la sous-station 3

On refait les mêmes étapes de la sous-station 2

Ce qui diffère de la sous-station 2 c'est le nombre de charges qui est beaucoup plus important dans celle-ci avec différentes valeurs de puissance, on trouve des grandes puissances de 500 kW et aussi des petites de 0.12 kW

Dans le cas des grandes puissances on doit choisir le disjoncteur adéquat et cela en tenant compte des courants des câbles calculés dans le bilan de puissance et on choisit une gamme de disjoncteur qui supporte ce courant tandis pour les petites puissances on a le choix de déterminer le disjoncteur ou laisser le logiciel le choisir par défaut. Ce qui est montré dans la figure ci-dessous

1. Sélection ?

Produits calculés Intégralité du catalogue

Type de norme Industriel Domestique	Gamme Acti9 iC40 Acti9 iCV40 Acti9 iDPN Acti9 iDPN Arc Acti9 iC80 Acti9 DT40 Acti9 DT80 Acti9 C120 Acti9 NS125	Désignation NS630bN NS800N NS1000N NS1250N NS1600bN NS1600N NS2000N NS2500N NS3200N	Calibre (A) 1000	Pôles 3P3d 4P3d 4P3d+Nr 4P3d+Ns 4P4d	Déclencheur / Courbe Micrologic 2.0 Micrologic 2.0 A Micrologic 2.0 E Micrologic 5.0 Micrologic 5.0 A Micrologic 5.0 E Micrologic 5.0 P Micrologic 6.0 A Micrologic 6.0 F
--	--	--	----------------------------	--	--

Calibre déclencheur (A)
1000

2. Produit

Type de norme	Industriel	Gamme	ComPacT NS630b-3200
Désignation	NS1000N	Calibre (A)	1000
Pôles	3P3d	Déclencheur / Courbe	Micrologic 5.0
Calibre déclencheur (A)	1000	Pouvoir de coupure (kA) - 400 V	50

Figure II.14 Guide de choix du disjoncteur pour les grandes puissances

Et pour les petites puissances le logiciel désigne par défaut les disjoncteurs ;

1. Sélection ?

Produits calculés Intégralité du catalogue

Type de norme Industriel	Gamme Acti9 P25M TeSys GV2	Désignation P25M	Calibre (A) 0,4	Pôles 3P3d	Déclencheur / Courbe M
-----------------------------	----------------------------------	---------------------	--------------------	---------------	---------------------------

Calibre déclencheur (A)
0,4

2. Produit

Type de norme	Industriel	Gamme	Acti9 P25M
Désignation	P25M	Calibre (A)	0,4
Pôles	3P3d	Déclencheur / Courbe	M
Calibre déclencheur (A)	0,4	Pouvoir de coupure (kA) - 400 V	150

Figure II.15 Guide de choix du disjoncteur des petites puissances

Pour le dimensionnement des câbles, Ecostruxture détermine les paramètres des câbles par défaut ce qui est type de matériaux, longueur et section tout en prenant en considération le courant délivrer par la source et la puissance des charges mais on peut les modifier en cas de besoin.

II.4.1.2. La sélectivité des disjoncteurs [13]

- **Définition**

C'est la coordination des dispositifs de coupure automatique de telle sorte qu'un défaut, survenant en un point quelconque du réseau, soit éliminé par le disjoncteur placé immédiatement en amont du défaut et par lui seul. Elle permet de déconnecter du réseau le départ immédiatement placé en amont du défaut (Ex : Surcharge, court-circuit, fuite de courant à la terre, absence temporaire de tension). Elle permet, en cas de défaut, d'assurer la continuité de service d'un maximum de circuits tout en assurant la sécurité de l'installation

La sélectivité totale :

La distribution est dite totalement sélective si, et seulement si, quelle que soit la valeur du courant de défaut, seul le dispositif de protection situé le plus en aval, parmi ceux sollicités par le défaut, s'ouvre et reste ouvert.[14]

La sélectivité partielle :

La sélectivité est dite partielle lorsque seule la protection immédiatement en amont élimine le défaut jusqu'à une certaine valeur, puis une autre protection située en amont de la précédente assurera la protection pour des valeurs de courant de défaut supérieures à la précédente.

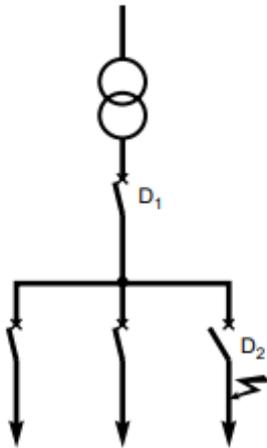


Figure II.16 Sélectivité totale

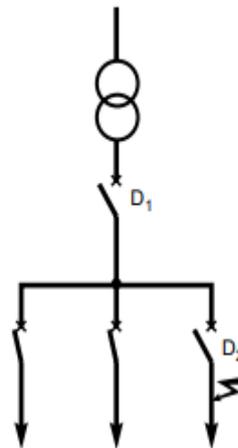


Figure II.17 Sélectivité partielle

La distinction entre la sélectivité partielle et totale se fait en fonction de la position des courbes de déclenchement et de non-déclenchement des protections aval et amont. Si la courbe de déclenchement de la protection aval croise la courbe de non-déclenchement de la protection amont, la sélectivité est dite partielle et la limite de sélectivité correspond au courant auquel les courbes se croisent. Si cette limite est inférieure aux courants de court-circuit susceptibles de se produire sur le circuit protégé par la protection aval, alors la sélectivité est dite partielle. En revanche, si la limite de sélectivité est supérieure au plus grand courant de court-circuit susceptible de se produire sur le circuit protégé par la protection amont, alors la sélectivité est totale.

Le logiciel EcoStruxure Power Design nous a permis de vérifier que les disjoncteurs sont correctement coordonnés pour assurer une sélectivité adéquate en cas de défaut électrique.

Ce qui est montré dans les figures ci-dessous

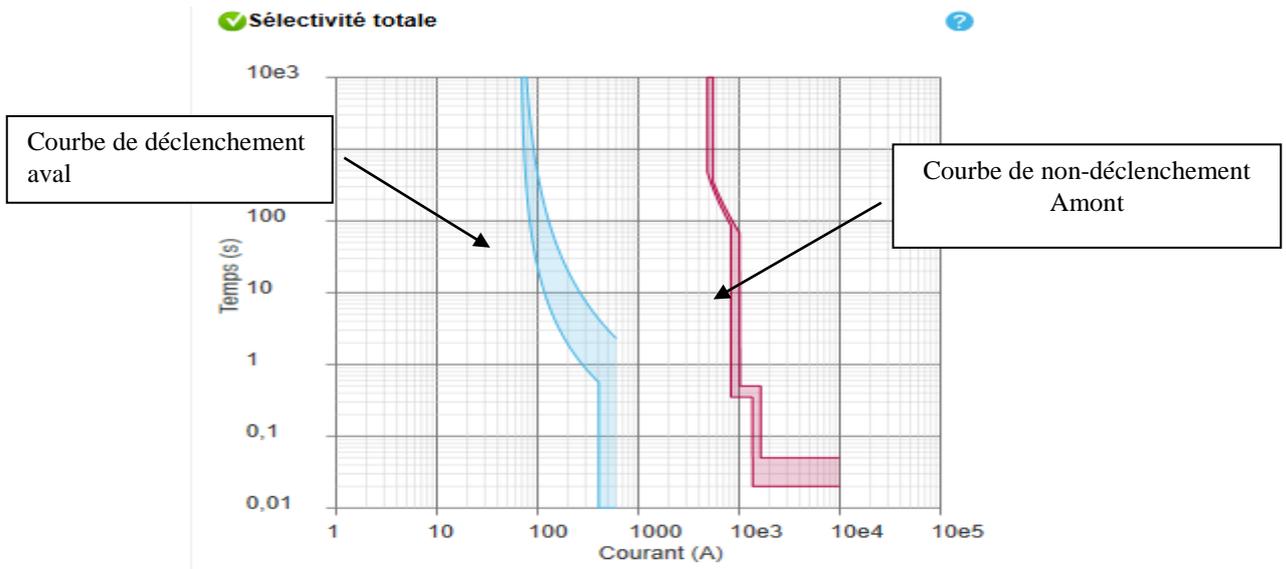


Figure II.18 Courbe de sélectivité totale

On remarque que la courbe de non-déclenchement du disjoncteur amont ne croise pas la courbe de déclenchement du disjoncteur aval ce qui signifie que la sélectivité est totale

La sélectivité partielle est représentée par la Figure ci-dessous

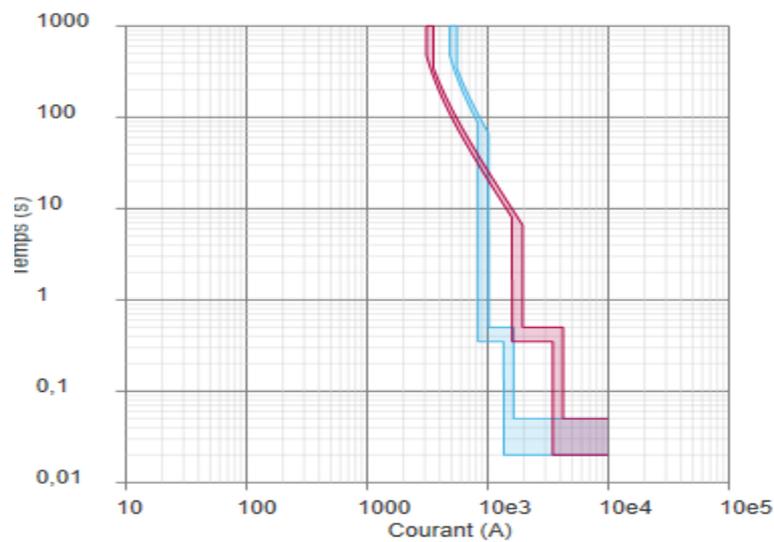


Figure II.19 Sélectivité partielle

On remarque que la courbe de non-déclenchement amont croise la courbe de déclenchement aval ce qui signifie une sélectivité partielle

II.4.2. Logiciel Caneco HT

Afin de vérifier toutes les valeurs de tous les câbles de la station et dimensionner les disjoncteurs on a opté pour le logiciel Caneco HT qu'est un logiciel de conception et vérification d'installations électriques moyenne et haute tension il permet la conception des installations il calcul les courants admissibles, les courants de court-circuit maximal, en fonction de l'impact des charges sur le réseau. Et permet de dimensionner et vérifier les sections de câbles.

Avec Caneco HT, il est possible de sélectionner la puissance souhaitée en fonction de l'alimentation fournie par Sonelgaz. Cette fonctionnalité nous permet de réaliser aisément le schéma unifilaire de la station, quel que soit le type de transformateur utilisé (MT/MT, MT/BT), sans rencontrer de difficultés. De plus, cela nous permet de garantir les valeurs de courant ainsi que les courants de court-circuit de chaque équipement

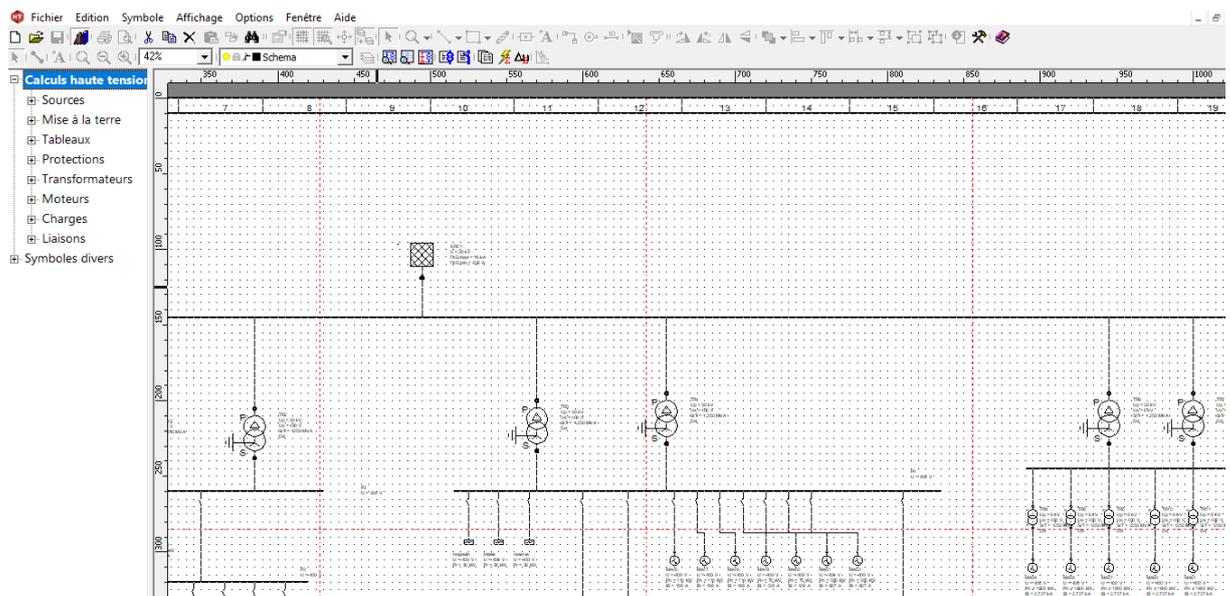


Figure II.20 Interface de caneco HT

Ce logiciel possède un choix divers pour les équipements : type de source, types de transformateurs même pour les charges et les protections (disjoncteur, relais...).

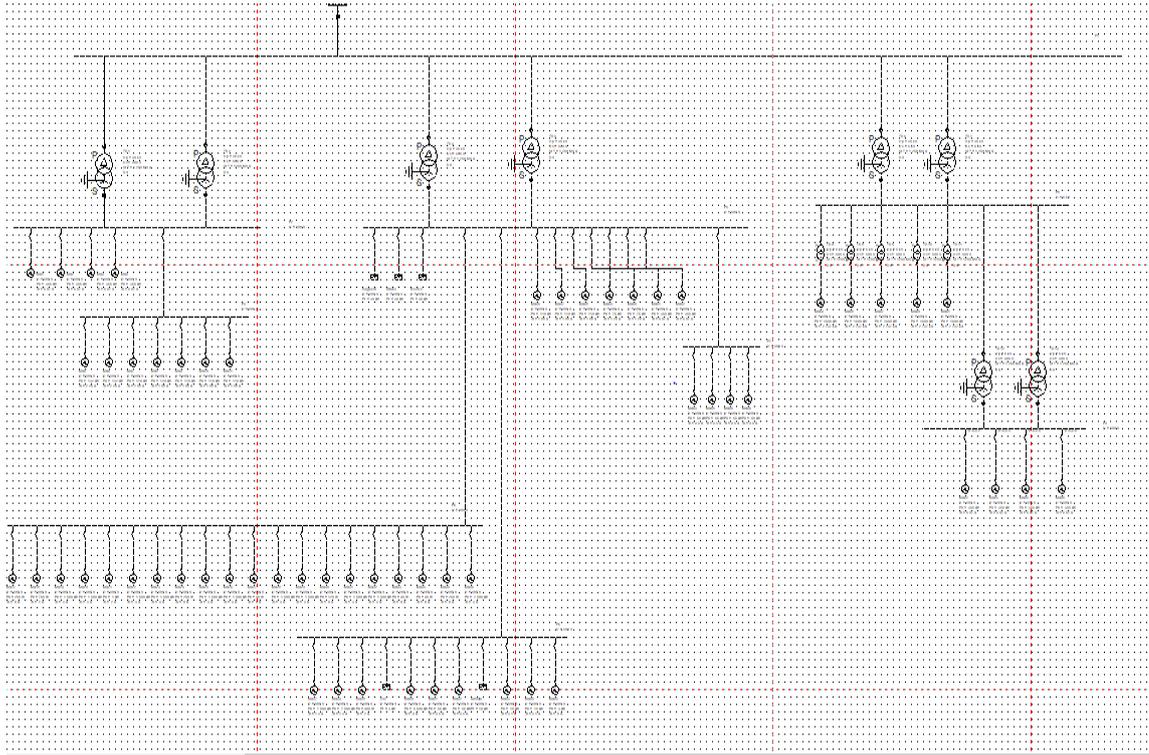


Figure II.21 Schéma unifilaire complet de la station de pompage

Avec l'utilisation de Caneco HT, on a pu concevoir l'intégralité du schéma unifilaire de la station électrique en plaçant les différents équipements MT/BT et en les reliant correctement par le câblage.

La particularité de ce logiciel par rapport à son prédécesseur réside dans la variété des paramètres disponibles pour les différents équipements. Contrairement à la version précédente qui utilise des valeurs par défaut, prenons l'exemple d'un moteur, Caneco HT nous permet de choisir le type de moteur (synchrone ou asynchrone) et de renseigner ses caractéristiques électriques à partir d'un catalogue ou en les spécifiant manuellement. Nous avons la possibilité d'assigner plusieurs paramètres tels que la vitesse nominale, la puissance, le facteur de puissance, etc., comme illustré dans la figure ci-dessous.

Moteur asynchrone

Repère : MA1

Equipement connecté :
Amont : P2 0,4 kV

Caractéristiques électriques | Construction | Impédances en court-circuit

Caractéristiques :

Méthode de choix : Par saisie données utilisateur Valeur Défaut

Catalogue :

(*) Tension assignée U_{rM} 0,400 kV (*) Puissance mécanique P_{rM} 355,000 kW
 (*) Vitesse 1250 tr/min (*) Paires Pôles 2
 (*) Rendement 97,00 % (*) Cos phi 0,87
 (*) Courant assigné I_{rM} 607,179 A
 (*) Courant rotor bloqué / Courant assigné moteur I_{LR} / I_{RM} 6,00

Caractéristiques au démarrage:

Cos phi 0,30 T_{dem} 0,25 s

Figure II.22 Paramètres du moteur

II.4.2.1. Vérification des calculs de courant :

Ce rapport met en évidence les courants des moteurs en tant que résultat. En utilisant ce logiciel, nous avons pu confirmer nos calculs de courant en les comparant aux résultats obtenus par Caneco pour différentes sous-stations. Les comparaisons sont clairement présentées dans la figure suivante.

Tableau 10 comparaison entre les valeurs des courant de sous station 3.2

P(KW)	I(A)	I(A) par canneco
7,5	12,4428937	13
0,9	1,64435203	2
3	5,09426708	5
5,5	9,12478874	9
55	91,2478874	94
10	16,9808903	17
18	29,862945	31
3	4,97715749	5

Tableau 11 comparaison entre les valeurs des courant de sous station 3

p(Kw)	I(A)	I(A) caneco
110	182,495775	188
75	124,428937	128
355	588,963637	607
55	91,2478874	94
500	829,526249	855

Tableau 12 comparaison entre les valeurs des courant de sous station 2

p(Kw)	I(A)	I(A) caneco
132	218,99493	226
110	182,495775	188
355	588,963637	352

- **Sous-station 1**

On a aussi pu vérifier que les valeurs de calcul de courant sont compatibles avec les valeurs indiquées par caneco pour le moteur de 1600 KW.

Tableau 13 comparaison entre les valeurs des courant de sous station 1

p(Kw)	I(A)	I(A) caneco
1600	176,9656	182

Les valeurs de courant obtenues par Caneco sont cohérentes avec nos valeurs calculées pour le bilan de puissance. En comparant ces valeurs, nous avons confirmé la précision de nos résultats obtenus par le bilan de puissance.

Caneco HT rédige un rapport complet automatiquement comprenant les informations générales du projet, les données du réseau ainsi que les résultats des calculs :

- Calcul de courant de court-circuit I_k
- Calcul de chute de tension
- Synthèse des câbles

II.4.3. Description des sous-stations par caneco HT :

Dans cette section, on a étudié la sous-station 1, qui englobe la partie moyenne tension (MT), ainsi que la sous-station 2, afin de pouvoir effectuer une comparaison avec nos résultats antérieurs. Nous allons analyser les éléments suivants pour chaque sous-station : Calcul de courant de court-circuit I_k , Calcul de chute de tension, Synthèse des câbles

- **Sous-station 1**

La sous-station 1 est située à une distance de 1500 mètres du poste de livraison, ce qui nécessite l'installation d'un poste de distribution. Ce dernier est connecté au poste précédent à l'aide d'un transformateur 30/6 kV, dans le but d'alimenter les cinq moteurs de grande puissance d'une capacité de 1600 kW. Grâce à l'utilisation de Caneco HT, on a été en mesure de réaliser cette conception avec succès. Figure 2.26

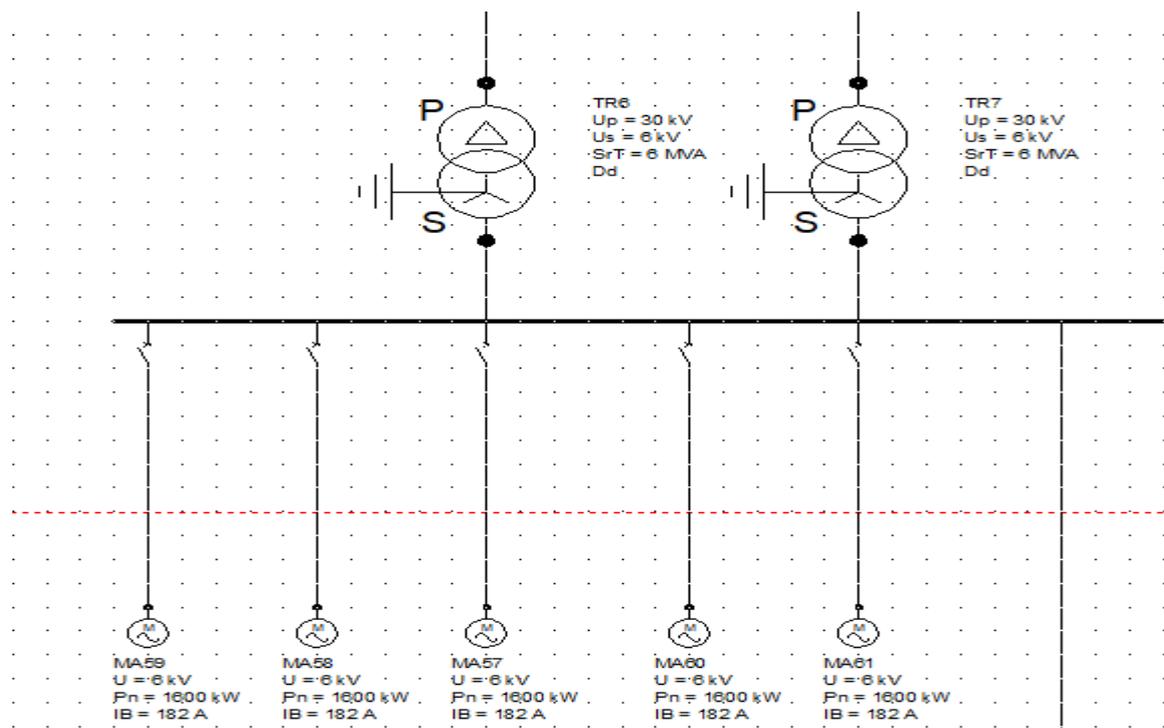


Figure II.23 Sous-station 1 avec Caneco HT

a. Calcul de courant de court-circuit I_k de la sous station 1 :

Ce rapport présente les courants de court-circuit associés au jeu de barres P8 ainsi qu'aux moteurs. Cela est représenté par la (Figure 2.27)

NFC 13200 (2009/2018) / EN60909 : Courants de court-circuit au tableau : P8							
Liaisons		Cfg	Triphasé	Triphasé	Triphasé	Biphasé	Phase-Terre
Amont	Aval		Subtr.	Trans.	Perman.	min	max
			$I_{IS}^{''}$ max	$I_{IS}^{''}$ max	$I_{IS}^{''}$ max	$I_{k2}^{''}$	$I_{IS}^{''}$ max
			(kA)	(kA)	(kA)	(kA)	(kA)
Configuration : [A] Config A. Configuration par défaut							
TR6	P8	A	1,589	1,588	1,588	0,667	0,000
TR7	P8	A	1,589	1,588	1,588	0,667	0,000
P8	TR12	A	0,387	0,000	0,000	0,000	0,000
P8	TR13	A	0,387	0,000	0,000	0,000	0,000
P8	MA 58	A	1,203	0,000	0,000	0,000	0,000
P8	MA 57	A	1,203	0,000	0,000	0,000	0,000
P8	MA 60	A	1,203	0,000	0,000	0,000	0,000
P8	MA 61	A	1,203	0,000	0,000	0,000	0,000
P8	MA 59	A	1,204	0,000	0,000	0,000	0,000
total des contributions		A	9,937	3,176	3,176	1,335	0,000

Figure II.24 Rapport de courant de court-circuit de la sous station1 par caneco HT

Les résultats obtenus concordent avec nos calculs de courant et les valeurs indiquées dans le schéma unifilaire. En ce qui concerne le jeu de barres P8, il a été conçu pour supporter des courants de court-circuit compris entre 1250 A et 25 kA. Le logiciel indique une valeur de 1589 A entre TR2 et P8, ce qui se situe dans cette plage acceptable. Cette conformité est également constatée pour tous les autres courants ainsi que pour les valeurs d'impédance fournies par le logiciel.

b. Calcul de chute de tension de la sous station1 :

Chute de tension (aux tableaux)												
Régime : Etabli												
Repère	Liaisons	A mont Aval	I (A)	C	U (kV)			Cos Phi		Tension Récepteur U/Un (%)		Prise réglage
					A mont	Aval	Diff	A mont	Aval	A mont	Aval	
CBL109	P8 TR12		73	A	5,75			0,83		95,79		
CBL110	P8 TR13		73	A	5,75			0,83		95,79		
CBL100	P8 MA58		175	A	5,75			0,87		95,79		
CBL101	P8 MA57		175	A	5,75			0,87		95,79		
CBL102	P8 MA60		175	A	5,75			0,87		95,79		
CBL104	P8 MA61		175	A	5,75			0,87		95,79		
CBL105	P8 MA59		175	A	5,75			0,87		95,79		

Figure II.25 Rapport de chute de tension de sous station 1 par caneco HT

La tension mesurée par caneco dans ce jeu de barres est de 5.75kV, et la tension de ce jeu de barre mentionné dans le schéma unifilaire est 6KV ce qui montre que cette valeur est compatible avec la valeur mentionné dans le schéma, de plus la chute de tension est estimé par 4 % une valeur minimale. Cette chute de tension est considérée comme admissible pour les installations haute tension.

c. Synthèse des câbles de la sous station1 :

Lorsque l'on crée une connexion entre deux éléments, le type de liaison par défaut est « Connexion ». Cette liaison peut être transformée en « Câble isolé ». Figure 2-29

On a choisi câble isoler pour pouvoir entrer les paramètres de câble tel que on peut modifier les caractéristiques des câbles, le mode de pose, la longueur ...)

La tension mesurée par caneco dans ce jeu de barres est de 5.75kV, et la tension de ce jeu de barre mentionné dans le schéma unifilaire est 6KV ce qui montre que cette valeur est compatible avec la valeur mentionnée dans le schéma ,de plus la chute de tension est estimé

par 4 % une valeur minimale. Cette chute de tension est considérée comme admissible pour les installations haute tension.

Figure II.26 paramètre de choix de type de liaison de câble

Lors du choix des caractéristiques des câbles, nous avons pris en considération plusieurs éléments. Tout d'abord, nous avons sélectionné la tension appropriée pour l'application spécifique. Ensuite, nous avons opté pour le cuivre en tant que matériau conducteur et le PR (Polyéthylène Réticulé) en tant qu'isolant.

Figure II.27 paramètre de choix des caractéristique des câbles

Ce choix nous permet de bénéficier d'une isolation de haute qualité. Le polyéthylène réticulé offre une excellente isolation électrique, ce qui réduit les risques de courts-circuits ou de fuites de courant. De plus, il présente une bonne résistance à l'humidité et à de nombreux produits chimiques, ce qui permet aux câbles de maintenir leurs performances même dans des environnements difficiles.

En résumé, en utilisant le cuivre comme matériau conducteur et le PR comme isolant, nous sommes en mesure de garantir une isolation électrique fiable et de réduire les risques associés aux courts-circuits et aux fuites de courant. De plus, les câbles bénéficient d'une bonne résistance à l'humidité et aux produits chimiques, ce qui leur permet de fonctionner de manière optimale même dans des environnements exigeants.

Nous avons également pris en compte le mode de pose et la longueur des câbles, en les adaptant en proportion de l'installation électrique.

The screenshot shows a software window titled 'Installation :'. It contains several input fields and a dropdown menu. The 'Mode de pose' section shows 'UTE C13-200 tableau 52E' and two icons of cables. The dropdown menu is set to '11 - Câbles avec ou sans armure fixés sur un mur'. Below this, there are correction factors: 'Facteur(s) de correction :', 'K1 1,00', 'K2 1,00', 'K3 1,00', and 'Ku 1,00'. A checkbox 'Respect des conditions de pose symétrique' is checked. To the right, 'fs : 1,00' and 'facteur global : 1,00' are displayed. At the bottom, 'Intensité d'emploi I_B' is set to '607,179 A' and 'Longueur' is set to '5 m'.

Figure II.28 paramètre de choix de type de câble

Une fois les caractéristiques des câbles sélectionnées, le rapport Figure (2.32) fournira une analyse complète et précise de la compatibilité des câbles, en prenant en compte les différents paramètres tels que la capacité de courant, la tension, les spécifications du matériau conducteur, les conditions environnementales, et d'autres facteurs pertinents.

LIAISONS							
Repère	Tenant Aboutissant	Long (m)	Fichier câbles	Isolant	Disposition câble	Cu / Alu	I _B (A)
CBL100	P8 MA58	20	52G_CU	PR	tripolaire	Cu	182,44
CBL101	P8 MA57	20	52G_CU	PR	tripolaire	Cu	182,44
CBL102	P8 MA60	20	52G_CU	PR	tripolaire	Cu	182,44
CBL104	P8 MA61	20	52G_CU	PR	tripolaire	Cu	182,44
CBL105	P8 MA59	10	52G_CU	PR	tripolaire	Cu	182,44
CBL097	TR6 P8	10	52H_CU	PR	tripolaire	Cu	577,35
CBL098	TR7 P8	10	52H_CU	PR	tripolaire	Cu	577,35
CBL109	P8 TR12	20	52H_CU	PR	tripolaire	Cu	76,98
CBL110	P8 TR13	20	52G_CU	PR	tripolaire	Cu	76,98

Figure II.29 Rapport de liaison de câble de sous station1 par caneco HT

Le rapport présenté ci-dessus (Figure II-33) contient les caractéristiques telles que les longueurs et les courants admissibles des câbles liés au jeu de barres 8. Selon le schéma unifilaire, il est spécifié que les câbles doivent supporter un courant de 1250 A. Les valeurs mesurées dans le rapport sont en adéquation avec cette spécification, ce qui signifie que les courants mesurés sont conformes aux capacités admissibles des câbles.

Calcul des câbles selon courants admissibles									
Liaisons		Cu / Alu	Mode Pose	Coefficients de correction fc	nb cond. //	SPH (mm ²)	I _B (A)	I _Z x fc x N (A)	Conformité sur I _Z
Repère	Amont Aval								
CBL097	TR6 P8	Cu	11	K1xK2xK3xfsxKu =1x1x1x1x1	2	95	577	620	Conforme
CBL098	TR7 P8	Cu	11	K1xK2xK3xfsxKu =1x1x1x1x1	2	95	577	620	Conforme
CBL109	P8 TR12	Cu	11	K1xK2xK3xfsxKu =1x1x1x1x1	1	10	77	78	Conforme
CBL100	P8 MA58	Cu	11	K1xK2xK3xfsxKu =1x1x1x1x1	1	35	182	189	Conforme
CBL101	P8 MA57	Cu	11	K1xK2xK3xfsxKu =1x1x1x1x1	1	35	182	189	Conforme
CBL102	P8 MA60	Cu	11	K1xK2xK3xfsxKu =1x1x1x1x1	1	35	182	189	Conforme
CBL104	P8 MA61	Cu	11	K1xK2xK3xfsxKu =1x1x1x1x1	1	35	182	189	Conforme
CBL105	P8 MA59	Cu	11	K1xK2xK3xfsxKu =1x1x1x1x1	1	35	182	189	Conforme
CBL110	P8 TR13	Cu	11	K1xK2xK3xfsxKu =1x1x1x1x1	1	16	77	120	Conforme

Figure II.30 Rapport de calcul des câbles selon le courant admissible

Grâce à l'utilisation de ce logiciel, on est en mesure de calculer la section des câbles, ce qui est essentiel pour assurer une transmission efficace de l'électricité et éviter les problèmes tels que les surcharges ou la surchauffe. Les calculs de section de câble prennent en compte divers facteurs tels que le courant nominal, la tension, les caractéristiques du matériau conducteur, les conditions environnementales et d'autres paramètres spécifiques à l'application.

Une fois les calculs effectués, nous avons vérifié que le choix des câbles est conforme, Cela signifie que les câbles sélectionnés répondent aux exigences spécifiques de ce jeu de barres, en termes de capacité de transmission de courant, de perte d'énergie et d'autres critères pertinents.

- **Sous-station 2 :**

La sous-station 2 a été schématisée à l'aide du logiciel Caneco HT (Figure II 34) dans le but de vérifier la partie BT (Baisse Tension)

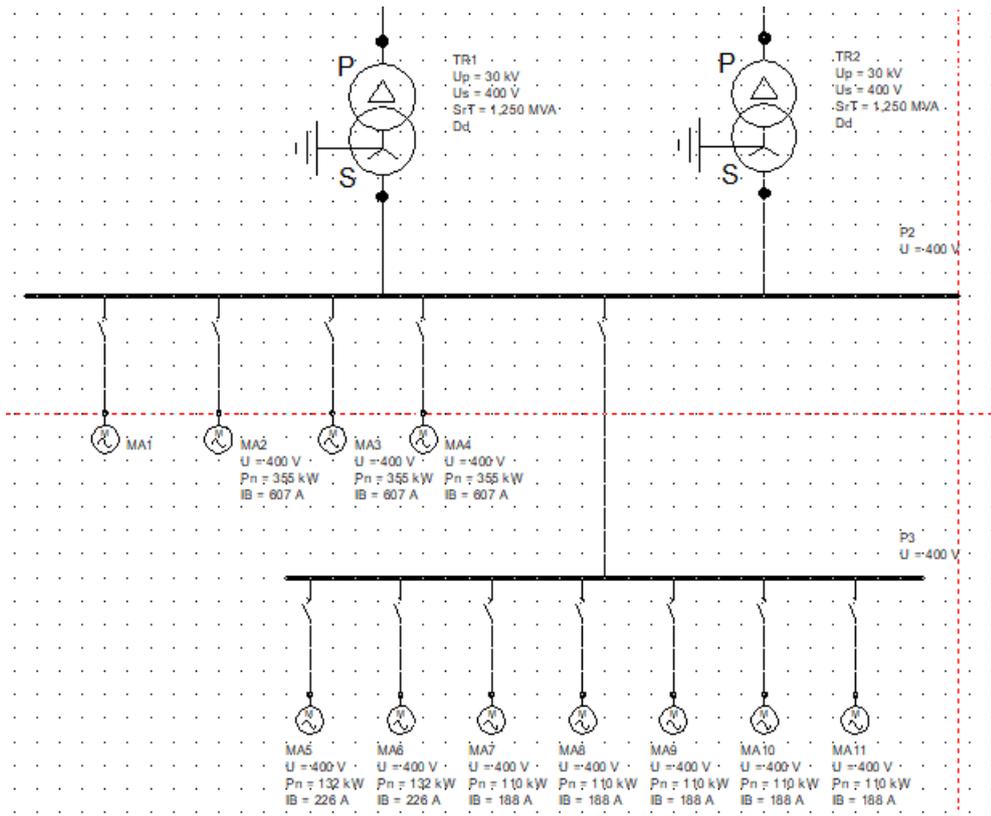


Figure II.31 Schéma unifilaire de la sous-station 2 par caneco HT

Dans cette sous-station, il y a deux jeux de barres nommés P1 et P3. Dans le but de vérifier les performances on a vérifié chaque grandeur pour le jeu de barra P2.

a. Calcul de courant de court-circuit I_k de la sous station2 :

NFC 13200 (2009/2018) / EN60909 : Courants de court-circuit au tableau : P2								
Liaisons		Cfg	Triphasé Subtr. $I_{I3}^n \text{ max}$ (kA)	Triphasé Trans. $I_{I3}^n \text{ max}$ (kA)	Triphasé Perman. $I_{I3}^n \text{ max}$ (kA)	Biphasé min I_{I2}^n (kA)	Phase-Terre max $I_{I2}^n \text{ max}$ (kA)	
Amont	Aval							
Configuration : [A] Config A. Configuration par défaut								
TR2	P2	A	26,211	26,166	26,166	10,195	0,000	
TR1	P2	A	26,211	26,166	26,166	10,195	0,000	
P2	MA 2	A	3,177	0,000	0,000	0,000	0,000	
P2	MA 1	A	3,177	0,000	0,000	0,000	0,000	
P2	MA 3	A	3,177	0,000	0,000	0,000	0,000	
P2	MA 4	A	3,177	0,000	0,000	0,000	0,000	
P3	P2	A	8,177	0,000	0,000	0,000	0,000	
total des contributions		A	72,455	52,332	52,332	20,390	0,000	

Figure II.32 Rapport de courant de court-circuit du jeu de barre P2.

Ce logiciel nous donne tous les courants de court-circuit liés avec le jeu de barre (P2) et les moteurs

Les résultats obtenus sont adéquats avec notre calcul de courant et la valeur indiquée dans le schéma unifilaire. Donc ce jeu de barre P2 supporte un courant de court-circuit compris entre [4-45] kA et la valeur indiquée par le logiciel entre TR2 et P2 est de 26 kA ce qui rentre dans la marge et c'est le même cas pour tous les courants et aussi il nous donne les valeurs des impédances

b. Calcul de chute de tension de la sous station2:

Chute de tension (aux tableaux)												
Régime : Etabli												
Repère	Liaisons	A mont Aval	I (A)	C	U (kV)			Cos Phi		Tension Récepteur U/Un (%)		Prise rég lage
					A mont	Aval	Diff	A mont	Aval	A mont	Aval	
CBL005	TR2 P2		1802	A	0,00	0,39	0,39		0,86		96,28	2,00
CBL011	TR1 P2		1802	A	0,00	0,39	0,39		0,86		96,28	2,50
CBL013	P2 MA2		569	A	0,39			0,86		96,28		
CBL014	P2 MA1		569	A	0,39			0,86		96,28		
CBL015	P2 MA3		569	A	0,39			0,86		96,28		
CBL016	P2 MA4		569	A	0,39			0,86		96,28		

Figure II.33 Rapport de calcul de chute de tension de jeu de barre P2.

Ce jeu de barre est lié avec les transformateurs (TR2, TR1) en aval et en amont avec le jeu de barre P3 et les moteurs MA1, MA2, MA3, MA4.

Il est observé que la valeur de tension mesurée dans ce jeu de barres est de 0,39 kV ce qui signifie que la chute de tension est de 3%. Cette chute tension est considérée comme admissible,

c. Synthèse des câbles de la sous station2 :

- Liaisons des câbles :

LIAISONS							
Repère	Tenant Aboutissant	Long (m)	Fichier câbles	Isolant	Disposition câble	Cu / Alu	I _B (A)
CBL005	TR2 P2	20	SGM12_CU	PR	unipolaire	Cu	1804,22
CBL011	TR1 P2	20	SGM12_CU	PR	unipolaire	Cu	1804,22
CBL013	P2 MA2	80	SGM12_CU	PR	unipolaire	Cu	607,18
CBL014	P2 MA1	80	SGM12_CU	PR	unipolaire	Cu	607,18
CBL015	P2 MA3	80	SGM12_CU	PR	unipolaire	Cu	607,18
CBL016	P2 MA4	80	SGM12_CU	PR	unipolaire	Cu	607,18

Figure II.34 Rapport de la liaison des câbles de P2.

Ce rapport présente les informations concernant la section et la longueur de chaque câble lié au jeu de barres P2. Prenons l'exemple du câble reliant P2 à TR2 (P2-TR2). La capacité nominale de ce câble est de 2000A, tandis que le courant mesuré dans ce rapport est de 1804A. Par conséquent, le courant observé est adéquat et reste dans les limites de capacité câble.

- **Calcul des câbles selon les courants admissible :**

Calcul des câbles selon courants admissibles									
Liaisons		Cu / Alu	Mode Pose	Coefficients de correction fc	nb cond. //	SPH (mm ²)	I _B (A)	I _Z x fc x N (A)	Conformité sur I _Z
Repère	Amont Aval								
CBL005	TR2 P2	Cu	11	$K1 \times K2 \times K3 \times f_{sc} \times K_u$ =1x1x1x1x1	2	500	1804	1892	Conforme
CBL011	TR1 P2	Cu	11	$K1 \times K2 \times K3 \times f_{sc} \times K_u$ =1x1x1x1x1	2	500	1804	1892	Conforme
CBL013	P2 MA2	Cu	11	$K1 \times K2 \times K3 \times f_{sc} \times K_u$ =1x1x1x1x1	1	300	607	693	Conforme
CBL014	P2 MA1	Cu	11	$K1 \times K2 \times K3 \times f_{sc} \times K_u$ =1x1x1x1x1	1	300	607	693	Conforme
CBL015	P2 MA3	Cu	11	$K1 \times K2 \times K3 \times f_{sc} \times K_u$ =1x1x1x1x1	1	300	607	693	Conforme
CBL016	P2 MA4	Cu	11	$K1 \times K2 \times K3 \times f_{sc} \times K_u$ =1x1x1x1x1	1	300	607	693	Conforme

Figure II.35 Rapport de calcul des câbles selon courant admissible de P2.

Après avoir effectué les calculs, nous avons procédé à la vérification de la conformité des câbles sélectionnés. Cela signifie que les câbles choisis répondent aux exigences spécifiques de ce jeu de barres, notamment en termes de capacité de courant, de pertes d'énergie et d'autres critères pertinents.

Les résultats de l'étude réalisée par Caneco HT confirment que le courant de court-circuit de l'installation reste dans les limites admissibles. Cela démontre que le système est capable de gérer ces courants de manière sécurisée et de protéger les équipements. De plus, les calculs de chute de tension indiquent que la chute de tension observée est acceptable, ce qui garantit un fonctionnement approprié des appareils connectés.

Les résultats de la synthèse des câbles nous permettent de vérifier que les câbles sélectionnés répondent aux exigences spécifiques de l'installation. Cette analyse prend en compte des critères tels que la capacité de courant, les pertes d'énergie et d'autres paramètres pertinents. Ces résultats nous confirment que les câbles choisis sont adaptés aux besoins de l'installation électrique.

II.5. Conclusion

En conclusion de ce chapitre sur l'étude et le dimensionnement d'un schéma électrique, on a constaté qu'il existe plusieurs étapes clés pour concevoir un système électrique fiable et sécurisé.

On a étudié le bilan de puissance, qui est un outil essentiel pour vérifier que la puissance totale consommée par les différents composants du circuit est égale à la puissance totale fournie par la source d'alimentation.

Pour vérifier la précision de nos calculs de bilan de puissance, on a comparé nos résultats avec ceux obtenus à l'aide de logiciels de conceptions de circuits électriques (ecostructure et caneco HT). On a constaté que les résultats obtenus par les logiciels étaient très proches de nos résultats, ce qui témoigne de la fiabilité de nos calculs.

En somme, ce chapitre nous a permis de comprendre les étapes clés de l'étude et du dimensionnement d'un schéma électrique, ainsi que l'importance du bilan de puissance pour vérifier la conformité du système. En appliquant ces principes, on sera en mesure de concevoir et de maintenir des systèmes électriques sûrs, efficaces et fiables.

Chapitre III

Configuration des variateurs de vitesse

CHAPITRE III : Configuration des variateurs de vitesse

III.1. Introduction

Les stations de pompage jouent un rôle essentiel dans de nombreux systèmes de distribution d'eau, de traitement des eaux usées et d'autres processus similaires. Les VFD sont intégrés à ces stations pour contrôler la vitesse et le fonctionnement des moteurs électriques des pompes. Ils offrent une flexibilité et une efficacité accrues, permettant d'adapter la production d'eau ou le débit de liquide aux besoins variables.

Ce chapitre se concentrera sur l'introduction des VFD dans le contexte des stations de pompage. Nous examinerons les différents composants et fonctionnalités spécifiques qui sont pertinents pour ces applications, et nous discuterons de leur configuration appropriée.

Nous aborderons les principaux paramètres à prendre en compte lors de la configuration des VFD dans les stations de pompage, tels que la plage de fréquences, les rampes d'accélération et de décélération, les limites de couple et d'autres paramètres spécifiques aux pompes.

En outre, nous discuterons des bonnes pratiques de configuration et des considérations de sécurité associées à l'utilisation des VFD dans les stations de pompage. Nous mettrons en évidence l'importance de la surveillance et du suivi réguliers pour garantir un fonctionnement optimal et prévenir les problèmes éventuels.

III.2. Moteur asynchrone

Pour assurer le fonctionnement, une pompe nécessite un moteur qui la fait tourner à une certaine vitesse. La plupart des pompes sont entraînées par des moteurs électriques triphasés. Les moteurs à induction sont les plus couramment utilisés dans le domaine industriel en raison de leur robustesse, de leur disponibilité, de leur efficacité, de leur faible coût et de leur quasi-absence d'entretien. [15]

La conception d'un moteur à induction est relativement simple et se compose de deux parties principales : un stator fixe et un rotor tournant. Il existe deux principales classes de moteurs à induction, qui se distinguent par la manière dont leurs rotors sont bobinés : le moteur à induction à rotor bobiné et le moteur à induction à cage d'écureuil.

Le moteur à induction à rotor bobiné est composé d'un rotor sur lequel des enroulements sont connectés à des bagues collectrices. Ces enroulements permettent un contrôle plus précis de la vitesse et du couple du moteur, mais ils sont plus complexes et plus coûteux à fabriquer.

Le moteur à induction à cage d'écureuil est plus couramment utilisé. Son rotor est constitué de barres de cuivre ou d'aluminium courtes et solides, qui sont reliées entre elles par des anneaux conducteurs. Cette conception simplifiée rend le moteur à induction à cage d'écureuil plus fiable, moins coûteux et plus adapté à de nombreuses applications de pompage.

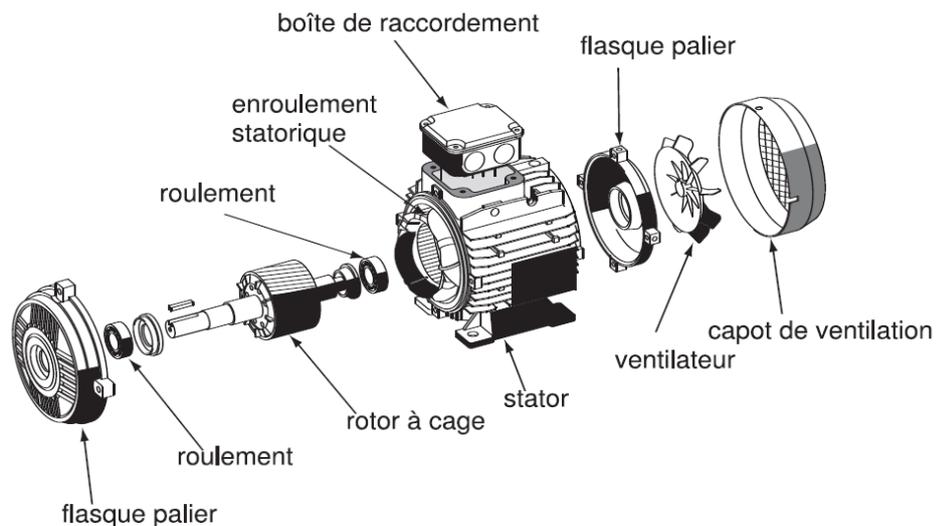


Figure III.1 Moteur asynchrone

III.2.1. Types de démarrage

- **Démarrage direct**

Le moteur est connecté directement à la source d'alimentation, sans utiliser de dispositifs de limitation de courant ou de démarrage progressif. Cette méthode est la plus simple et la plus économique pour les moteurs de petite et moyenne puissance. Le courant de démarrage peut atteindre 4 à 8 fois le courant nominal, le couple de démarrage vaut en moyenne 0,6 à 1,5 fois le couple nominal. Cependant, le courant de démarrage initial est très élevé, souvent plusieurs fois supérieur au courant nominal du moteur. Cette forte demande de courant peut entraîner des perturbations électriques sur le réseau électrique. Par conséquent, cette méthode est souvent limitée aux moteurs de petite et moyenne puissance, et est généralement évitée pour les moteurs de grande puissance.

- **Démarrage étoile-triangle :**

Le démarrage étoile-triangle consiste à connecter les enroulements du moteur d'une certaine manière pendant la phase de démarrage, puis à les reconfigurer pour le fonctionnement normal une fois que le moteur a atteint sa vitesse nominale.[16]

Les étapes du démarrage étoile-triangle :

-Étape de démarrage en étoile (ou "Y") : Les enroulements du moteur sont configurés en étoile (ou "Y"), ce qui signifie que chaque enroulement est connecté à une phase d'alimentation électrique et les points de jonction des enroulements sont reliés ensemble. Cela crée un chemin électrique équilibré pour le courant de démarrage.

-Étape de transition : Une fois que le moteur a atteint environ 80% à 90% de sa vitesse nominale, il passe à l'étape suivante. Pendant cette étape, les enroulements sont momentanément déconnectés pour la reconfiguration.

-Étape de démarrage en triangle (ou "Δ") : Les enroulements du moteur sont maintenant reconfigurés en triangle (ou "Δ"). Cela signifie que chaque enroulement est connecté à un autre enroulement, formant ainsi un circuit électrique en forme de triangle. Cette configuration réduit la tension appliquée à chaque enroulement, mais augmente le courant disponible, permettant au moteur de fonctionner à pleine puissance.

- **Démarrage statorique à résistance :**

Le principe consiste à démarrer le moteur sous tension réduite en insérant des résistances en série avec les enroulements. Lorsque la vitesse se stabilise, les résistances sont court-circuitées et le moteur est couplé directement sur le réseau. Cette opération est généralement commandée par un temporisateur.

Le démarrage statorique à résistance permet de réduire le courant de démarrage élevé, bien que celui-ci reste généralement d'environ 4,5 fois le courant nominal ($4,5 I_n$). Cependant, ce mode de démarrage peut entraîner une perte significative de couple et de puissance directement sur le réseau électrique. Pour contrôler cette opération, un temporisateur est généralement utilisé.

L'avantage de ce mode de démarrage est qu'il évite la coupure d'alimentation pendant la phase de démarrage. Cela permet de réduire considérablement les pointes de courants magnétisants (transitoires) qui peuvent survenir lors du démarrage d'un moteur asynchrone.

- **Démarrage par autotransformateur :**

Ça consiste à utiliser un autotransformateur pour réduire la tension d'alimentation du moteur pendant la phase de démarrage. Cette méthode permet de réduire le courant de démarrage et le couple de démarrage. Le moteur est alimenté sous tension réduite par l'intermédiaire d'un autotransformateur qui est mis hors circuit quand le démarrage est terminé.

Le démarrage autotransformateur est couramment utilisé en basse tension (BT) pour des applications nécessitant des puissances supérieures à 150 kW.

Bien que le démarrage autotransformateur permette de réduire le courant de démarrage, il peut également entraîner une réduction du couple de démarrage par rapport à d'autres méthodes de démarrage. Cela peut avoir un impact sur les applications nécessitant un couple de démarrage élevé, comme les machines à forte inertie.

- **Démarrage progressif**

Lors du démarrage, la tension d'alimentation est progressivement ajustée au moteur à l'aide d'un dispositif de contrôle électronique. Ce dispositif permet de réguler de manière progressive la tension et la fréquence appliquées, ce qui entraîne une augmentation graduelle du courant de démarrage et du couple de démarrage jusqu'à ce que le moteur atteigne sa vitesse nominale. Cette méthode de démarrage utilise un contrôle électronique pour limiter le courant à un niveau maximum (généralement de 3 à 4 fois le courant nominal) pendant la phase de démarrage, ce qui a un impact sur les performances en termes de couple. Le démarrage progressif est particulièrement adapté aux applications telles que les turbomachines (pompes centrifuges, ventilateurs). Dans ce mode de démarrage, il est également possible d'optimiser les performances en termes de couple en régulant le couple de démarrage, mais cela peut entraîner un appel de courant plus élevé sur le réseau électrique.[17]

-la génération des perturbations électromagnétiques sur le réseau électrique en raison des variations de tension et de fréquence.

-la nécessité d'une maintenance régulière pour assurer un bon fonctionnement.

- **Démarrage par variateur de vitesse :**

Les variateurs de vitesse (VFD) sont souvent utilisés dans les applications de pompage où la vitesse de la pompe doit constamment augmentée ou diminuée pour maintenir une pression de refoulement définie dans des conditions de système variables, les VFD permettent de réaliser des économies d'énergie considérables par rapport au fonctionnement de la pompe à pleine vitesse et à la déviation l'excès de débit par une soupape de décharge. Il fonctionne suivant un principe proche du MLI (Modulation des Largeurs d'Impulsions) [18]. Cette technique assure une rotation régulière des machines, y compris à basse vitesse, grâce à une forme du courant de sortie très proche de la sinusoïde C'est un mode de démarrage performant utilisé dès qu'il est nécessaire pour contrôler la vitesse, il permet entre autres :de démarrer des charges de forte inertie , d'optimiser la consommation d'énergie électrique en fonction de la vitesse sur les turbomachines [17].

- **Avantages du variateur de vitesse (VFD) par rapport aux autres types de démarrage**

Afin de prendre une décision éclairée concernant le type de démarrage adapté aux moteurs, il est possible d'utiliser le logiciel Ecostruxure Motor Management Design pour effectuer des essais et des simulations. Ce logiciel offre la possibilité de tester différents types de démarrage en prenant en compte des paramètres tels que la puissance du moteur, les caractéristiques de charge, les contraintes électriques et les besoins spécifiques de l'application. En utilisant Ecostruxure Motor Management Design, on peut évaluer les performances et les résultats des différents types de démarrage, ce qui facilite la prise de décision en sélectionnant le type de démarrage le plus approprié. Ces essais virtuels aident à optimiser l'efficacité énergétique, la fiabilité et les performances des moteurs électriques en choisissant le type de démarrage le mieux adapté

III.2.2. Le démarrage avec VFD et directement en ligne :

Pour les essais on a choisi de travailler sur un seul moteur pour voir la différence entre les différents types de démarrage et les comparer entre eux et choisir le plus performant.

La source est de $U=30$ kV et $S=800$ MVA réseau en amont avec deux transformateurs de distribution abaisseurs de 1250 kVA et 30 kV/400 V

1 seul moteur principal de 355 kW La chute de tension estimée au démarrage est de 8.32%, avec 2 transformateurs, courant de court-circuit nominal 80 kA.

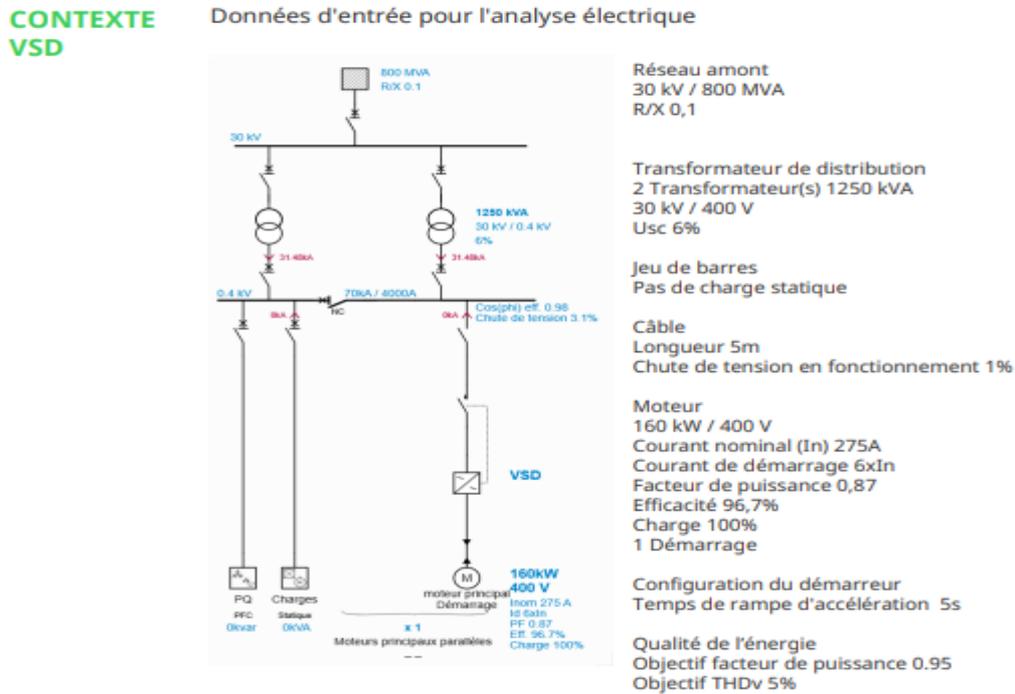


Figure III.2 Schéma pour l'analyse électrique

A. Comparaison par rapport au courant de défaut :

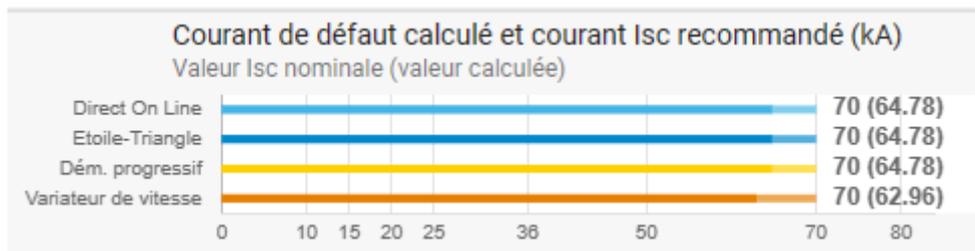


Figure III.3 Comparaison des types de démarrage par rapport au courant de défaut.

Selon les résultats obtenus, on constate que le courant de défaut est de 62,96 A pour le démarrage avec variateur de vitesse (VFD) et de 64,78 A pour les autres types de démarrage. Cela s'explique par les raisons suivantes :

Le démarrage direct peut entraîner un courant de défaut élevé, car le moteur est directement connecté au réseau électrique à pleine tension. En revanche, le VFD permet de

réduire le courant de démarrage par le biais de son contrôle électronique, limitant ainsi les surintensités potentielles lors du démarrage.

Démarrage étoile-triangle Le démarrage étoile-triangle peut réduire le courant de défaut par rapport au démarrage direct. Toutefois, il convient de noter que le VFD offre une flexibilité supplémentaire en termes de contrôle du courant de démarrage, car il permet de programmer des rampes de démarrage lentes pour minimiser les surintensités.

Démarrage progressif : Le démarrage progressif permet de réduire considérablement le courant de démarrage par rapport au démarrage direct. Cependant, le VFD offre une maîtrise encore plus précise du courant de démarrage en ajustant la fréquence et la tension de manière continue, permettant ainsi de limiter le courant de défaut de manière plus efficace.

Globalement, le VFD offre un avantage significatif en termes de réduction du courant de défaut par rapport à de nombreux autres types de démarrage. Grâce à son contrôle électronique sophistiqué, le VFD permet de programmer des rampes de démarrage progressives, de limiter le courant de démarrage et de réduire les surintensités potentielles. Cependant, il est important de noter que le courant de défaut peut également dépendre de facteurs tels que la puissance du moteur, les caractéristiques de charge et les paramètres spécifiques de chaque méthode de démarrage.

B. Comparaison par rapport à la chute de tension :

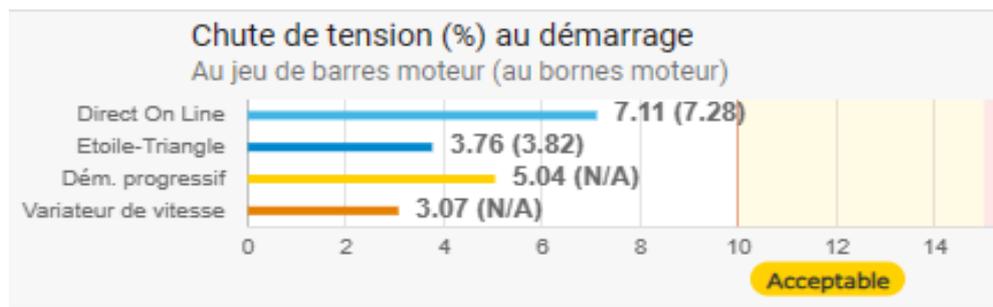


Figure III.4 Comparaison des types de démarrage par rapport à la chute de tension

Lorsqu'on compare le variateur de vitesse (VFD) aux autres types de démarrage en termes de chute de tension, les résultats montrent que le VFD présente une chute de tension de 3,07%. En revanche, le démarrage direct affiche une chute de tension de 7,11%, le démarrage étoile triangle de 3,76% et le démarrage progressif de 5,04%.

Démarrage direct : Le démarrage direct peut entraîner une chute de tension significative dans le système électrique en raison de la forte demande de courant de démarrage. Comparativement, le VFD permet de réduire la chute de tension en contrôlant progressivement la tension et la fréquence appliquées au moteur, limitant ainsi la demande initiale de courant.

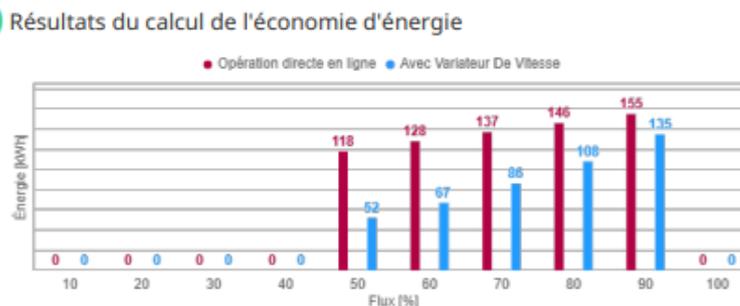
Démarrage étoile-triangle : Le démarrage étoile-triangle permet de réduire la chute de tension par rapport au démarrage direct. Cependant, le VFD offre une meilleure maîtrise de la chute de tension en permettant un démarrage en douceur et en ajustant la tension et la fréquence de manière progressive, évitant ainsi une chute de tension brusque lors du passage entre les configurations étoile et triangle.

Démarrage progressif : Le démarrage progressif est conçu pour limiter la chute de tension lors du démarrage du moteur. Cependant, le VFD offre une meilleure régulation de la chute de tension en permettant une augmentation progressive de la tension et de la fréquence, évitant ainsi les variations brusques et assurant une stabilité accrue du système électrique.

En comparaison aux autres types de démarrage, le VFD se distingue par sa capacité à contrôler de manière précise et progressive la chute de tension lors du démarrage du moteur. Il permet d'éviter les surtensions et les fluctuations brusques, garantissant ainsi une stabilité électrique et une meilleure protection des équipements connectés.

C. Calcul de l'économie d'énergie du variateur de vitesse :

ÉCONOMIE D'ÉNERGIE (2) VSD



Consommation d'énergie annuelle en fonctionnement direct en ligne	683.5MWh / 68.4k€
---	--------------------------

Économie d'énergie annuelle avec variateur de vitesse	34.5% / 23.6k€
---	-----------------------

Retour sur investissement	0.34 year
---------------------------	------------------

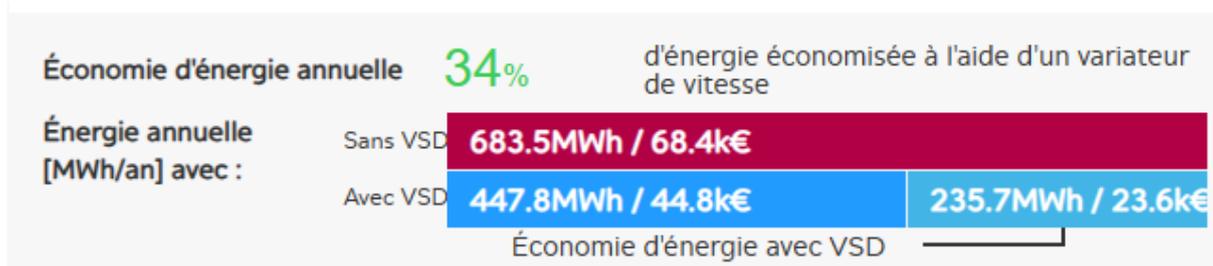


Figure III.5 Economie d'énergie annuelle du VFD.

Grâce à l'utilisation d'un variateur de vitesse (VFD), il est possible de réaliser d'importantes économies d'énergie. Les avantages du VFD incluent la capacité à ajuster la vitesse du moteur en fonction de la charge, ce qui permet de réduire la consommation d'énergie par rapport à un fonctionnement à vitesse fixe. De plus, le contrôle précis de la vitesse offert par les VFD permet de l'adapter aux besoins de production spécifiques. En évitant les démarrages directs ou d'autres méthodes de démarrage qui entraînent une demande de courant élevée et des pertes d'énergie, les VFD permettent de réaliser des économies supplémentaires.

En analysant les données, on constate que l'utilisation d'un VFD peut entraîner une réduction annuelle de la consommation d'énergie d'environ 30%. Cela se traduit par des économies financières significatives, estimées à 23,6 k€. Ces économies sont le résultat des caractéristiques intrinsèques du VFD, telles que son contrôle précis de la vitesse et sa capacité à éviter les pertes d'énergie liées aux démarrages brusques.

D. Réduction de la pollution :

Réduction de la pollution	
CO2	-105.1 t/an
SO2	-7.1 t/an
NOx	-3.5 t/an
C	-64.1 t/an

Figure III.6 réduction de la pollution

Grâce à l'utilisation d'un variateur de vitesse (VFD), il est possible de réaliser des réductions significatives de la pollution, notamment :

Réduction des émissions de CO₂ : Les VFD permettent d'ajuster la vitesse du moteur en fonction des besoins réels, évitant ainsi un fonctionnement à pleine vitesse lorsque cela n'est pas nécessaire. Cette optimisation de la consommation d'énergie permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre, notamment le dioxyde de carbone (CO₂). Dans le cas spécifique analysé, l'utilisation du VFD a permis une réduction de 105,1 tonnes de CO₂ par an.

Réduction des émissions de NO_x : Les VFD permettent un contrôle précis de la vitesse du moteur, ce qui permet d'optimiser son fonctionnement. Cette optimisation contribue à réduire les émissions de polluants atmosphériques, notamment les oxydes d'azote (NO_x). Dans le cas étudié, l'utilisation du VFD a permis une réduction de 3,5 tonnes de NO_x par an.

Ces résultats mettent en évidence l'impact positif de l'utilisation d'un VFD sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques. En ajustant la vitesse du moteur en fonction des besoins réels et en optimisant son fonctionnement, les VFD permettent de diminuer la pollution environnementale associée à la production d'énergie et aux émissions atmosphérique

III.3. Variateurs de vitesse :

III.3.1. Définition :

Un variateur de vitesse est un dispositif destiné à régler la vitesse d'un moteur électrique a courant alternatif en faisant varier la fréquence et la tension, respectivement le courant délivré à celui-ci. Ils sont constitués principalement d'un convertisseur statique et d'une électronique de commande il contrôle donc la vitesse du moteur et du système qu'il entraîne.

En répondant aux exigences du processus, un variateur de vitesse est capable de régler à la fois la vitesse et le couple d'un moteur à induction.[19]

III.3.2. Constitution :

Le circuit de puissance est constitué par un redresseur et un onduleur qui, à partir de la tension redressée, produit une tension d'amplitude et fréquence variables, un filtre « réseau » est placé en amont du pont redresseur. Le redresseur est en général équipé d'un pont redresseur à diodes et d'un circuit de filtrage constitué d'un ou plusieurs condensateurs en fonction de la puissance. Un circuit de limitation contrôle l'intensité à la mise sous tension du variateur.

Certains convertisseurs utilisent un pont à thyristors pour limiter le courant d'appel de ces condensateurs de filtrage qui sont chargés à une valeur sensiblement égale à la valeur crête de la sinusoïde réseau. [20]

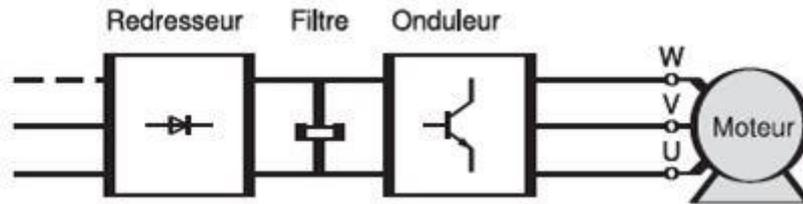


Figure III.7 schéma d'un variateur de vitesse

- **Le redresseur :**

C'est un convertisseur alternatif-continu qui permet de convertir une tension alternative en une tension continue unidirectionnelle [21] En effet la tension continue obtenue n'est pas parfaite car elle comporte des ondulations résiduelles.

- **Le filtre**

Il remplit généralement plusieurs fonctions, il sert de stockage d'énergie, il réduit les ondulations résiduelles et filtre les parasites [22] .

- **L'onduleur**

L'onduleur est un convertisseur statique qui permet de recréer un courant alternatif à fréquence variable. C'est l'amplitude en largeur des variations des sinusoïdes qui détermine la fréquence du courant appliquée au moteur.

La génération de la tension de sortie est obtenue par découpage de la tension redressée au moyen d'impulsions dont la durée, donc la largeur, est modulée de telle manière que le courant alternatif résultant soit aussi sinusoïdal que possible [17]

En plus de ces composants de base, les variateurs de vitesse peuvent également inclure d'autres fonctions, telles que la protection contre les surintensités, la protection contre les surtensions, la protection contre les surchauffes

III.3.3. Principe de fonctionnement

Le convertisseur de fréquence, alimenté à tension et fréquence fixes par le réseau, assure au moteur, en fonction des exigences de vitesse, son alimentation en courant alternatif à tension et fréquence variables.

Pour alimenter convenablement un moteur asynchrone à couple constant quelle que soit la vitesse, il est nécessaire de maintenir le flux constant. Ceci nécessite que la tension et la fréquence évoluent simultanément et dans les mêmes proportions. [20]

Autrement dit La vitesse du champ magnétique et donc la vitesse de rotation d'un moteur asynchrone dépend directement de la fréquence de la tension d'alimentation. Le principe général d'un VFD est de fournir un courant à amplitude et à fréquence variable tout en maintenant une tension constante.

Un variateur de fréquence est constitué de quatre parties, le redresseur, le circuit intermédiaire, l'onduleur et le circuit de commande.[22]

III.3.3.1. La modulation de largeur d'impulsion MLI

Est une technique pour générer une tension quasi sinusoïdale à partir d'un signal continue Elle consiste à découper la tension d'alimentation afin d'obtenir un courant d'alimentation du moteur quasi sinusoïdal quelle que soit la fréquence d'alimentation

Le principe de commande de l'onduleur réside dans l'utilisation d'un comparateur de tensions. Ce comparateur superpose à trois tensions sinusoïdales de référence une tension de forme triangulaire. La fréquence des trois sinusoïdes de référence correspond à celle des tensions souhaitées à la sortie de l'onduleur. Les intersections entre les sinusoïdes et l'onde triangulaire déterminent l'allumage ou l'extinction des thyristors (ou des transistors de Puissance) selon le cas. Il en résulte un temps d'impulsion « passante » ou « non-passante »

variable reconstituant un courant sinusoïdal en sortie du variateur de vitesse.[23]

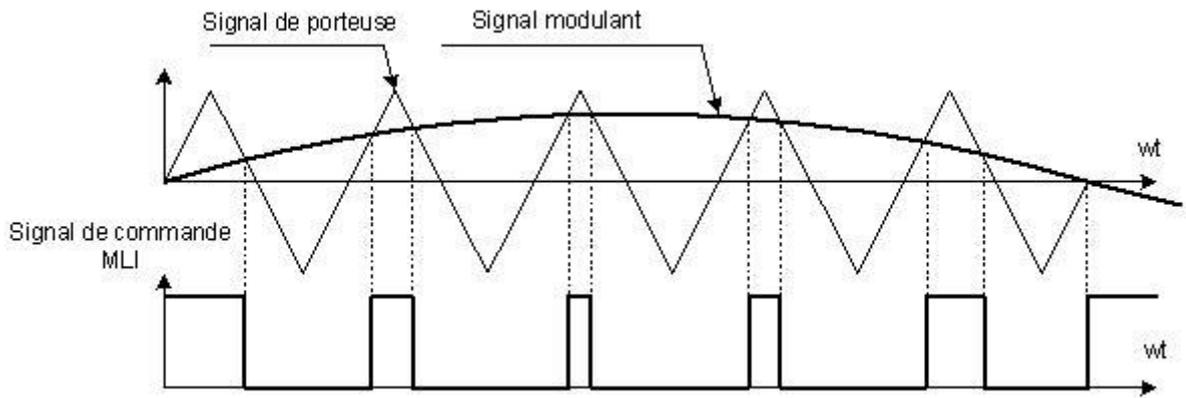


Figure III.8 La modulation de largeur d'impulsion MLI

III.3.4. Commande du variateur de vitesse [20]

Les performances sont grandement augmentées par une électronique de commande faisant appel au contrôle vectoriel de flux. La plupart des variateurs modernes intègrent cette fonction en standard. La connaissance ou l'estimation des paramètres de la machine permet de se passer de capteur de vitesse pour la majorité des applications. Dans ce cas un moteur standard peut être utilisé avec la limitation usuelle de fonctionnement prolongé à basse vitesse. Le variateur élabore les informations à partir des grandeurs mesurées aux bornes de la machine (tension et courant). Ce mode de contrôle apporte des performances acceptables sans augmentation de coût. Pour obtenir ces performances, certains paramètres de la machine doivent être connus. A la mise en service, le metteur au point de la machine doit notamment introduire les caractéristiques plaquées sur le moteur dans les paramètres de réglage du variateur telles que : au contrôle vectoriel de flux.

La plupart des variateurs modernes intègrent cette fonction en standard. La connaissance ou l'estimation des paramètres de la machine permet de se passer de capteur de vitesse pour la majorité des applications. Dans ce cas un moteur standard peut être utilisé avec la limitation usuelle de fonctionnement prolongé à basse vitesse. Le variateur élabore les informations à partir des grandeurs mesurées aux bornes de la machine (tension et courant).

Ce mode de contrôle apporte des performances acceptables sans augmentation de coût.

Pour obtenir ces performances, certains paramètres de la machine doivent être connus.

A la mise en service, le metteur au point de la machine doit notamment introduire les caractéristiques plaquées sur le moteur dans les paramètres de réglage du variateur telles que :

III.3.4.1. Commande scalaire (fonctionnement à U/f constant)

Dans ce type de fonctionnement, la référence vitesse impose une fréquence à l'onduleur et par voie de conséquence au moteur, ce qui détermine la vitesse de rotation. La tension d'alimentation est en relation directe avec la fréquence. Ce fonctionnement est souvent nommé fonctionnement à U/f constant ou fonctionnement scalaire. Si aucune compensation n'est effectuée, la vitesse réelle varie avec la charge ce qui limite la plage de fonctionnement. Une compensation sommaire peut être utilisée pour tenir compte de l'impédance interne du moteur et limiter la chute de vitesse en charge

III.3.5. Problème d'harmonique dans la tension et le courant

La distorsion harmonique de la tension et du courant est produite dans les systèmes électriques par des charges non linéaires telles que les variateurs de vitesse, Les harmoniques provoquent une distorsion de la forme d'onde électrique qui peut se propager dans l'ensemble du système électrique et même à l'extérieur de l'usine. La source de distorsion harmonique dans les variateurs de vitesse est constituée par dispositifs de commutation de puissance à semi-conducteurs utilisés pour générer les fréquences d'alimentation variables d'alimentation

Les harmoniques peuvent être fortement amplifiées par les condensateurs de correction du facteur de puissance. L'inductance du système d'alimentation peut entrer en résonance avec les condensateurs à certaines fréquences harmoniques, développant des courants et des tensions importants qui peuvent endommager l'équipement.

III.3.5.1. Effets des harmoniques

Les microprocesseurs, les machines à commande numérique et les contrôleurs de processus dépendent tous de signaux de contrôle précis la présence d'harmoniques peut entraîner un dysfonctionnement de ces appareils. Ils peuvent également provoquer des condensateurs et des fusibles. Les moteurs fonctionnent à des températures plus élevées en présence de courants harmoniques ils consomment plus d'énergie car ils doivent surmonter les couples de « contre-rotation » créés par les harmoniques impaires.

Cela peut entraîner une dégradation prématurée des matériaux isolants et une réduction de la durée de vie. Le moteur perd également en efficacité globale, subit des contraintes de tension sur ses enroulements, et des pulsations de couple.

Si un problème harmonique est suspecté, il doit être confirmé avant toute tentative d'action corrective. Un test assez simple consiste à visualiser les formes d'onde du réseau électrique sur un oscilloscope. Une distorsion importante de la forme d'onde est une indication de la présence d'harmoniques

Après s'être assuré que l'installation est conforme au code électrique en vigueur, notamment en ce qui concerne la mise à la terre adéquate :

- **Alimentation séparée**

Idéalement, les charges produisant des harmoniques et les charges sensibles devraient être alimentées par des sources entièrement séparées, par des arrivées séparées et En utilisant une alimentation séparée, les charges non linéaires sont alimentées par une source d'énergie distincte qui est isolée de la source d'énergie principale utilisée pour les charges linéaires. Cela réduit la perturbation causée par les harmoniques générés par les charges non linéaires.

- **Filtre**

Les filtres d'harmonique sont constitués des éléments interconnectés selon une topologie spécifique qui détermine le comportement du filtre en termes d'atténuation des harmoniques. Voici les éléments de base communs à la plupart des filtres d'harmonique :

1. **Condensateurs** : ils sont utilisés dans les filtres d'harmonique pour stocker l'énergie électrique et pour bloquer les signaux à certaines fréquences.
2. **Inductances** : ils sont utilisés pour stocker l'énergie magnétique et pour bloquer les signaux à certaines fréquences.

Les filtres d'harmoniques peuvent être utilisés pour réduire l'amplitude d'un ou de plusieurs courants à fréquence fixe afin de les empêcher d'entrer dans le reste du système. Les filtres peuvent être conçus sur mesure pour s'adapter à l'environnement électrique.

III.4. Les variateurs de vitesse Schneider Altivar Process : [24]

Altivar Process représente la nouvelle gamme de variateurs de vitesse de Schneider Electric couvrant, avec ses deux séries, la majorité des applications industrielles :

- **L'ATV6000** est une gamme de variateurs de vitesse hautes performances conçue pour une large plage de puissance. Ces variateurs offrent des fonctionnalités avancées de contrôle de la vitesse et du couple, ainsi que des options de connectivité étendues pour une intégration facile dans les systèmes de contrôle industriels. Ils sont dotés de fonctionnalités de sécurité avancées pour protéger le moteur et l'équipement contre les surintensités, les courts-circuits et autres situations potentiellement dangereuses.
- **L'ATV600** : est une gamme plus récente de variateurs de vitesse de Schneider Electric. Ces variateurs sont conçus pour offrir des performances élevées et une flexibilité maximale dans un format compact. Ils sont adaptés aux applications de contrôle de moteurs de petite et moyenne puissance.

III.4.1. Présentation générale des Altivar Process ATV600 :

Les variateurs Altivar Process permettent d'améliorer les performances des équipements et de réduire les coûts d'exploitation en optimisant la consommation.



Figure III.9 Variateur de vitesse ATV600

III.4.2. Caractérisation de Altivar Process ATV600

- Robustesse : il est conçu pour s'adapter pour toutes contraintes environnementales
- Compatibilité électromagnétique (CEM) : Les normes de compatibilité électromagnétique ont été prises en compte pour faciliter ainsi leur installation et permettant une mise en conformité économique de l'équipement en vue d'obtenir le marquage.
- Énergie : L'Altivar Process optimise la consommation électrique en réduisant le courant efficace d'entrée pour une même charge.
- THD (Le taux de distorsion harmonique) 48 % de 80 à 100 % de charge

III.5. Configuration du variateur de vitesse (VFD) :

III.5.1. Le logiciel SoMove :

- **Présentation :**

Somove est un logiciel de mise en service destiné à la mise en œuvre des appareils de commande moteur Schneider Electric. Le logiciel SoMove intègre différentes fonctionnalités destinées aux phases de mise en œuvre des appareils, telles que :

- La préparation des configurations
- La mise en service
- La maintenance.

Afin de faciliter les phases de mise en service et de maintenance, le logiciel SoMove peut utiliser une liaison directe. En fonction des produits et de l'architecture réseau, il peut également utiliser : Une liaison directe une liaison sans fil Bluetooth.

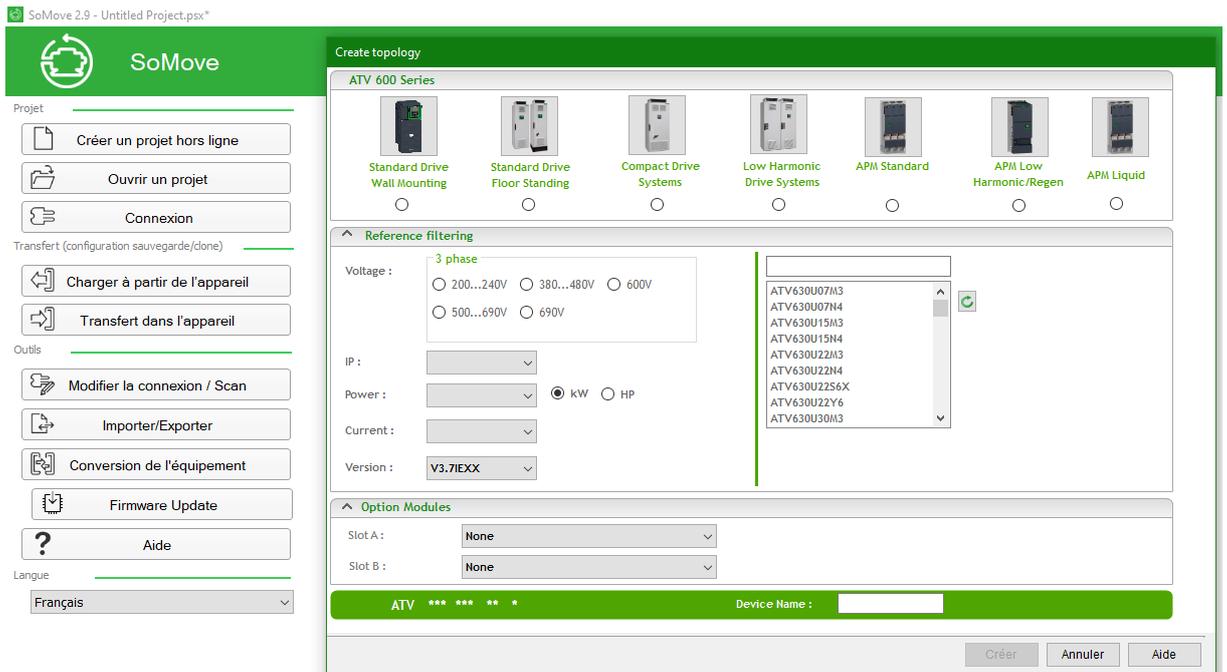


Figure -III.10 Llogiciel Somovo

- **Fonctionnalités**

SoMove contient plusieurs fonctionnalités intéressantes, on en présente ici les plus importantes :

Préparation des configurations en mode déconnecté Le logiciel SoMove offre un réel mode déconnecté qui donne accès aux paramètres des appareils. Ce mode peut être utilisé pour générer la configuration d'un appareil. Un grand nombre de fonctionnalités sont disponibles en mode déconnecté, notamment : L'assistant logiciel lors de la configuration des appareils.[25]

III.5.1.1. Configuration du VFD par Somove

La figure 3.12 représente le schéma de fonctionnement en utilisant un VFD

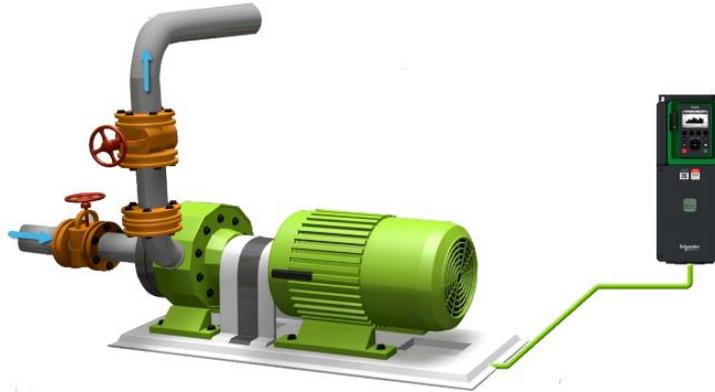


Figure III.11 Schéma de fonctionnement avec VFD

Le VFD installé a pour but de réguler la pression ou le débit de la conduite tout dépend de la consigne introduite, La configuration du VFD se fait par somove en étapes :

A. Configuration de base

-choix de l'appareil :

La Figure 3.13 illustre les gammes des VFD existant qu'on peut configurer



Figure III.12 les différentes gammes de VFD

Dans notre cas on choisit la série ATV6xx installée à la station

-choix de la topologie du VFD

La Figure 3.14 représente la topologie du VFD en choisissant ses paramètres

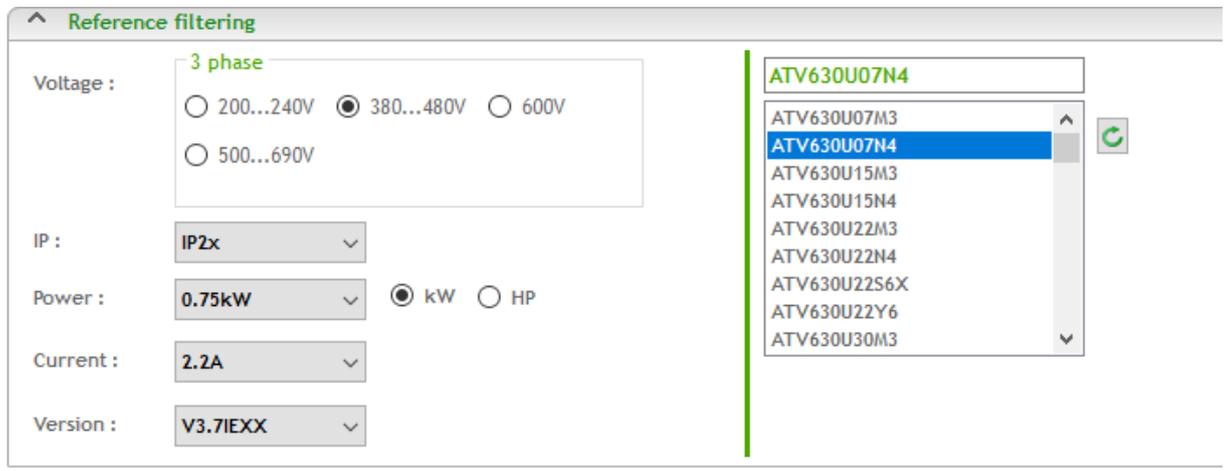


Figure III.13 Topologie du VFD

On choisit la série de la gamme puis on introduit les caractéristiques du variateur (voltage, puissance, courant) trouvées sur la plaque signalétique ou directement la référence du VFD .

La figure III.14 représente l'appareil choisit et ses caractéristiques.

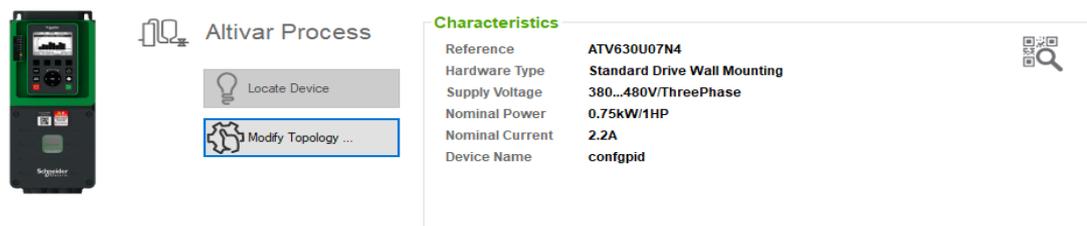


Figure III.15 Présentations du VFD

-les paramètres du VFD et du moteur

La figure III.16 représente les paramètres du vfd

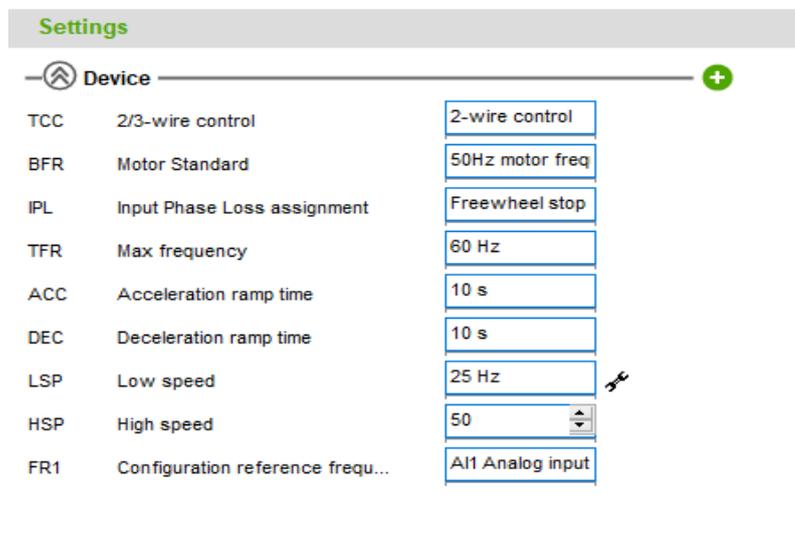


Figure III.16 Paramètres du VFD

Les paramètres du VFD tel que (temps d'accélération, temps de décélération, fréquence minimum, fréquence maximum) sont modifiés

-Paramètres du moteur

La Figure III.17 représente les paramètres du moteur

Code	Long Label	Current Value	Default Value	Min Value	Max Value
BFR	Motor Standard	50Hz motor frequency	50Hz motor frequency		
NPR	Nominal motor power	0.75 kW	0.75 kW	0.09 kW	2.2 kW
UNS	Nominal motor voltage	400 V	400 V	200 V	500 V
NCR	Nominal motor current	2 A	2 A	0.33 A	3.3 A
FRS	Nominal motor frequency	50 Hz	50 Hz	40 Hz	500 Hz
NSP	Nominal motor speed	1400 rpm	1400 rpm	0 rpm	65535 rpm
COS	Motor 1 Cosinus Phi	0.77	0.77	0.5	1
TCC	2/3-wire control	2-wire control	2-wire control		
TFR	Max frequency	60 Hz	60 Hz	10 Hz	500 Hz
STUN	Tune selection	Default	Default		
ITH	Motor Thermal current	2 A	2 A	0.26 A	2.42 A
ACC	Acceleration ramp time	10 s	10 s	0 s	999.9 s
DEC	Deceleration ramp time	10 s	10 s	0 s	999.9 s
LSP	Low speed	25 Hz	0 Hz	0 Hz	50 Hz
HSP	High speed	50 Hz	50 Hz	25 Hz	60 Hz

Figure III.17 Paramètres du moteur

Dans ce cas le moteur commandé par le VFD a une puissance de 0.75 kW, voltage de 400 V et une vitesse de 1400 tr/min

-Entrées /sorties

La figure III.18 représente les entrées / sorties du VFD

In: All [Search](#)

Code	Long Label	Current Value	Default Value
BSP	Reference frequency template selection	Standard ref template	Standard ref template
PI5A	DI5 pulse input assignment	Not assigned	Not assigned
PI6A	DI6 pulse input assignment	Not assigned	Not assigned
AI1A	AI1 assignment	Reference frequency 1	Reference frequency 1
AI2A	AI2 assignment	Not assigned	Not assigned
AI3A	AI3 assignment	Manual PID reference	✘ Not assigned
AI4A	AI4 assignment	PI controller feedback	✘ Not assigned
AI5A	AI5 functions assignment	Installation flow sensor source	✘ Not assigned
AV1A	AIV1 assignment	Not assigned	Not assigned
AV2A	AIV2 assignment	Not assigned	Not assigned
AV3A	AIV3 assignment	Not assigned	Not assigned
L1L	DI1 low assignment	No	No
L1H	DI1 high assignment	Forward direction select	Forward direction select
L2L	DI2 low assignment	No	No
L2H	DI2 high assignment	No	No
L3L	DI3 low assignment	No	No

Figure III.18 Entrées/sorties

-Régulation PID

A. Définition du PID

Le régulateur PID est considéré comme un régulateur standard car c'est le plus utilisé dans l'industrie (proportionnel intégral dérivé) , permettant d'assurer à l'aide de ses trois paramètres les performances souhaitées (amortissement, temps de réponse, ...). Nombreux sont les systèmes physiques que l'applique tel que le système de pompage

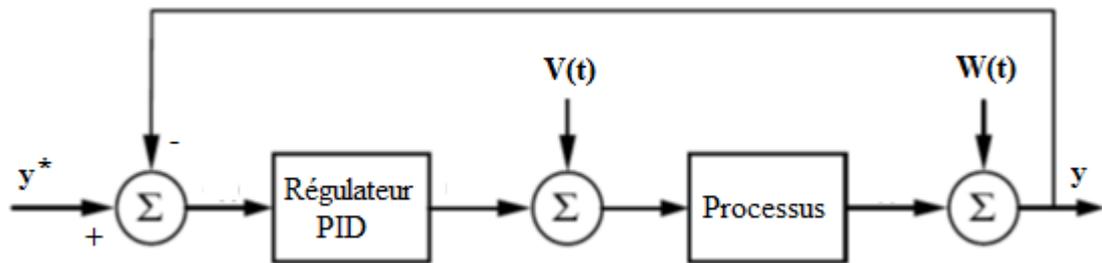
Le régulateur PID classique relie directement le signal de commande $u(t)$ au signal d'écart $e(t)$. Sa description temporelle est la suivante :

$$u(t) = K_p(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_{-\infty}^t e(t)dt + T_d \frac{de}{dt})$$

Sa fonction de transfert est :

$$Gc(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = Kp \cdot \frac{1 + s.Ti + s^2.Ti.Td}{s.Ti}$$

Son schéma fonctionnel



B. Paramétrage du PID

Pour simuler le capteur de pression, on a utilisé un potentiomètre

La figure III.19 représente la configuration du PID

Code	Long Label	Current Value
TOCT	Type of control	PRESSURE
PIF	PID controller feedback	AI4 Analog input
CRL1	AI1 current scaling parameter of 0%	4 mA
CRL3	AI3 current scaling parameter of 0%	4 mA
CRL4	AI4 current scaling parameter of 0%	4 mA
CRL5	AI5 current scaling parameter of 0%	4 mA
PIF1	Minimum PID feedback	0 bar
PIF2	Maximum PID feedback	2.5 bar
PAL	Minimum feedback level warning	0 bar
PAH	Maximum feedback level warning	2.5 bar
AI3K	AI3 highest process	250
AI4K	AI4 highest process	250
AI5K	AI5 highest process	200
JFDS	Anti-Jam forward speed	25 Hz
JRVS	Anti-Jam reverse speed	25 Hz
FS1A	Installation flow sensor assignment	AI5 Analog input
JPRS	Pump reference speed when VSP is selected as jockey pump	50 Hz

Figure III.19 Configuration du PID

Dans ce cas on a choisi de réguler la pression et le retour se fait en AI4 par régulation de courant 4-20mA ce qui signifie que 0 bar affiche 4 mA et 2.5 bars affiche 20 mA, tout dépend la valeur indiquée par le capteur de pression le VFD affichera son image en courant.

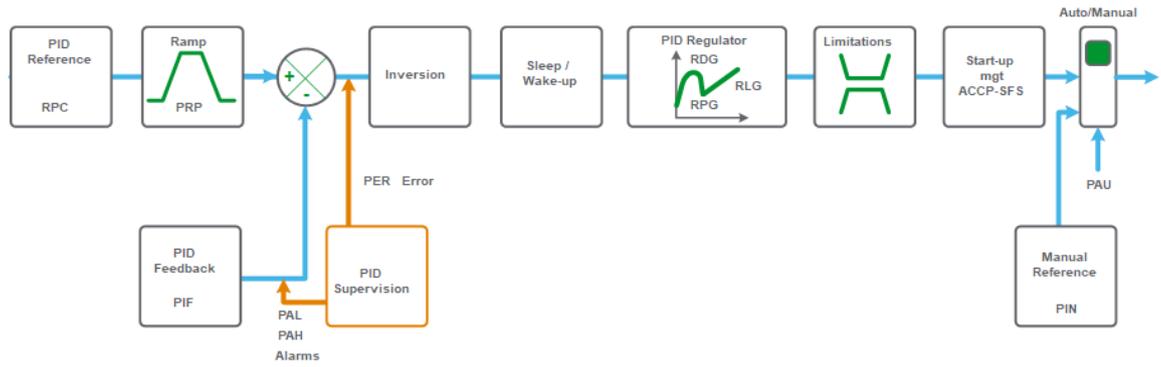


Figure III.20 schéma PID par somove

III.5.1.2. Comportement du VFD dans le cas réel

Pour voir l'influence de la fréquence sur les différentes caractéristiques du moteur et de la pompe, on a effectué quelques essais

-sur le moteur

La figure représente un graphe de la vitesse en fonction de la fréquence

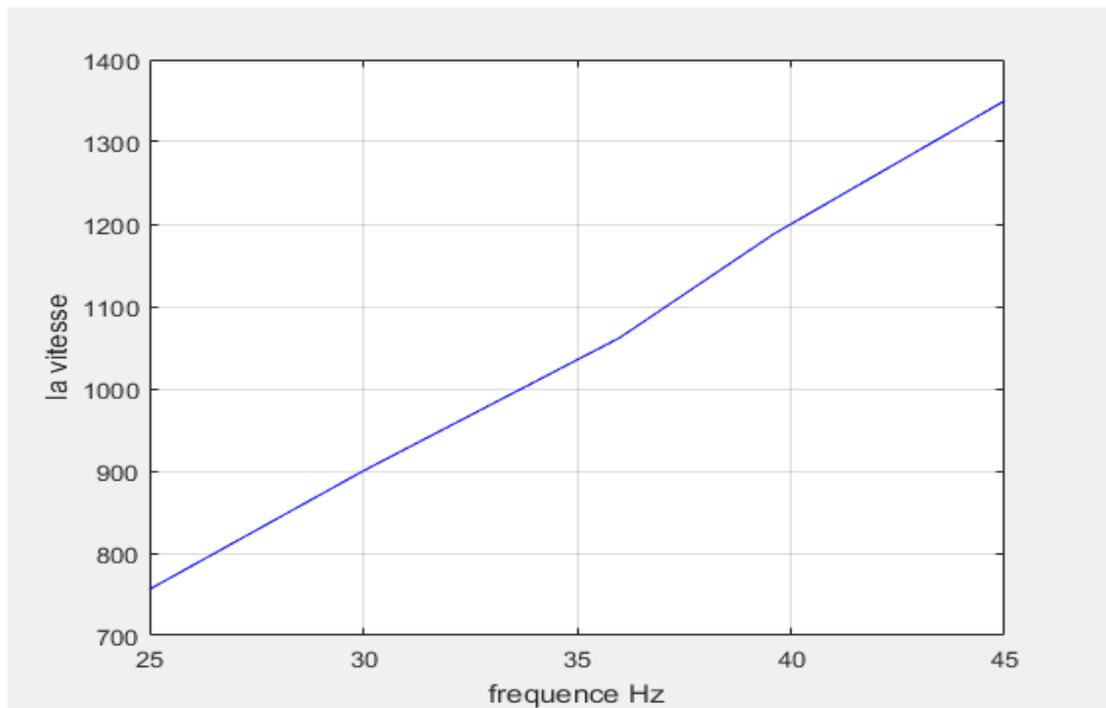


Figure III.21 Graphe représentant la vitesse en fonction de la fréquence

On remarque que plus la fréquence augmente plus la vitesse augmente jusqu'à atteindre les 50Hz à 1400 tr/min ce qui confirme la relation entre la vitesse de rotation du moteur et la fréquence

$$v = 60 * \frac{f}{p}$$

-la tension en fonction de la fréquence

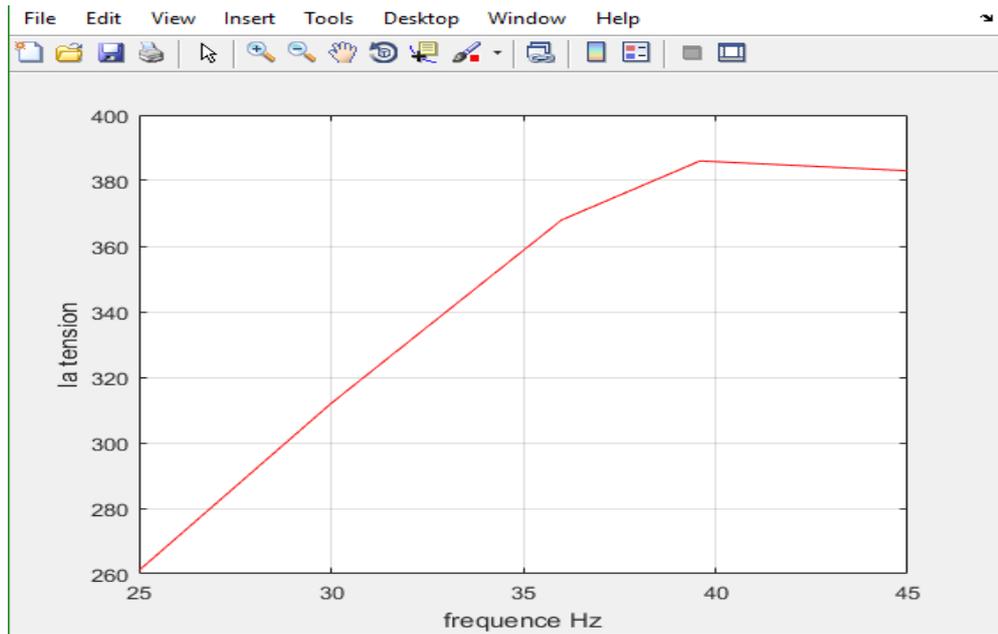


Figure III.22 Courbe de la tension en fonction de la fréquence

On remarque dans ce graphe que plus la fréquence augmente plus la tension augmente jusqu'à atteindre sa tension nominale

-Pression en fonction de la fréquence

La Figure III.23 représente l'évaluation de la pression en fonction de la fréquence

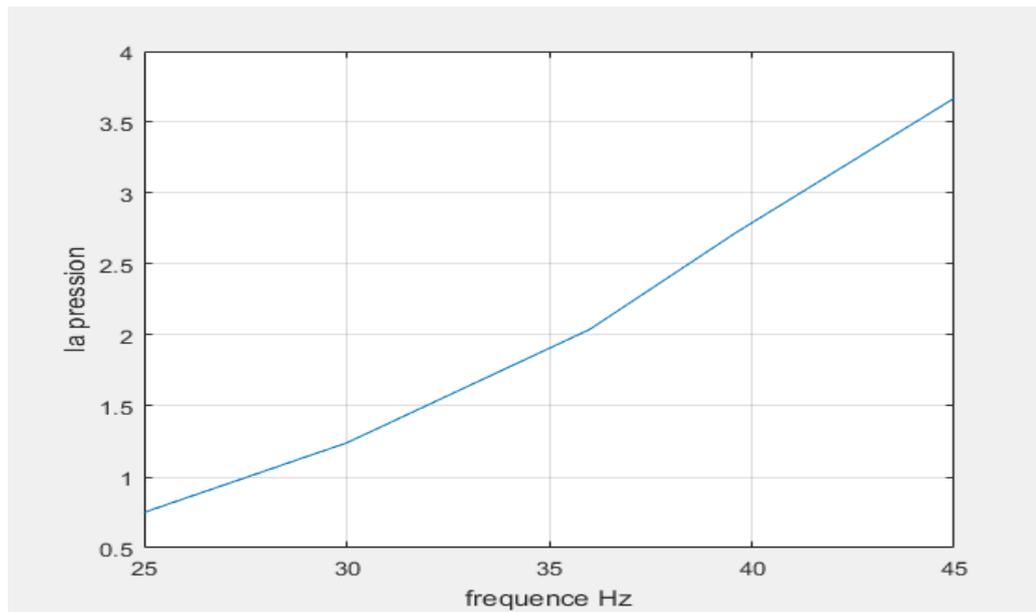


Figure III.23 Pression en fonction de fréquence

On remarque que plus la fréquence augmente plus la pression augmente

III.5.2. Commande du VFD par API

L'Automate Programmable Industriel (API) est un appareil électronique programmable, adapté à l'environnement industriel, qui réalise des fonctions d'automatisme pour assurer la commande de pré-actionneurs et d'actionneurs à partir d'informations logique, analogique ou numérique

Il peut être directement connecté aux capteurs grâce à ses entrées/ sortie industrielles.

Il est conçu pour fonctionner dans des ambiances industrielles sévères (température,

Vibrations, microcoupures de la tension d'alimentation, parasites, etc.).

III.5.2.1. Principe de fonctionnement d'un API :

L'automate programmable reçoit des données par ses entrées, celles-ci sont ensuite traitées

Par un programme défini, le résultat obtenu étant délivré par ses sorties. Ce cycle de traitement est toujours le même, quel que soit le programme, néanmoins le temps d'un cycle d'API varie selon la taille du programme et la puissance de l'automate.

-Architecture industrielle

Les automates peuvent être de type compact ou modulaire.

- Les automates programmables de types compacts se présentent comme des modules où l'ensemble des fonctions à savoir alimentation, CPU, entrée et sortie sont sur le même boîtier [3]
- Les automates programmables modulaires présentent des alimentations, des CPU, des modules entrées et sorties dans des boîtiers indépendants les uns des autres et relier entre eux par bus ou fond de panier



Figure III.24 Schéma de l'API

Le système de contrôle programmable (automate programmable) recueille les informations provenant des variateurs de vitesse et des capteurs (tels que la pression ou le débit). En fonction des valeurs collectées, il exécute le programme en accord avec la consigne spécifiée, puis envoie les commandes au variateur.

Les commandes transmises de l'automate programmable vers le variateur de vitesse (VFD) incluent :

- Une commande de démarrage/arrêt (entrée digitale) pour mettre en marche ou arrêter le variateur.
- Une commande de vitesse afin de maintenir la pression ou le débit requis conformément à la consigne.

Les éléments constituant l'API

- Block API : où le programme est intégré
- Switch
- Module de communication est connecté aux modules d'entrées/sorties dans le système.
- Modules d'entrées/sorties :
 - Les modules d'entrées/sorties numériques (1-0) : fonctionnent avec une tension de 0 à 24 V.
 - Les modules d'entrées/sorties analogiques : utilisent une plage de courant de 4 à 20 mA.
- Le variateur de vitesse (VFD) exécute les commandes fournies par l'automate programmable (API). Les informations renvoyées vers l'API depuis le VFD comprennent :
 - Les signaux d'entrée numériques : retour de marche et les défauts.
 - Les signaux d'entrée analogiques : vitesse de fonctionnement.

Tous ces éléments, y compris l'alimentation, le module de communication et les modules d'entrées/sorties, sont installés dans un rack.

III.5.2.2. Logiciel unity pro :

(1 Configuration matérielle

La figure représente les éléments constituant un API

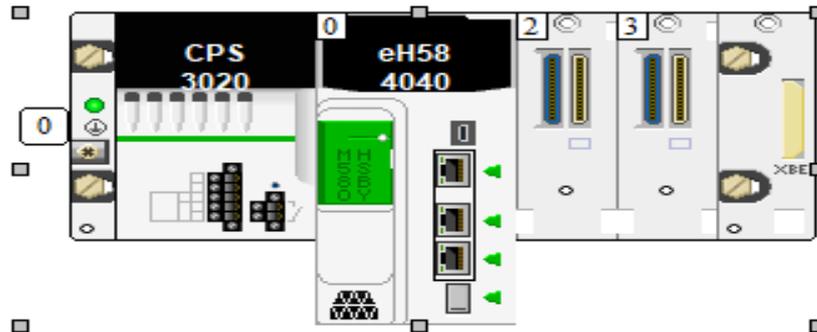


Figure III.25 les éléments de l'API

Selon la fiche technique, on a choisi son alimentation, module de communication, module entrée/sortie

La figure III.26 représente les modules d'entrée/sortie pour les différents VFD

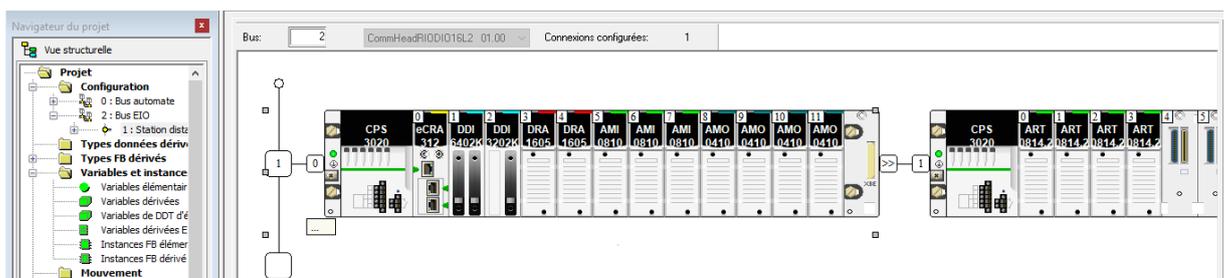


Figure III.26 Modules entrés/sorties

(2 Déclaration des variables

Vu que l'API commande plusieurs variateurs, on doit déclarer deux types de variables

a. Les variables élémentaires :

Ce sont les variables qui caractérisent chaque variateur de vitesse la figure III.27 représente chaque variable et son type (booléen, entier, réel.)

Nom	Type	Valeur	Commentaire	Alias	Alias pour	Adresse	Variable IHM	Droits lecture/écriture
ferret	EBOOL							
I_AU_VFD	EBOOL				EIO2_d1_r0_s1_D...			
I_ccl_pompe	EBOOL				EIO2_d1_r0_s1_D...			
I_DEFAULT_VFD	EBOOL				EIO2_d1_r0_s1_D...			
I_interrepture_vfd	EBOOL				EIO2_d1_r0_s1_D...			
I_local_pompe	EBOOL				EIO2_d1_r0_s1_D...			
I_remote_pompe	EBOOL				EIO2_d1_r0_s1_D...			
I_VFD_en_service	EBOOL				EIO2_d1_r0_s1_D...			
IW_vitesse_203	INT				EIO2_d1_r0_s5_A...			
marche	EBOOL							
Q_marche	EBOOL				EIO2_d1_r0_s3_D...			
QW_consigne	INT				EIO2_d1_r0_s8_A...			
reset	EBOOL							

Figure III.27 Les variables élémentaires

(1 Le programme principal

– Commande défaut

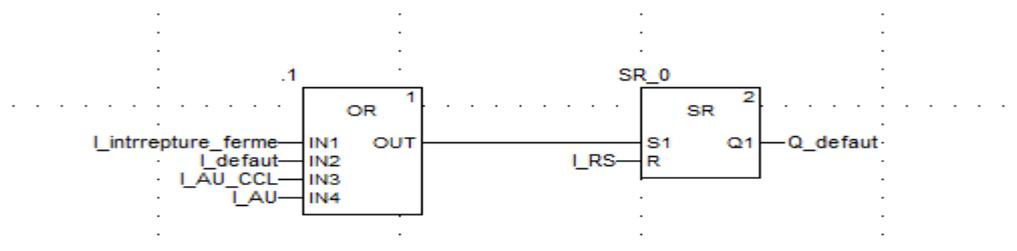


Figure III.28 Block de défaut

On utilise un block « ou » dont les entrées sont :

IN1= I_interrepture_fermé

IN2= I_defaut

IN3= I_AU_CCL

IN4= I_AU

Et une sortie RESET

– Commande marche

On a un block and dont ses entrées sont : IN1= \bar{Q}

IN2= Bouton_marche

Et un autre block « ou » dont ses entrées : IN1= Q

IN2= Bouton_arrêt

Pour le block RESET son entrée

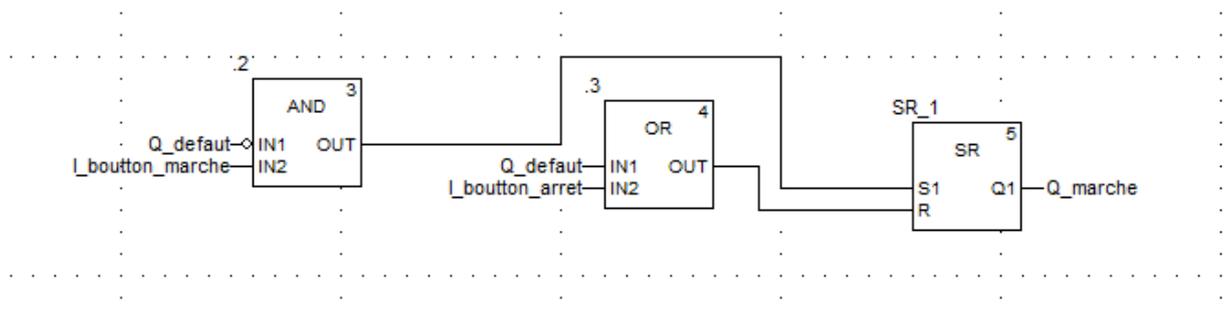


Figure III.29 Schéma du block marche

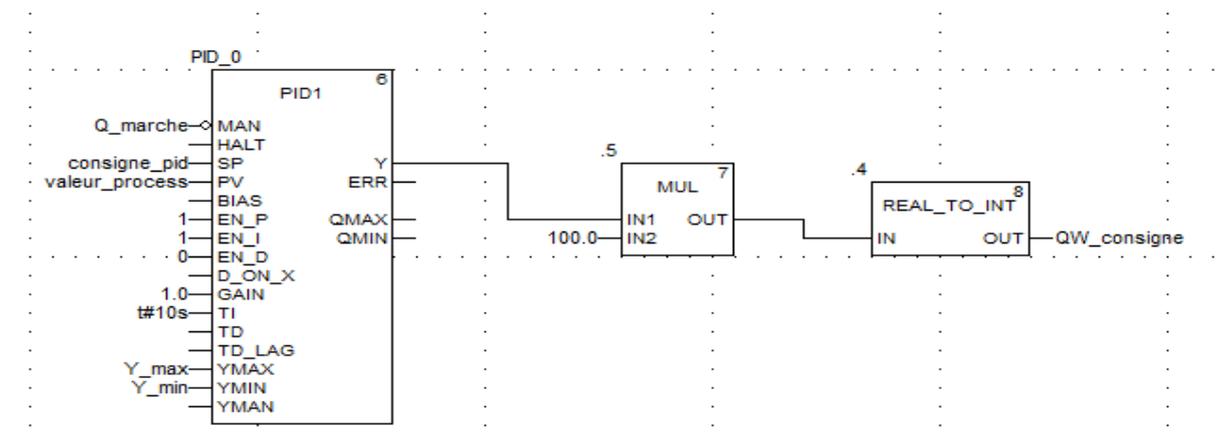


Figure III.30 Schéma de régulation PID

(1 Programme MUST

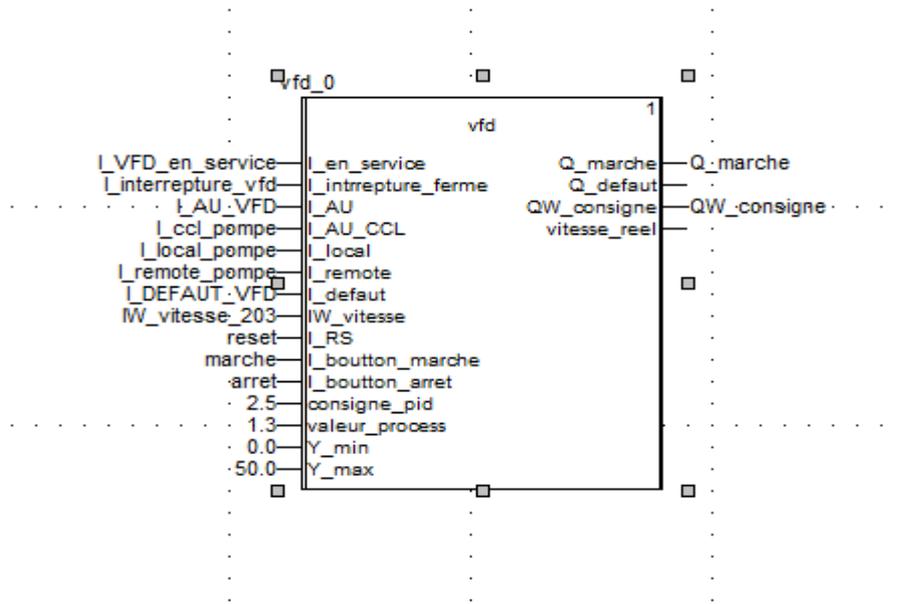


Figure III.31 Block du VFD

Dans ce block on trouve plusieurs entrées digitales et analogiques

b. Variables du VFD

Variables Types DDT Blocs fonction Types DFB					
Filtre					
Nom	N°	Type	Valeur	Commentaire	
vfd_0					
<entrées>					
I_en_ser...	1	EBOOL			
I_intrept...	2	EBOOL			
I_AU	3	EBOOL			
I_AU_CCL	4	EBOOL			
I_local	5	EBOOL			
I_remote	6	EBOOL			
I_default	7	EBOOL			
IW_vitesse	8	INT			
I_RS	9	EBOOL			
I_boutton...	10	EBOOL			
I_boutton...	11	EBOOL			
consigne...	12	REAL			
valeur_pr...	13	REAL			
Y_min	14	REAL	0		
Y_max	15	REAL	100		
<sorties>					
Q_marche	1	EBOOL			
Q_defaut	2	EBOOL			
QW_con...	3	INT			
vitesse_r...	4	REAL			

Figure III.32 Les variables

Le bloque PID :

-Régulation de la pression

-SP : la consigne de la pression 2.5 bar.

-PV : retour du capteur « comparaison ».

-MAST : on fait appel au modèle de la fonction VFD.

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre, on a abordé les moteurs asynchrones, en mettant l'accent sur les différents types de démarrage utilisés. On a également examiné pourquoi le démarrage avec variateur de vitesse était choisi comme méthode préférée dans certaines applications.

On a introduit le logiciel EcoStruxure Management, qui est utilisé pour la gestion des systèmes de contrôle industriels. Ensuite on a exploré les gammes de variateurs de vitesse ATV600 et ATV6000, qui font partie de la solution de variateurs de fréquence d'entreprise de Schneider Electric.

On a discuté de la configuration du variateur ATV600 en utilisant le logiciel SoMove. SoMove permet de configurer les paramètres de base du variateur

Enfin, on a abordé la configuration du variateur par commande API à l'aide du logiciel Unity Pro.

Chapitre IV
Hybridation De
L'alimentation Avec
L'énergie Solaire
Photovoltaïque

CHAPITRE IV: HYBRIDATION DE L'ALIMENTATION AVEC L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre on décrira en premier lieu l'énergie solaire, le principe de fonctionnement des cellules solaires, on abordera également leurs différentes technologies disponibles. Dans le but de diminuer la consommation d'électricité on hybridera une partie de la puissance en photovoltaïque où on va utiliser le logiciel PVsyst pour effectuer une simulation dont l'objectif est d'estimer le nombre de modules photovoltaïques nécessaires pour atteindre cette puissance et d'estimer le cout total de l'installation les résultats de la simulation nous donneront des indications précieuses pour la mise en œuvre pratique de notre installation solaire.

IV.2 Rayonnement solaire :

C'est le flux d'énergie que le soleil reçoit sous forme d'ondes électromagnétiques de différentes fréquences.[26] Le rayonnement solaire reçu au sol varie dans le temps, d'une part en fonction des variations de l'activité solaire, et d'autre part en fonction des saisons (selon inclinaison de la Terre)

- **Rayonnement direct :**

Ce type de rayonnement provient directement du soleil, sans être diffusé par l'atmosphère. Les rayons solaires sont parallèles entre eux, ce qui entraîne la formation d'ombres il atteint directement le module photovoltaïque et qui a sa valeur maximale lorsqu'il est perpendiculaire à la surface du module

- **Rayonnement diffus :**

Le rayonnement diffus est constitué de photons dispersés par l'atmosphère. Sa composition varie en fonction des conditions météorologiques.

- **Rayonnement albédo :**

Le rayonnement albédo correspond à la partie du rayonnement solaire qui est réfléchi par le sol. Son niveau dépend de l'environnement du site, et il est important de le prendre en compte lors de l'évaluation du rayonnement sur des surfaces inclinées..[27]



Figure IV.1 Différents types de rayonnement solaire

IV.3 Energie solaire

L'énergie solaire est l'énergie transmise par le soleil sous la forme de lumière et de chaleur.

C'est une ressource abondante et la source la plus prometteuse d'énergie propre

La disponibilité de cette ressource solaire abondante en Algérie offre une opportunité significative de développer et d'utiliser l'énergie solaire comme source d'énergie renouvelable pour répondre aux besoins du pays. L'utilisation de l'énergie solaire permettrait de réduire la dépendance aux combustibles fossiles et de promouvoir le développement durable, tout en contribuant à la lutte contre le changement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre.

L'introduction des énergies renouvelables dans le bilan énergétique aura pour conséquence

- Une meilleure exploitation du potentiel disponible,
- Une réduction considérable des émissions des gaz à effet de serre,
- Une réduction de la part des énergies fossiles dans le bilan énergétique national,

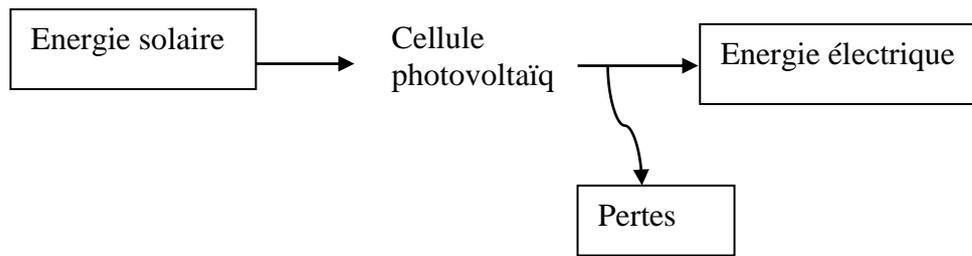


Figure IV.2 Transformation de l'énergie solaire en énergie électrique

IV.1.1 Cellule photovoltaïque

C'est un composant électronique qui, exposé aux photons de la lumière, qui produit de l'électricité, le module(panneau) photovoltaïque est formé d'un assemblage de cellules photovoltaïques. Lorsqu'on regroupe plusieurs panneaux sur un même site, on obtient un champ photovoltaïque.

a. Principe de fonctionnement

Le fonctionnement des panneaux solaires repose sur les propriétés des semi-conducteurs. Lorsque les photons solaires frappent le matériau semi-conducteur, ils mettent en mouvement des électrons, qui se déplacent de manière désordonnée à la recherche d'autres emplacements libres.

Pour générer un courant électrique, il est nécessaire d'orienter ces mouvements d'électrons dans une seule direction. Pour ce faire, on utilise deux types de silicium. La face exposée au soleil est dopée avec des atomes de phosphore qui possèdent un excès d'électrons par rapport au silicium, tandis que l'autre face est dopée avec des atomes de bore qui ont moins d'électrons que le silicium. Cela crée une polarisation : la face avec un excès d'électrons devient la borne négative (N), tandis que la face avec moins d'électrons devient la borne positive (P). Un champ électrique se forme entre les deux.

Lorsque les photons excitent les électrons, ils sont poussés vers la zone N grâce au champ électrique, tandis que les "trous" (emplacements libres) se déplacent vers la zone P. Les électrons et les trous sont ensuite capturés par des contacts électriques situés à la surface des deux zones, avant de circuler dans un circuit externe sous forme d'énergie électrique. Ainsi, un courant continu est généré. Une couche anti-reflet est utilisée pour limiter la réflexion des photons à la surface du matériau, afin d'éviter leur perte.[28]

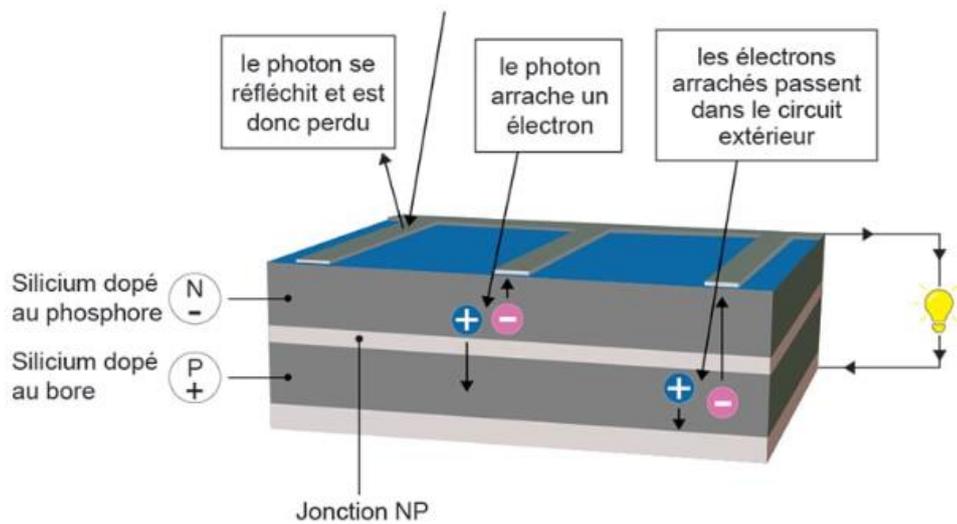


Figure IV.3 Principe de la cellule photovoltaïque

IV.1.2 Différents types de générateurs photovoltaïques

a. Silicium monocristallin

L'obtention de silicium monocristallin est un processus complexe. Il requiert un niveau de pureté extrêmement élevé, ce qui implique plusieurs étapes de purification. Cependant, ces étapes sont délicates et donc coûteuses.

Le silicium monocristallin présente le rendement le plus élevé parmi les différentes formes de silicium utilisées dans les cellules solaires. Pour les cellules industrielles, ce rendement se situe généralement entre 12 et 20%.

b. Silicium multicristallin :

La technologie la plus largement utilisée qui représente près de 50% du marché. Les cellules solaires multicristallines sont obtenues en coulant du silicium, ce qui donne une structure hétérogène. Leur rendement est légèrement inférieur à celui du silicium monocristallin, se situant entre 10 et 14%.

Malgré un rendement inférieur, les cellules solaires multicristallines présentent un avantage majeur : la réduction des coûts grâce à une simplification du processus de fabrication.

c. Silicium amorphe

Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre. La cellule est grise très foncé. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites solaires

IV.1.3 Regroupement des modules PV :

- **En série**

En associant des cellules en série dans un générateur photovoltaïque, il est possible d'augmenter la tension de sortie. Dans ce cas, toutes les cellules sont traversées par le même courant, et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue en additionnant les tensions individuelles de chaque cellule.

Cette configuration permet d'obtenir une augmentation de la tension de sortie. Pour un groupement de n cellules montées en série, la tension de sortie U_s s'exprime généralement comme suit : $U_s = U_c . n$

Où U_c représente la tension fournie par une cellule.

Dans ce type de groupement en série, le courant est commun à toutes les cellules, ce qui signifie qu'il reste constant tout au long du circuit.

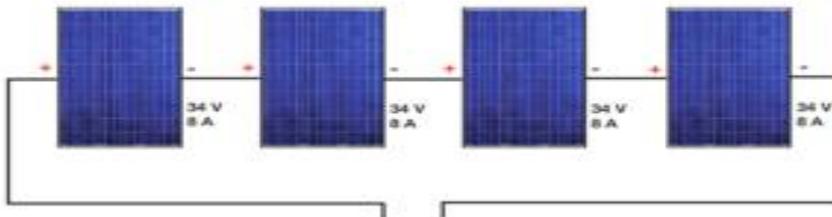


Figure IV.4 Regroupement en série

- **En parallèle :**

L'association des cellules en parallèle, permet d'augmenter le courant de sortie du générateur créé. Lorsque des cellules identiques sont connectées en parallèle, elles sont

soumises à la même tension. La caractéristique résultante du groupement en parallèle est obtenue en additionnant les courants de chaque cellule.

Cette configuration permet d'obtenir une augmentation du courant de sortie.

Pour un groupement de n cellules montées en parallèle le courant de sortie I_s a pour expression générale : $I_s = n \cdot I_c$ avec

I_c : courant fourni par une cellule

Les cellules en parallèle génèrent des courants individuels qui s'additionnent pour former le courant global du générateur et la tension reste la même pour toutes les cellules, tandis que les courants s'additionnent pour former le courant de sortie global.

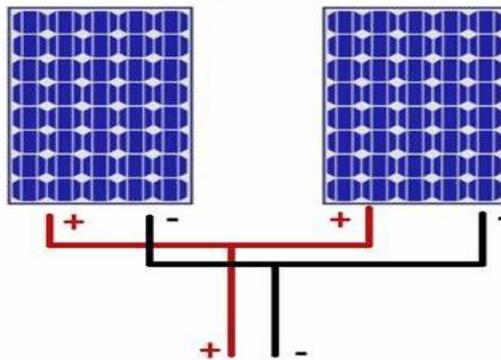


Figure IV.5 Regroupement en parallèle

- **En série/parallèle**

L'association en série des photopiles est généralement utilisée pour obtenir une tension élevée, car elle permet d'additionner les tensions individuelles des cellules. En revanche, le courant reste égal à celui d'une seule cellule. La caractéristique d'un groupement de deux modules solaires est représentée ci-dessous, et cette configuration peut être généralisée à une gamme de N_s modules solaires en série. Ce type de groupement permet d'augmenter le courant.

Pour obtenir des puissances de quelques kW, tout en maintenant une tension appropriée, il est nécessaire d'associer les modules solaires en panneaux. Les panneaux sont ensuite montés

en rangées, en utilisant à la fois une connexion en série et en parallèle, afin de former un générateur photovoltaïque.[29]

IV.1.4 Types de systèmes photovoltaïques

Il existe généralement trois types de systèmes photovoltaïques : les systèmes autonomes, les systèmes hybrides et les systèmes connectés à un réseau. Les deux premiers sont indépendants du réseau électrique et sont souvent utilisés dans des régions éloignées.

a. Système photovoltaïque autonome :

Ces systèmes sont installés pour fonctionner de manière autonome, sans dépendre d'autres sources d'énergie. Ils sont principalement utilisés dans des régions isolées et éloignées du réseau électrique.

b. Système photovoltaïque hybride :

Les systèmes photovoltaïques hybrides combinent l'énergie solaire avec d'autres sources d'énergie, telles que des générateurs diesel, des éoliennes ou des systèmes de stockage d'énergie. Ces systèmes sont utilisés lorsque l'énergie solaire seule ne suffit pas pour répondre à la demande énergétique, notamment en raison de variations saisonnières ou de pics de consommation.

c. Système photovoltaïque connecté au réseau :

Les systèmes photovoltaïques connectés au réseau sont reliés au réseau électrique public. Ils fonctionnent en utilisant l'énergie solaire pour alimenter les appareils électriques du bâtiment, tout en permettant un échange d'électricité avec le réseau. Lorsque le système produit plus d'électricité que nécessaire, l'excès est injecté dans le réseau, généralement en échange d'un crédit ou d'une compensation.

Un générateur photovoltaïque connecté au réseau électrique ne nécessite pas de stockage d'énergie, ce qui élimine la nécessité du composant le plus problématique et coûteux. En réalité, c'est le réseau dans son ensemble qui agit comme un réservoir d'énergie. Il existe deux modes d'injection du courant photovoltaïque dans le réseau :

1. Injection totale : Dans ce cas, toute la production d'électricité photovoltaïque est injectée dans le réseau électrique.

2. Injection du surplus : Lorsque la production photovoltaïque dépasse la consommation électrique, seul le surplus d'énergie est injecté dans le réseau.

IV.1.5L'onduleur solaire

Un onduleur solaire, également connu sous le nom de régulateur ou convertisseur solaire, joue un rôle essentiel en transformant le courant électrique continu produit par les panneaux solaires en courant alternatif, ce qui permet à l'électricité de circuler de manière adaptée.

Dans un système photovoltaïque relié au réseau électrique, l'onduleur doit fournir une tension de sortie synchronisée avec celle du réseau. En d'autres termes, l'onduleur doit avoir la même fréquence que le réseau sur chacune des trois phases.

IV.1.6 Commande MPPT

La commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) est une méthode spécifique utilisée pour que les systèmes photovoltaïques fonctionnent à leurs points de puissance maximale. Son objectif est d'optimiser le transfert de puissance entre le générateur solaire et la charge en recherchant le point de puissance maximale (PPM).

La méthode de commande MPPT la plus couramment utilisée est la méthode P&O (perturb and observe). Cette méthode consiste à faire varier la tension du générateur solaire et à analyser la puissance de sortie afin de maximiser cette puissance tout en maintenant une intensité de sortie élevée. Dans le cas d'un système MPPT, le régulateur de tension DC de l'onduleur ajuste automatiquement le signal de référence VDC afin d'obtenir une tension DC qui permettra d'extraire la puissance maximale du générateur photovoltaïque.[29]

IV.4 Etude par le logiciel PVSys :

Notre objectif est de mettre en place un système photovoltaïque sur les toits des bâtiments afin de produire environ 500 kW d'énergie qui représente une partie de cette puissance totale 15 MW.

On réalise une étude du site pour déterminer l'emplacement optimal des panneaux solaires sur les toits des bâtiments. Cela implique de prendre en compte des facteurs tels que l'orientation, l'inclinaison et l'ombrage potentiel pour maximiser la production d'énergie solaire.

En ce qui concerne les panneaux solaires eux-mêmes, on choisit des panneaux photovoltaïques de haute qualité, en tenant compte de leur efficacité et de leur durabilité. Le type de panneaux utilisés dépendra également des contraintes budgétaires et des spécifications du projet.

Pour convertir l'énergie solaire en électricité utilisable, on utilise des onduleurs solaires. Les onduleurs sont responsables de la conversion du courant continu généré par les panneaux solaires en courant alternatif utilisable dans le réseau électrique.

a) Localisation du site

Le site géographique de la station

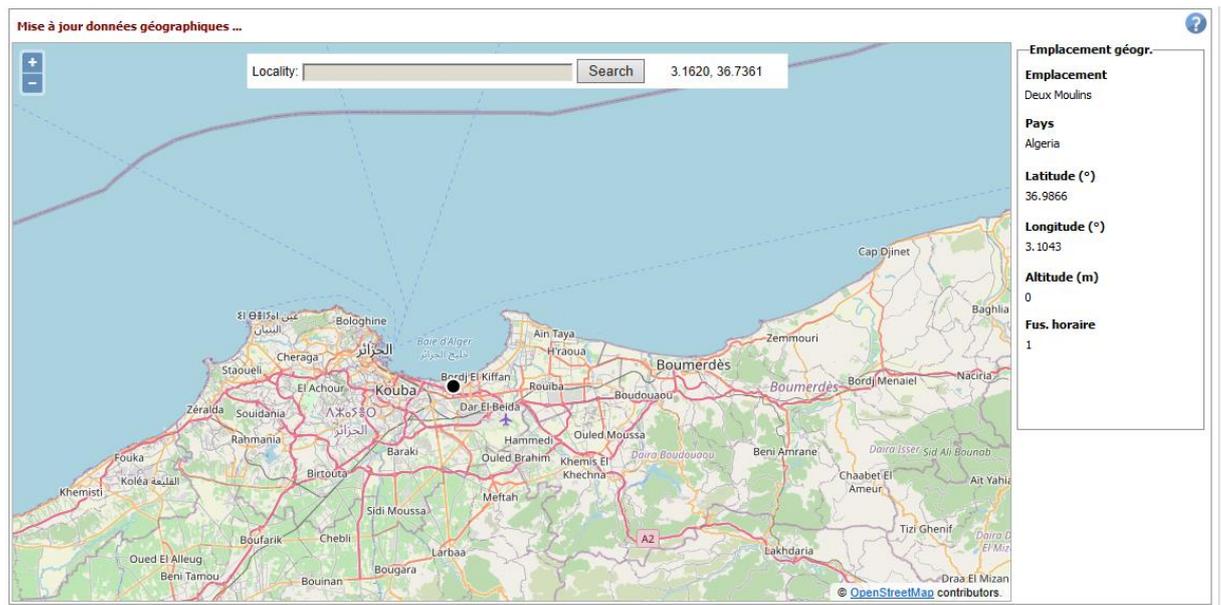


Figure IV.6 Situation géographique de la station

Pour avoir des résultats précis, l'emplacement réel du projet PV est identifié grâce à la longitude et la latitude du lieu, et est ajouté à la base de données météorologiques (irradiation , température et vitesse du vent).

b) Données climatiques du site

Coordonnées Géographiques Météo mensuelle Carte interactive						
Site Tamentfoust (Algérie)						
Source des données Tamentfoust_MN81.SIT -- Meteorm 8.1 (1996-2010), Sat=100 %						
	Irradiation globale horizontale	Irradiation diffuse horizontale	Température	Vitesse du vent	Turbidité Linke	Humidité relative
	kWh/m ² /mois	kWh/m ² /mois	°C	m/s	[-]	%
Janvier	71.4	33.9	10.1	2.60	2.827	81.8
Février	84.7	38.0	10.7	2.80	3.071	78.1
Mars	127.8	59.6	13.4	2.91	3.892	76.0
Avril	159.1	70.0	15.5	2.99	4.300	76.5
Mai	187.4	90.8	18.9	3.00	4.880	72.9
Juin	213.9	87.6	22.9	3.10	5.021	69.0
Juillet	219.3	88.4	26.6	3.20	6.046	65.9
Août	198.4	80.4	26.9	3.00	5.222	67.1
Septembre	146.9	63.3	23.6	2.79	4.665	72.1
Octobre	114.2	48.8	20.5	2.39	3.915	71.8
Novembre	72.0	33.1	14.7	2.60	3.339	77.3
Décembre	64.7	30.2	11.5	2.40	2.922	80.6
Année	1659.8	724.1	18.0	2.8	4.175	74.1

Irradiation globale horizontale variabilité d'une année sur l'autre 4.6%

Figure IV.7 Données météorologiques

- **Trajectoire du soleil**

Pour maximiser l'efficacité d'un système photovoltaïque, il est important de prendre en compte l'orientation et l'inclinaison des panneaux solaires. En général, les panneaux sont orientés vers le sud et inclinés à un angle égal à la latitude du lieu. Cela permet de maximiser l'exposition aux rayons solaires tout au long de l'année. Cela permet d'optimiser la capture de l'énergie solaire.

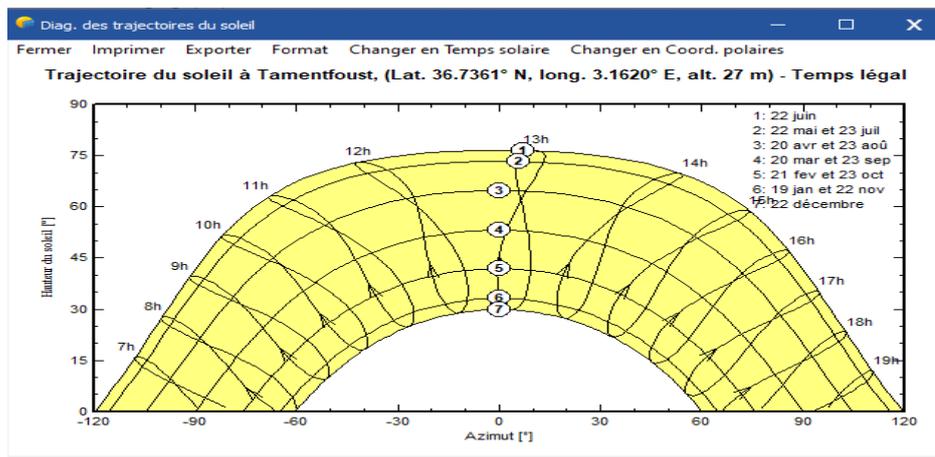


Figure IV.8 trajectoire du soleil

- **Orientation et inclinaison des panneaux solaire**

Le choix de l'angle d'inclinaison des panneaux solaires dans un système photovoltaïque dépend de la localisation géographique, En général, l'angle d'inclinaison recommandé est égal à

la latitude du lieu. Dans notre cas la latitude du site est de 37° donc pour optimiser la capture de l'énergie solaire-il est préférable d'incliner les panneaux photovoltaïques de 37°

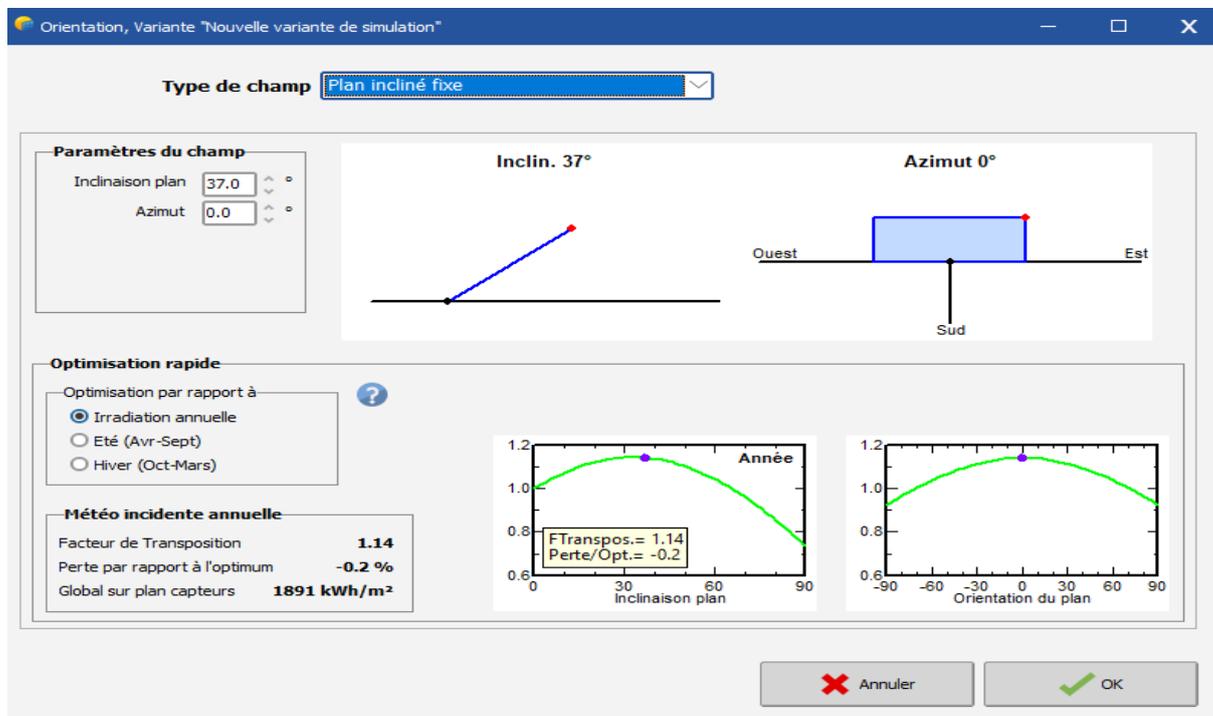


Figure IV.9 Orientation des panneaux

c) Calcul énergétique

La Figure 10 illustre la configuration de système PV connecté au réseau, en suivant ces étapes

- Spécifier la puissance désirée ou la surface disponible : Dans notre cas la puissance désirée est de 500kW et la surface que le logiciel à estimer est de 2271 m^2
- Choisir les modules PV et de l'onduleur dans la base de données interne : Une fois que on a sélectionné les modules PV et l'onduleur. PVsys effectuera automatiquement le dimensionnement du système PV en fonction des informations fournies. Il calculera la production d'énergie attendue, les rendements, les pertes et d'autres paramètres du système
- Configuration du système PV : Une fois que le dimensionnement est terminé, on peut visualiser les performances prévues du système, la production d'énergie annuelle, les rendements mensuels, les pertes, les courbes de production, etc.

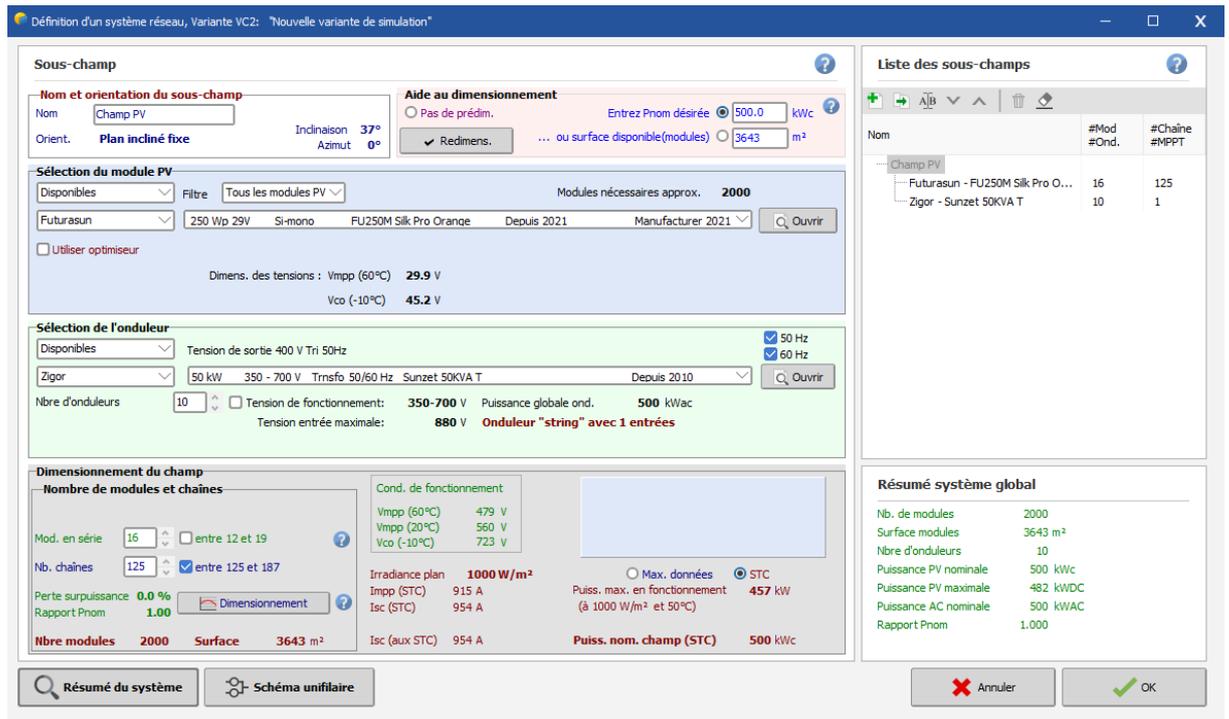


Figure IV.10 Choix de système

Pour atteindre la puissance désirée de 500 kW, nous avons choisi d'utiliser des panneaux solaires monocristallins d'une puissance de 250 W et d'une tension de 29 V, ainsi que des onduleurs de 50 kW. Donc on aura besoin de 10 d'onduleurs.

En ce qui concerne le regroupement des panneaux solaires, nous devons veiller à obtenir la tension requise par l'onduleur, ce qui signifie que le logiciel a estimé que nous aurions besoin de 19 panneaux en série. Cela donne une tension totale de $16 * 29 = 464$ V, qui est compatible avec la plage de tension de l'onduleur [350-700 V].

Le logiciel a également estimé que nous aurions besoin de 2000 ensembles de panneaux solaires regroupés en série et en parallèle pour atteindre la configuration optimale en termes de puissance indiquée sur une surface de 3643 m^2

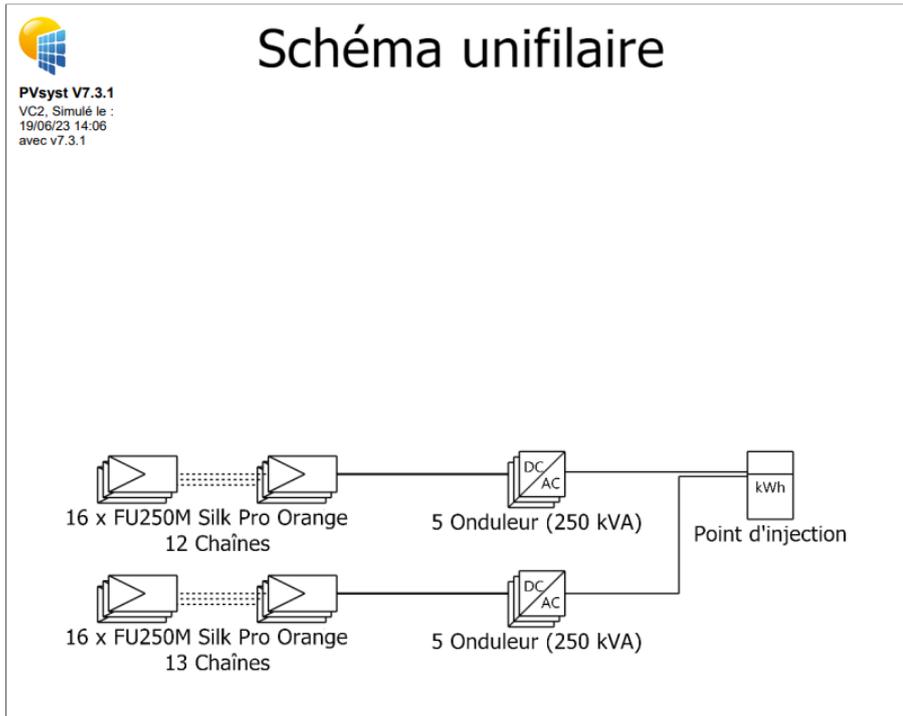


Figure IV.11 schéma unifilaire simulé par pvsyst

• **Résultat de simulation :**

Bilans et résultats principaux

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
Janvier	71.4	33.91	10.12	112.6	111.2	51353	48892	0.869
Février	84.7	37.95	10.71	120.8	118.9	54728	52159	0.863
Mars	127.8	59.62	13.41	153.9	151.4	68456	65198	0.847
Avril	159.1	70.04	15.54	166.3	162.5	72883	69408	0.835
Mai	187.4	90.83	18.93	177.0	172.5	77048	73375	0.829
Juin	213.9	87.64	22.94	191.8	186.8	81662	77809	0.811
Juillet	219.3	88.44	26.61	202.4	197.4	84847	80864	0.799
Août	198.4	80.42	26.91	202.1	197.6	84477	80574	0.797
Septembre	146.9	63.32	23.58	169.7	166.4	72267	68919	0.812
Octobre	114.2	48.77	20.48	154.6	152.2	67058	63934	0.827
Novembre	72.0	33.10	14.72	110.5	109.0	49582	47217	0.854
Décembre	64.7	30.19	11.54	106.3	104.9	48208	45870	0.863
Année	1659.7	724.23	18.00	1868.0	1830.8	812570	774218	0.829

Légendes

GlobHor	Irradiation globale horizontale	EArray	Energie effective sortie champ
DiffHor	Irradiation diffuse horizontale	E_Grid	Energie injectée dans le réseau
T_Amb	Température ambiante	PR	Indice de performance
GlobInc	Global incident plan capteurs		
GlobEff	Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages		

Figure IV.12 bilan et résultats principaux

Dans la Figure IV-12 on remarque que l'irradiation et la température ont un impact direct sur l'énergie produite vu que le maximum de puissance injectée dans le réseau 80864kWh correspond au mois de juillet dont l'irradiation est de 219.3 kWh/m² et une température

ambiante de 26.61 °C moins l'irradiation diminue moins la puissance est produite et injectée au réseau le cas du mois de janvier

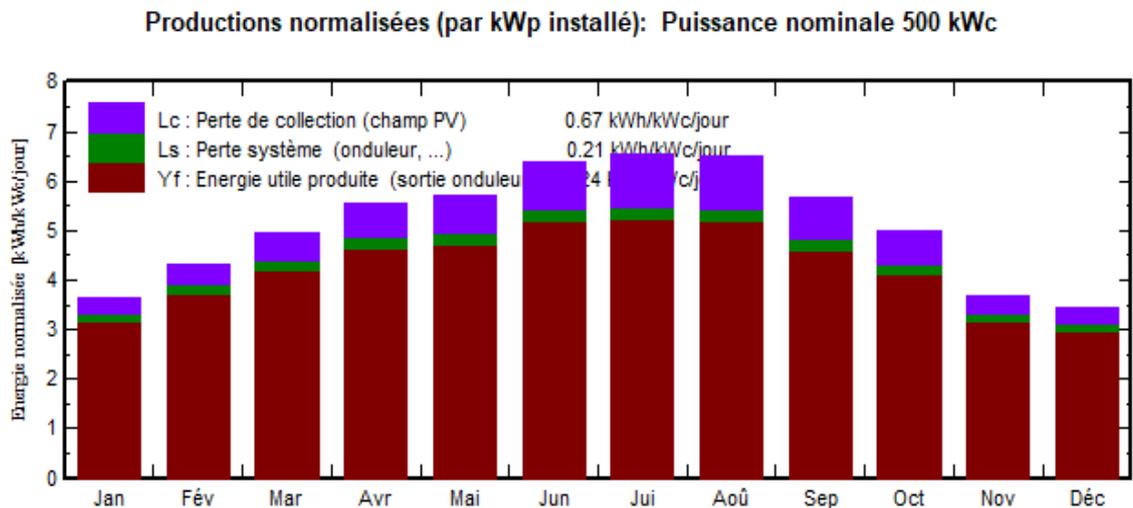


Figure IV.13 Energie produite par les PV

La production du système (à la sortie de l'onduleur : Yf) est représentée sur la figure IV-13. Les pertes Lc et Ls sont les pertes correspondantes au champ PV et dues à l'onduleur respectivement, on remarque que l'énergie maximale est produite durant la période d'été (juin –Août). L'énergie minimale est produite durant le mois de décembre. Les pertes Lc, les pertes correspondantes au champ PV égales à 0.67 (KWh/kWc/jr). Et les pertes Ls (pertes d'onduleur) égales à 0.21 kWh/kWc/jour

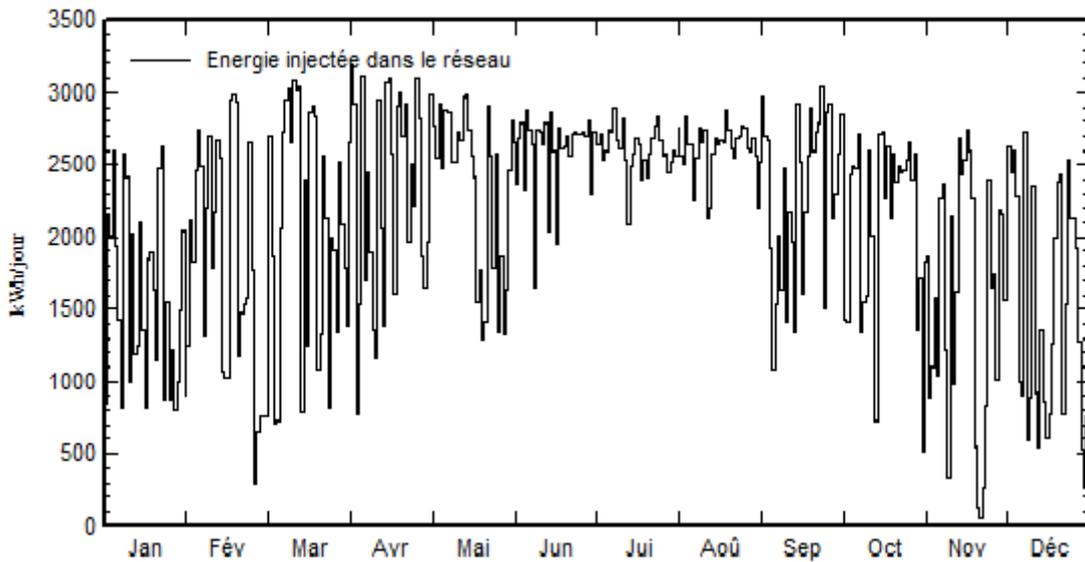


Figure IV.14 Energie journalière à la sortie du système

Une observation importante concerne l'énergie injectée dans le réseau, qui est significativement élevée pendant le troisième trimestre de l'année, avec une plage de 2000 à 3000 kWh par jour. En revanche, pour les autres mois, cette plage varie entre 20 et 2500 kWh par jour. Cependant, pendant la saison hivernale, on observe une diminution de la production, avec environ 1000 kWh par jour, voire autour de 500 kWh par jour. Ce chiffre tend à être particulièrement faible, par exemple en novembre, où la production peut descendre à seulement 2 kWh par jour.

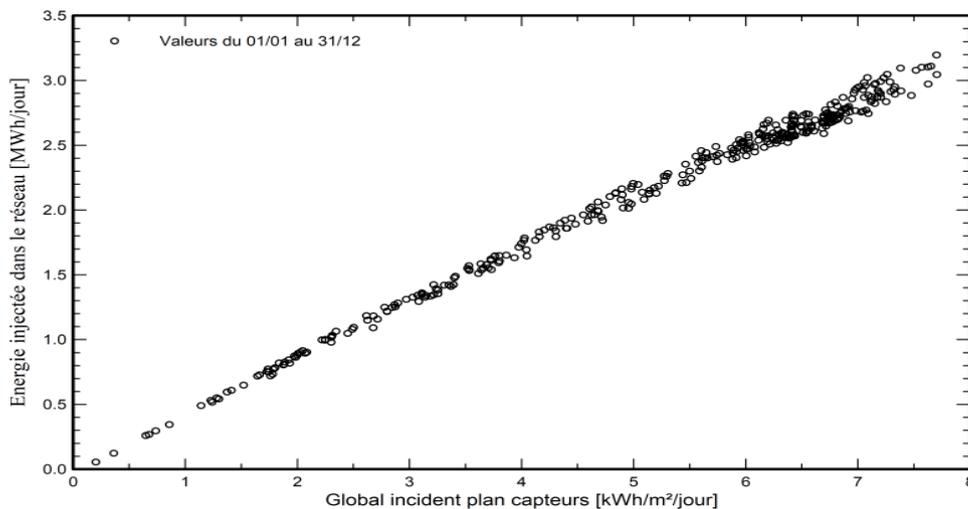


Figure IV.15 diagramme d'entrées/sortie journalier

Le diagramme journalier Entrée/Sortie de la figure IV-5 représente l'énergie injectée dans le réseau en fonction de l'irradiation journalière globale incidente en kWh/jour tout au long de l'année dans la région étudiée. On observe que l'énergie produite et injectée dans le réseau électrique augmente en fonction du rayonnement incident global sur la surface des panneaux photovoltaïques. Ainsi, pour un meilleur dimensionnement, la relation entre l'énergie produite et l'irradiation devrait approximativement suivre une ligne droite légèrement saturée pour de grandes valeurs d'irradiation.

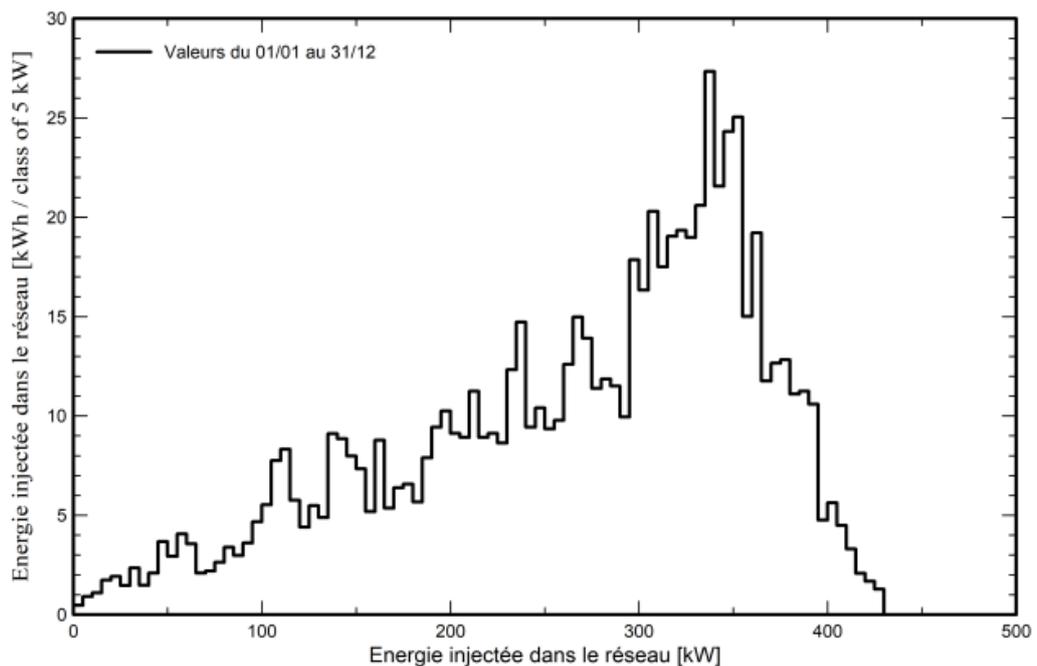


Figure IV.16 distribution de la puissance de sortie système

La figure 4.16 représente la quantité d'énergie injectée dans le réseau en kilowattheures par classe en fonction de l'énergie injectée dans le réseau. Il est observé que la classe de 350 kW est la plus performante en termes d'injection de puissance au réseau, car elle injecte 28 kWh par classe par an. En revanche, lorsque le panneau produit 100 kW, il n'injecte que 10 kWh par classe par cela est dû aux conditions météorologiques du site. De plus, il est remarqué que les panneaux photovoltaïques ne peuvent jamais atteindre leur seuil de production de 500 kW en raison de l'emplacement géographique du site. Afin d'atteindre cette puissance et de l'injecter dans le réseau, un ensoleillement optimal est nécessaire.

- **Emission de CO2**

Total:	11905.1 tCO ₂
Émissions générées	
Total:	106.05 tCO ₂
Source: Calcul détaillé à partir du tableau ci-dessous:	
Émissions évitées	
Total:	13843.0 tCO ₂
Production du système :	774.22 MWh/an
Émissions liées à l'énergie du réseau:	596 gCO ₂ /kWh
Source:	Liste de l'IEA
Pays:	Algeria
Durée de vie:	30 ans
Dégradation annuelle:	1.0 %

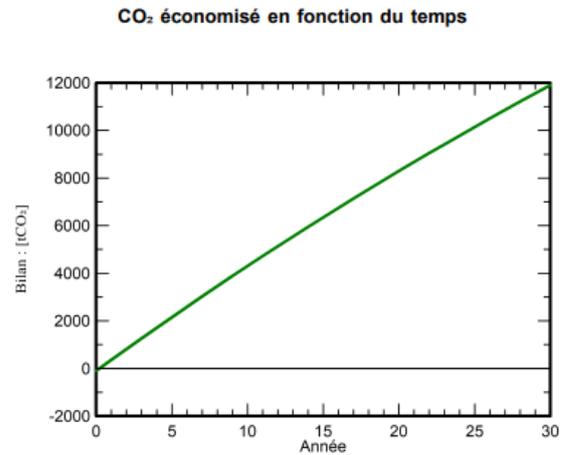


Figure IV.17 bilan d'émission de CO₂

la figure 4-17 représente la quantité d'émission de CO₂ en fonction du temps, on remarque qu'elle atteint les 12000 tCO₂ durant 30 ans ce qui est un avantage global de point de vue environnemental.

d) Calcul économique

Le coût d'une installation photovoltaïque est déterminé par plusieurs facteurs, tels que la puissance souhaitée, les modules photovoltaïques, l'onduleur et les frais d'installation. Pour un investisseur ou un financier, le calcul du coût d'un système photovoltaïque doit prendre en compte tous les coûts nécessaires pour assurer sa rentabilité sur une certaine période, en les ramenant à une valeur actualisée. L'analyse économique de base consiste à établir les coûts d'investissement initiaux de l'installation, en les actualisant sur la durée de vie du système.

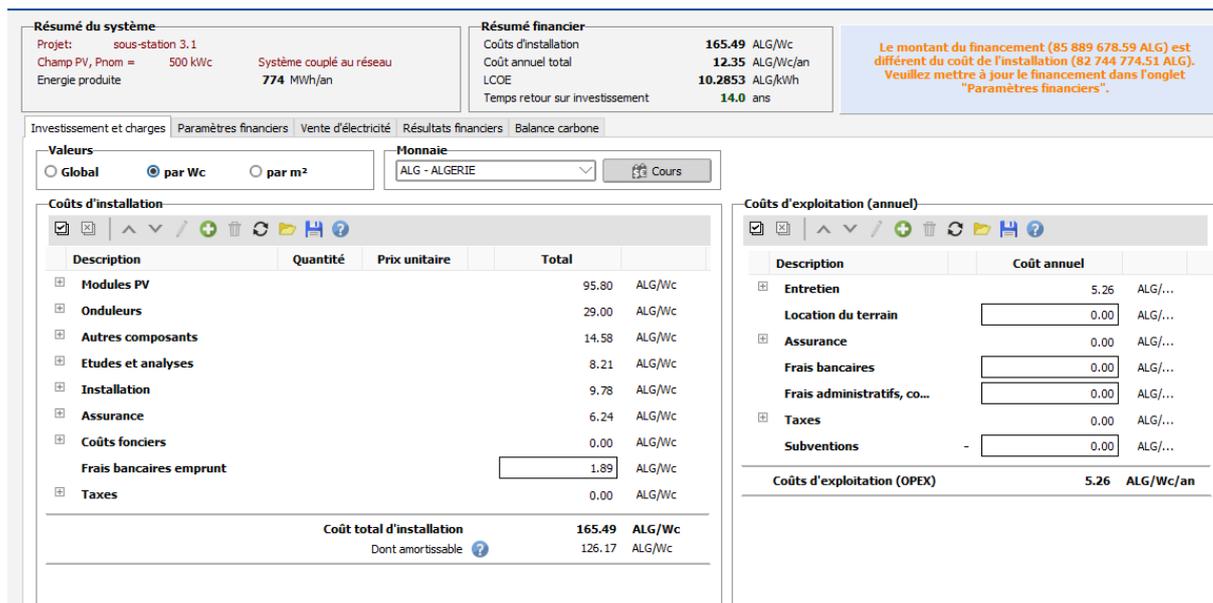


Figure IV.18 les couts introduits

La figure 4.18 illustre les coûts de chaque composant du système photovoltaïque, exprimés en dollars et en watts crête. De plus, le tarif d'achat de l'électricité est également pris en compte, comme la montre la figure 4-20.(12 DA est le tarif de production de l'électricité à partir du gaz en Algérie) Ces informations permettent au logiciel de calculer la rentabilité du système, en évaluant les coûts et les revenus générés par la production d'électricité solaire.



Figure IV.19 prix de vente d'électricité

Dans notre analyse, nous avons pris en compte que 60% du capital d'investissement provient d'emprunts contractés auprès de l'État.

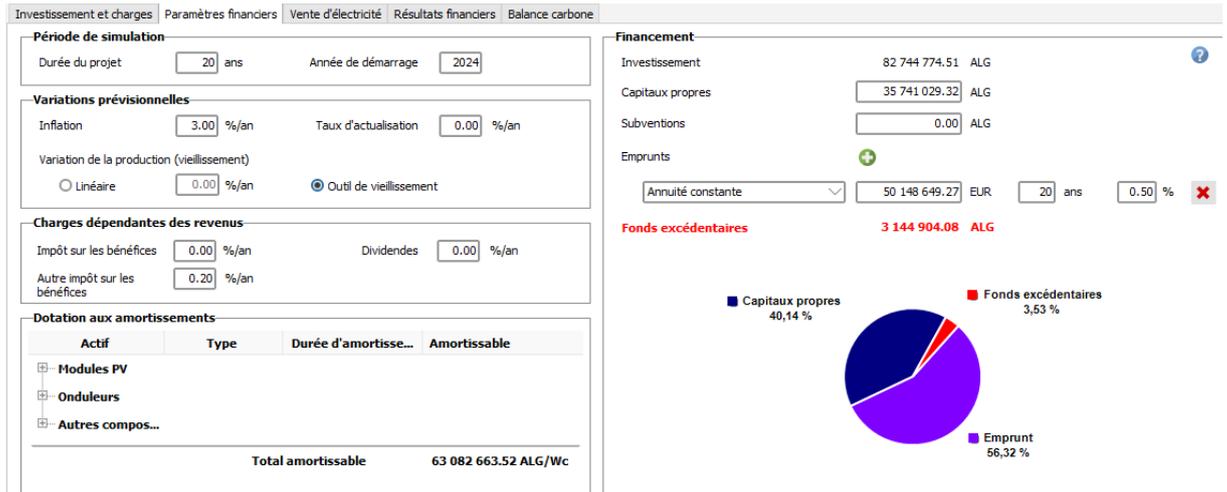
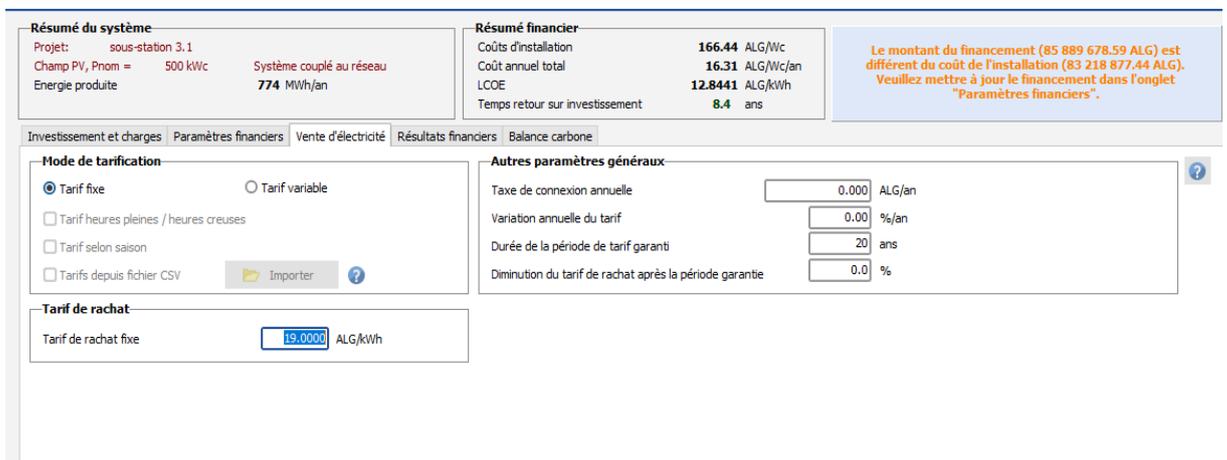


Figure IV.20 frais financiers



Afin d'améliorer la rentabilité du système, nous avons effectué une simulation en augmentant le prix de vente de l'électricité à 19 DA par kilowattheure (kWh). Les résultats de cette simulation sont représentés dans la figure

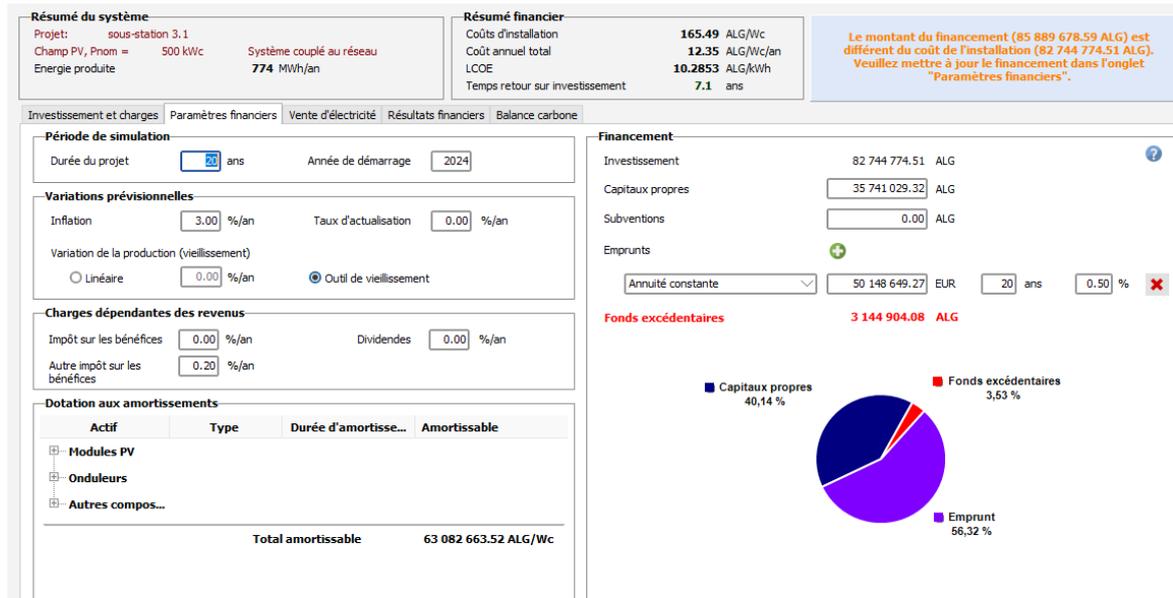


Figure IV.21 frais de l'installation

Malgré qu'on a augmenté le prix de vente de l'électricité à 19 DA/kWh, l'installation sera rentable après 7 ans ce qui est dû à plusieurs raisons : Le prix du kilowattheure (kWh) photovoltaïque reste élevé par rapport à une installation conventionnelle en Algérie à cause de la politique de subvention de l'état. Il est loin d'être compétitif avec le système conventionnel pour les faibles installations, et cela peut être attribué aux raisons suivantes : - Actuellement, les technologies d'acquisition des équipements solaires sont encore coûteuses, ce qui entraîne un investissement initial élevé. - Les rendements des différents équipements solaires sont relativement faibles, ce qui nécessite une quantité considérable de ces équipements de conversion pour atteindre la puissance souhaitée. - le système peut être très compétitifs si la puissance installée est plus importante (économie d'échelle). Une Wc d'une installation de 300MW ne coutera pas le même prix comme une installation de 500kW. - Cependant, il est important de noter que l'énergie solaire est une source d'énergie propre et gratuite, ce qui la distingue de l'énergie conventionnelle.

Malgré le prix initial élevé, l'énergie solaire présente des avantages environnementaux importants et peut contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. À long terme, avec le développement technologique et l'amélioration des rendements, il est possible que les coûts diminuent et que l'énergie solaire devienne plus compétitive par rapport aux sources d'énergie conventionnelles.[30]

IV.5 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a exploré divers aspects de l'énergie solaire, en mettant l'accent sur les cellules photovoltaïques, leur regroupement, les différents types de générateurs photovoltaïques, les onduleurs et les commandes MPPT. Nous avons également utilisé le logiciel PVsyst pour déterminer le site géographique et obtenir des informations sur la trajectoire du soleil, calcul énergétique et l'étude économique. Nous avons effectué des calculs pour déterminer l'inclinaison optimale des panneaux solaires et avons interprété les résultats du calcul énergétique et l'étude économique

Cependant, il est important de noter que, du point de vue économique, l'utilisation de l'énergie solaire connectée au réseau en Algérie n'est pas rentable. Cela est dû au fait que le coût du (kWh) dans le pays est moins cher que l'installation et l'utilisation des panneaux solaires. Cette réalité économique est prise en compte concernant l'adoption de l'énergie solaire en Algérie.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

En conclusion de ce projet de fin d'études, nous avons approfondi plusieurs aspects importants liés à la conception et au dimensionnement d'une station de dessalement d'eau de mer. Nous avons étudié en détail la technique de l'osmose inverse et ses différentes étapes, notamment le prétraitement, Systèmes à membrane osmose inverse, le pompage et le traitement. Cette analyse approfondie nous a permis de mieux comprendre les principes et les procédés utilisés dans le dessalement de l'eau de mer.

Nous avons également mis en évidence le projet de la station d'eau de mer par osmose inverse El Massa à Alger, pris en charge par Schneider Electric. Ce projet concret a démontré l'applicabilité et l'efficacité de la technique de l'osmose inverse dans un contexte réel, renforçant ainsi notre compréhension théorique.

Dans une démarche pratique, nous avons effectué le calcul du bilan de puissance de la station, une étape cruciale pour garantir un fonctionnement optimal et fiable. Nous avons utilisé des logiciels spécialisés tels qu'EcoStruxure Power Design et Caneco HT pour vérifier la sélectivité, les courants, la chute de tension et le dimensionnement des câbles. Les résultats obtenus ont validé nos calculs et nous ont permis de déterminer avec précision les besoins en puissance de la station et les protections utilisées.

Un autre aspect essentiel de notre travail a été la configuration des variateurs de vitesse pour contrôler les moteurs asynchrones. Pour justifier notre choix de variateurs de vitesse comme solution optimale pour le démarrage des moteurs, nous avons fait appel au logiciel EcoStruxure Motor Management. Grâce à cette plateforme logicielle, nous avons pu analyser en détail les performances des VFD et démontrer leur efficacité dans le contexte spécifique de notre projet. Cette analyse approfondie a renforcé notre conviction que les VFD étaient la meilleure solution pour assurer le démarrage optimal des moteurs dans notre système de dessalement d'eau de mer. Grâce au logiciel Somove de Schneider Electric, nous avons pu effectuer la configuration des VFD et expliquer en détail l'utilisation de l'API comme interface de commande en exploitant le logiciel Unity pro

Enfin, nous avons exploré les possibilités d'intégration de l'énergie solaire photovoltaïque dans le processus de dessalement. À l'aide du logiciel Pvsys, nous avons simulé la production d'électricité à partir de panneaux solaires, déterminé la surface et le nombre de modules photovoltaïques nécessaires, et réalisé une évaluation énergétique pour estimer la puissance

solaire requise. De plus, nous avons pris en compte les aspects économiques en évaluant le coût total de l'installation.

Dans l'ensemble, ce projet a été une occasion de développer nos connaissances et compétences dans le domaine du dessalement d'eau de mer. Nous avons abordé différentes étapes, de l'analyse théorique à la mise en pratique, en passant par le calcul de puissance et l'intégration des énergies renouvelables. Les résultats obtenus renforcent notre conviction quant à l'importance de développer des solutions durables et efficaces pour répondre aux défis liés à l'eau douce dans le monde.

REFERENCES ET BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

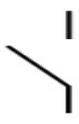
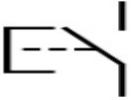
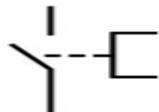
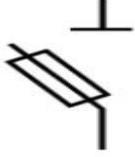
- [1] « Description du procédé de dessalement de la station de Fouka et suivi du controle de qualite.pdf ». Consulté le: 5 juin 2023.
- [2] MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES MINES, « Projet de dessalement de l'eau de mer ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.energy.gov.dz/?article=projet-de-dessalement-de-lreau-de-mer>
- [3] Alouane Baslimane Youcef et Babeker Abdellah, « ETUDE ET SIMULATION D'UN EVAPORATEUR A SIMPLE EFFET POUR LE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER », UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI OUM EL BOUAGHI, 2014.
- [4] T. Tahri, A. Bettahar, M. Douani, S. A. Abdul, H. Al, et Y. Al, « Dessalement de l'eau de mer par l'énergie solaire en vue de l'irrigation d'une serre agricole ».
- [5] *déminéralisation par osmose inverse*. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.lenntech.fr/processes/reverse-osmosis-demineralization.htm>
- [6] « l'osmose inverse ». [En ligne]. Disponible sur: <https://tpestationdedessalement.wordpress.com/2017/02/14/pre-traitement/>
- [7] ZEBBAR Mohamed, « Diagnostic et Commande Tolérante dans les Systèmes de Dessalement D'eau », UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN TIARET, 2020.
- [8] B.KORICHI, « DIFFERENTS TYPES DE POMPES ETANCHEITES », seal.
- [9] ARADA Zakaria et RIDA Hamza, « Modèle dynamique d'une unité de pompage électro-hydraulique entraînée par un moteur asynchrone », UNIVERSITE MOHAMED SEDDIK BENYAHIA JIJEL, 2022.
- [10] H. Hyppönen, « Visamäki 17 November 2009 ».
- [11] « Dessalement d'eau de mer : Les stations d'El Mersa et Bordj El Kiffan à Alger ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.algerie-eco.com/2021/08/17/dessalement-deau-de-mer-les-stations-del-mersa-et-bordj-el-kiffan-a-alger-livrees-fin-2021/>
- [12] « EcoStruxure Power Design – Ecodial ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.se.com/fr/fr/product-range/61013-ecostruxure-power-design-ecodial/#overview>
- [13] « EcoStruxure Power Design - Ecodial Aide technique ».
- [14] M. Serpinet et R. Morel, « La sélectivité énergétique en BT ».
- [15] C. M. F. S. Reza, Md. D. Islam, et S. Mekhilef, « A review of reliable and energy efficient direct torque controlled induction motor drives », *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 37, p. 919- 932, sept. 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.05.067.

- [16] B. Athmane, « Démarrages et Protection des Moteurs Asynchrones Triphasés », 2016.
- [17] G. Baurand et V. Moliton, « Cahier technique n° 211 La protection des moteurs BT .schneider electric ». [En ligne]. Disponible sur: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Cahier+Technique&p_File_Name=CT211.pdf&p_Doc_Ref=CT211&_ga=2.26261429.909686852.1677407669-508749882.1675794204
- [18] ADRIAN VAN DER VLIET, P.ENG et ENGINEERING SYSTEMS GROUP, *JOHN BROOKS COMPANY - WHITE PAPER VFD SELECTION FOR VARIABLE AND FIXED SPEED PUMPING APPLICATIONS*.
- [19] Natural Resources et Canada, *VARIABLE FREQUENCY DRIVES*.
- [20] D. Clenet, « Démarreurs et variateurs de vitesse électroniques ».
- [21] A. S. H. E. DEHDA Abdelhamid, « Commande d'un redresseur MLI ».
- [22] M. Zineb, « Régulation de pompes à l'aide d'un variateur de vitesse », 2017.
- [23] HENTABLI Mohamed et RAMOUL ABDERRZAK, « Commande d'un moteur asynchrone avec un automate programmable via un variateur de vitesse », YAHIA FARES DE MEDEA, 2019.
- [24] « files.pdf ». Consulté le: 18 mars 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Catalogue+Altivar+Process+variateurs+de+vitesse+ATV600.pdf&p_Doc_Ref=DIA2ED2140502FR
- [25] Ahmed ALLALI, « Etude de la commande de niveau dans une station de pompage didactique », Ecole Nationale Polytechnique, 2017.
- [26] G. Portillo, « Rayonnement solaire: qu'est-ce que c'est, caractéristiques et types », *Renovables Verdes*, 24 novembre 2021. <https://www.renovablesverdes.com/fr/radiation-solaire/> (consulté le 15 juin 2023).
- [27] IFFOUZAR Koussaila, « Polycopie de Cours EN VUE DE L'OBTENTION DE L'HABILITATION UNIVERSITAIRE ». 2020 2019.
- [28] « La cellule photovoltaïque : comment ça marche ? » <https://www.planete-energies.com/fr/media/article/cellule-photovoltaïque-comment-ca-marche> (consulté le 15 juin 2023).
- [29] CHEREF Sarah, « Etude et dimensionnement technico-économique d'une centrale photovoltaïque de 50 MW raccordée au réseau électrique à GUERRARA (GHARDAIA », ENP.
- [30] TEYAR Ilyes, « Etude de faisabilité pour l'alimentation d'une chambre froide par énergie solaire dans le sud Algérien ».

ANNEXE

Annexe

Annexe A : Symboles et significations :

Symboles	Significations
 z	Sectionneur
	Interrupteur
	Fusible
	Contacteur
	Bouton poussoir à fermeture et retour automatique
	Tirette à ouverture et retour automatique
	Fusible sectionneur

- **Catégorie CEM**

Les catégories	Environnement d'utilisation
C1	< 1000 V utilisation dans le premier environnement directives CEM du fabricant
C2	< 1000 V pas raccordés par une fiche d'utilisation dans le deuxième environnement et dans le premier environnement est possible mais sous conditions directives CEM du fabricant Installation par du personnel qualifié
C3	systèmes d'entraînement < 1000 V utilisation exclusive dans le deuxième environnement directives CEM du fabricant
C4	systèmes d'entraînement ≥ 1000 V ou ≥ 400 A utilisation dans le deuxième environnement étude CEM nécessaire

IV.6 ANNEXE B : Les logiciels exploités

- Logiciel Caneco HT :

CANECO HT

Logiciel de conception
de réseaux électriques
haute tension



Caneco HT est un logiciel de calculs et schémas d'installation électrique Haute Tension. Il permet de **concevoir** un réseau électrique, c'est-à-dire :

Placer et définir les équipements et les tableaux électriques

Câbler les équipements en définissant les liaisons : connexions et câbles dont les caractéristiques constructives et d'installation sont au choix de l'utilisateur

Calculer le réseau, dans différentes configurations de fonctionnement possibles. Caneco HT réalise la synthèse des critères de dimensionnement des câbles

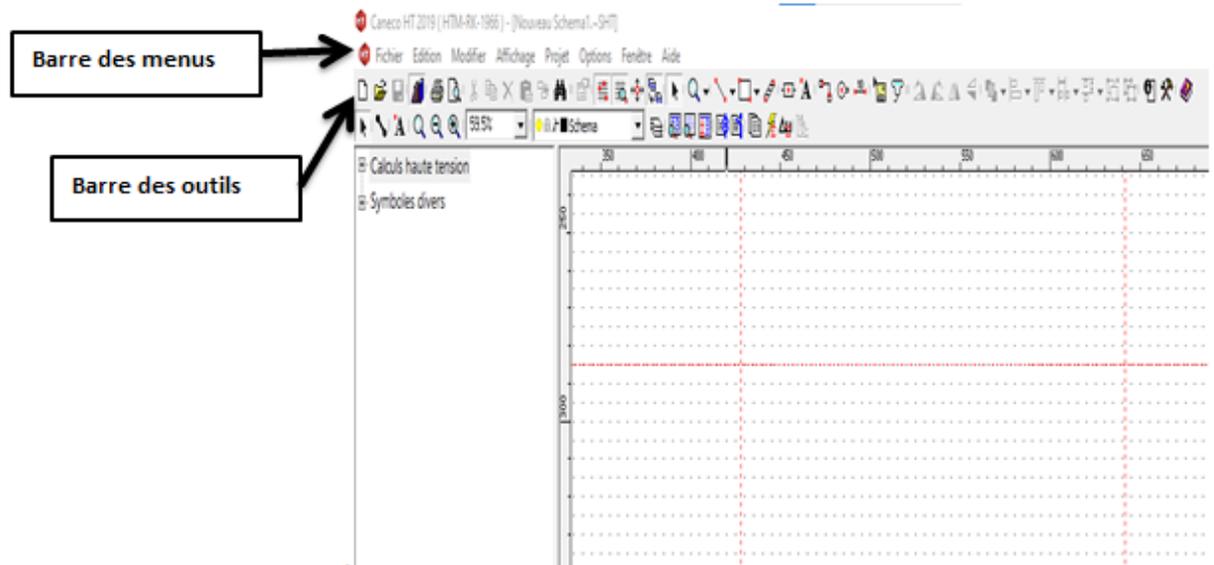
Calculer les contraintes électrodynamiques et thermiques des équipements

Editer le rapport complet, conclusion

Editer un rapport de sélectivité présentant les courbes superposées de déclenchement des appareils de protection de la zone de protection étudiée (module TCC)

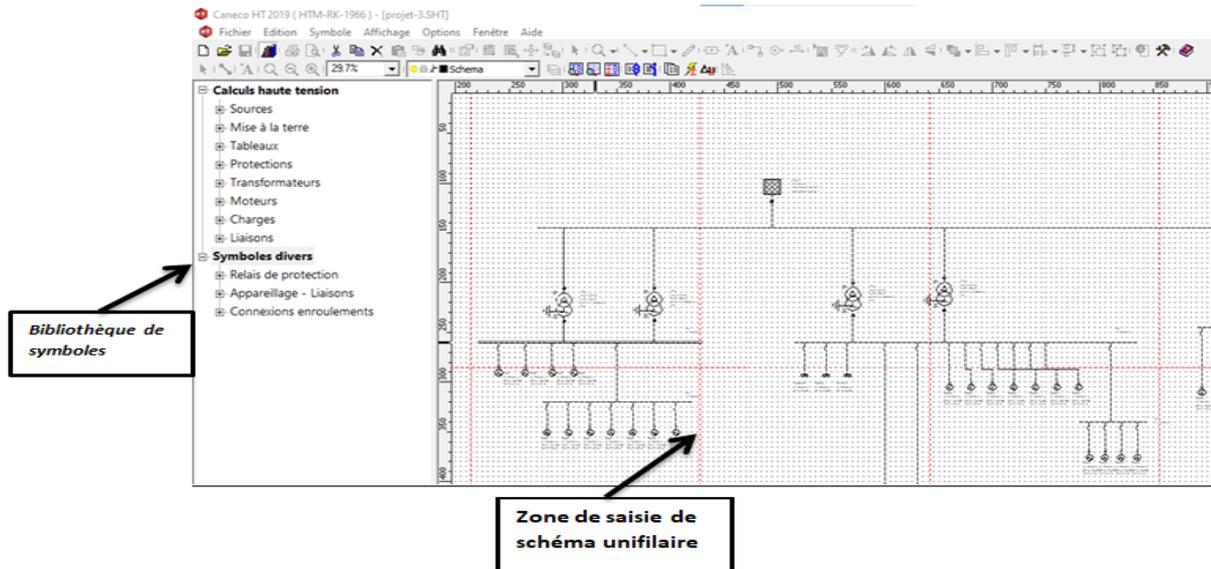
- **Présentation de l'interface Caneco HT :**

L'interface de Caneco HT est conçue de manière conviviale pour faciliter l'utilisation et la navigation.



La barre des menus située en haut de l'écran présente 7 à 8 *menus*. Les commandes contenues dans ces menus permettent soit de déclencher directement une action, soit d'afficher un sous-menu ou une Boite de dialogue.

Sous cette barre de menus, figure la barre des outils qui permettent d'accéder directement à une commande existant dans les menus.



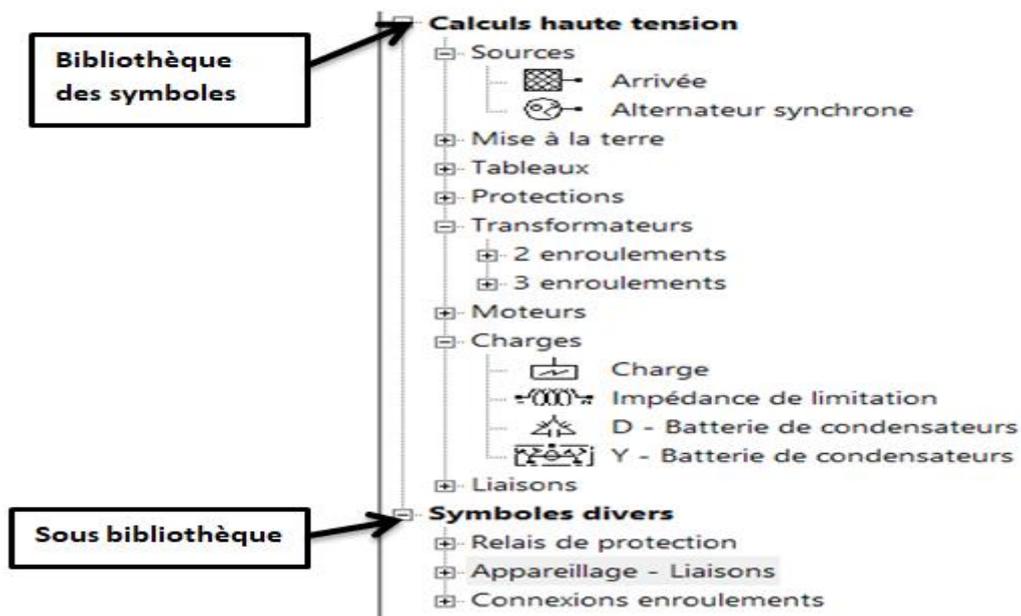
Dans l'interface de Caneco HT, l'écran de travail est organisé en deux zones distinctes :

Zone de saisie de schéma unifilaire (à droite) : C'est l'endroit où vous pouvez créer le schéma unifilaire de votre installation électrique. Cet espace vous permet de représenter graphiquement tous les composants et les connexions de votre installation haute tension.

Bibliothèque de symboles (à gauche) : Cette zone comprend différentes sous-bibliothèques, telles que "Haute Tension", "Symboles utilisateur", etc. Pour effectuer des calculs sur votre installation, il est nécessaire d'utiliser les symboles de la sous-bibliothèque "Haute Tension" pour représenter les composants spécifiques à la haute tension. Les symboles des autres sous-bibliothèques peuvent être utilisés pour améliorer la représentation visuelle de votre schéma, mais ils n'ont aucun impact sur les calculs effectués par le logiciel.

- **Saisie des équipement de l'installation :**

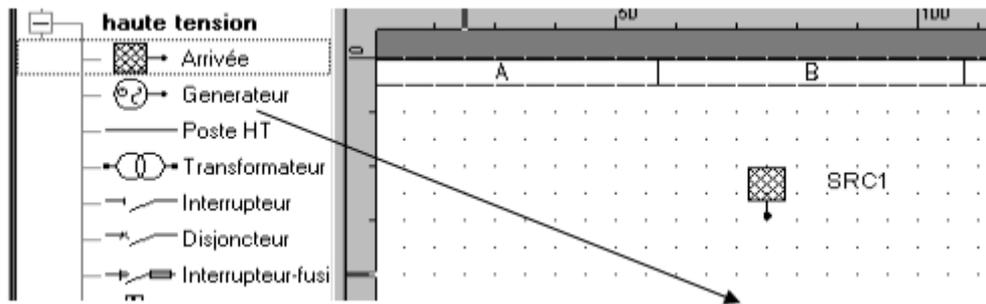
Caneco HT utilise des symboles pour représenter les réseaux électriques. Ces symboles peuvent prendre la forme de symboles d'équipements électriques ou de représentations graphiques composées de formes géométriques simples et de textes, dotées d'attributs. Le logiciel Caneco HT est fourni avec une bibliothèque de symboles électriques qui est conforme à la norme CEI. Ce logiciel offre un large choix d'équipements, tels que des types de sources, des types de transformateurs, ainsi que des options pour les charges et les protections (disjoncteurs, relais, etc.), permettant d'accéder aux propriétés électriques dans la bibliothèque des symboles, comme illustré ci-dessous.



Dans la bibliothèque des calculs Haute tension : on accède aux fenêtres de saisie des données électriques des équipements de base.

Dans la bibliothèque des symboles divers et symboles utilisateur on accède aux attributs du symbole choisi .

Pour placer un équipement sur l'espace de travail, il suffit de sélectionner l'équipement souhaité et de le faire glisser jusqu'à l'espace de travail.



- **Choix des paramètres :**

Ce logiciel offre la possibilité d'accéder à plusieurs paramètres d'un équipement en appuyant deux fois sur celui-ci,

Repère : SRC1

Équipement connecté :
Aval : P1 30 kV

Caractéristiques triphasées | Caractéristiques homopolaires | Impédances en court-circuit

Général :

Tension nominale U_{nQ} 30,000 kV

Contribution au court-circuit :

Saisie données : Selon courants de court-circuit

Court-circuit triphasé		max	min
Puissance de court-circuit S''_{k3Q}		831,384	32,736 MVA
Courant de court-circuit I''_{k3Q}		16,000	0,630 kA
R_Q / X_Q		0,150	0,150

Impédance		Pour Ik max	Pour Ik min
R		0,161	4,078 Ohms
X		1,071	27,189 Ohms

Import Valider Annuler

Ces paramètres sont modifiable par l'utilisateur selon les caractéristique de chaque équipement

- **Saisie d'une connexion simple :**

Pour établir des connexions dans le réseau, on utilise l'outil de connexion disponible dans la barre des outils. Pour saisir les caractéristiques de la connexion, vous pouvez appuyer sur la touche "Entrée" ou effectuer un double-clic gauche de la souris lorsque le curseur est positionné sur le tracé de la connexion. Une liaison peut être soit une "connexion" soit un "câble", par défaut, la liaison est affichée comme une connexion.

On peut choisir type de liaison << câble isoler >> :
 Ce type de liaison nous permettra d'entrer les différents caractéristiques constructives du câble.

Caneco HT permet de saisir plusieurs caractéristiques des câbles, notamment :

La nature du câble : Il est possible de choisir le type de câble parmi différentes options, telles que câble unipolaire, câble multipolaire, câble blindé, etc.

La tension nominale du câble : On peut indiquer la tension nominale pour laquelle le câble est conçu, exprimée en kilovolts (kV) ou en volts (V).

Le type d'âme : on peut choisir si le câble est en Aluminium ou en cuivre

Caractéristiques des câbles

Caractéristiques des câbles : Méthode de choix : Par catalogue

Type de câble | Caractéristiques

Tension (kV) 0,6 / 1 (1) kV Fichier Sagem

Type âme Cu Isolant PR Disposition câble unipolaire

Disposition écran n.a. Armure Oui

Libellé Câble Sagem Cu-PR-0,6/1kV-unipolaire-NFC 60502-1

Table SGM12_CU Appellation BT industriel Norme(s) NFC 60502-1

On peut aussi entrer la longueur du câble en mètres (m). et de choisir le type de câble parmi différentes options, telles que câble unipolaire, câble multipolaire, câble blindé, etc. on cliquant sur mode de pose

Installation

Installation :

Mode de pose : UTE C13-200
tableau 52E

Facteur(s) de correction : fs : 1,00
facteur global : 1,00

Ku 1,00

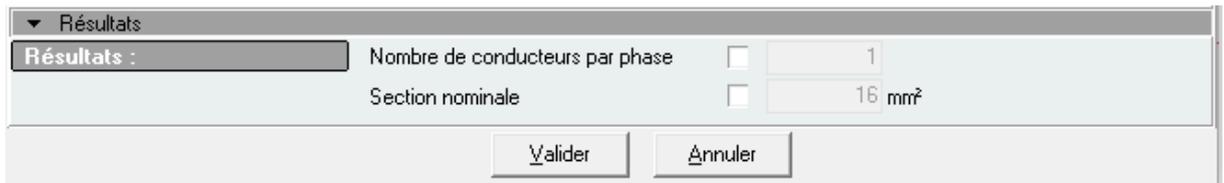
Intensité d'emploi I_B 0,000 A Longueur 0 m

Choix de mode de pose

Choix de longueur

11 - Câbles avec ou sans armure fixés sur un mur
11A - Câbles avec ou sans armure fixés à un plafond
12 - Câbles avec ou sans armure sur des chemins de câbles ou tablettes non perforées
13 - Câbles avec ou sans armure sur des chemins de câbles ou tablettes perforées, en parcours horizontal ou vertical
14 - Câbles avec ou sans armure sur des treillis soudés ou sur des cobbeaux
16 - Câbles avec ou sans armure sur des échelles à câbles
16A - Câbles souples pour l'alimentation d'engins mobiles avec enroulement sur tambour
17 - Câbles suspendus à un câble porteur ou autoporteur
21 - Câbles dans des gouttières fixées aux parois en parcours horizontal
22 - Câbles dans des gouttières fixées aux parois en parcours vertical
24 - Câbles dans des conduits en montage apparent
41 - Câbles dans des caniveaux non remplis de sable et fermés

Ce logiciel affiche comme résultat la section nominale du câble comme il est possible de spécifier la section transversale du câble, exprimée en millimètres carrés (mm²).



The screenshot shows a software dialog box with a title bar containing a dropdown arrow and the text 'Résultats'. Below the title bar, there is a section labeled 'Résultats :'. This section contains two rows of configuration options. The first row is 'Nombre de conducteurs par phase' with a checkbox and a text input field containing the value '1'. The second row is 'Section nominale' with a checkbox and a text input field containing the value '16 mm²'. At the bottom of the dialog box, there are two buttons: 'Valider' and 'Annuler'.

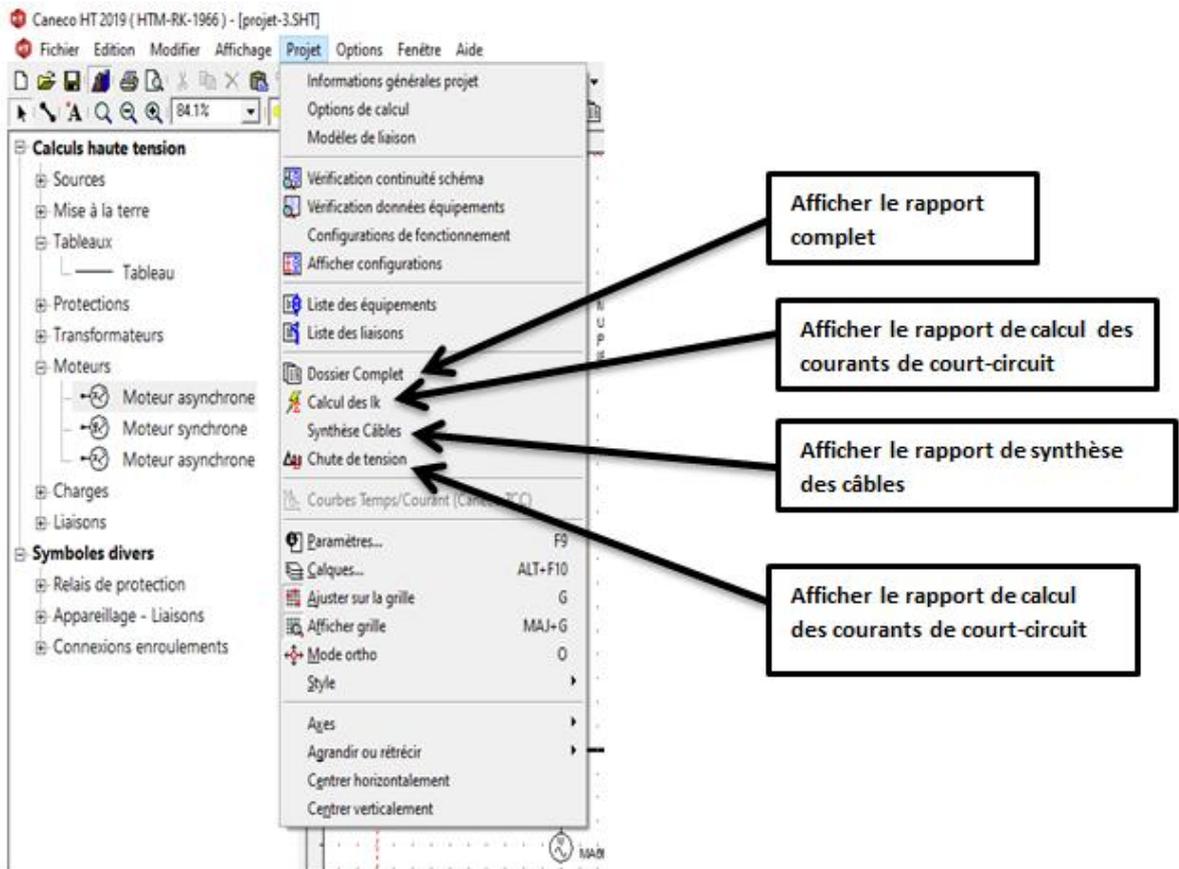
- **Rapport :**

Le rapport détaillera les différents calculs effectués par Caneco HT pour évaluer la qualité de l'installation électrique haute tension. Cela inclure des calculs de courants de court-circuit, de chute de tension, de dimensionnement des câbles, etc. Les résultats obtenus seront présentés, notamment les valeurs de courant, de tension, les temps de déclenchement des protections, les sections recommandées des câbles, etc.

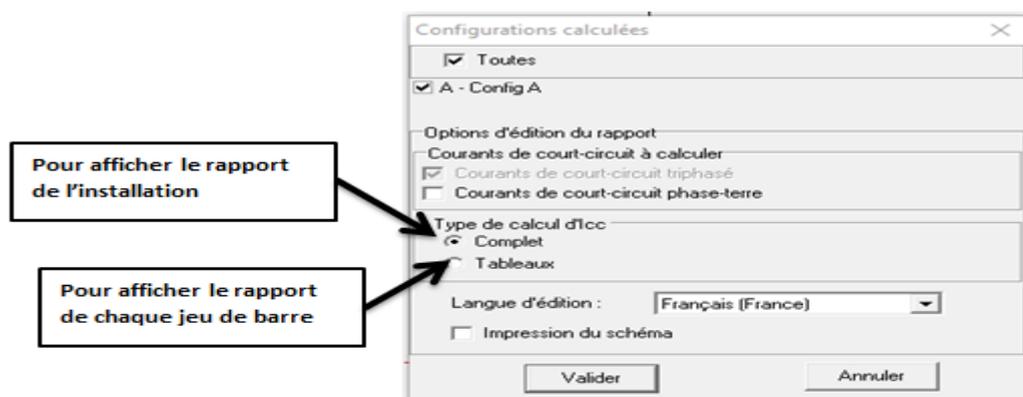
Caneco HT produit un dossier complet comprenant les informations générales du projet, les données du réseau ainsi que les résultats de calculs qui sont donnés sous forme de rapport de calculs.

Pour afficher le rapport complet on clique sur <<projet >> dans la barre des menus et on choisit <<dossier complet >>

On a aussi la possibilité d'afficher les rapports individuels pour chaque calcul de chute de tension, de courant de court-circuit ou de synthèse des câbles. Cela signifie qu'on peut consulter séparément les rapports détaillés de chaque calcul, ce qui vous permet d'analyser en profondeur les résultats pour chaque paramètre évalué. Cette fonctionnalité offre une meilleure compréhension et évaluation des effets de la chute de tension ou du courant de court-circuit dans le réseau électrique étudié.



Pour afficher le rapport de toute l'installation cliquez sur << complet>> on peut aussi afficher le rapport de chaque jeu de barre on cliquant sur << tableaux >>



Prévisualisation de rapport

Onglet

Fermer

LE BESOIN DE BESOIN		
LISTE DES EQUIPEMENTS		
Type d'équipement	Requis	Commentaire
Tableau	P1	
Armoire	SBC1	
Transformateur	T80	
Transformateur	T82	
Tableau	P2	
Minuteur de synchronisme	MA1	
Minuteur de synchronisme	MA2	
Minuteur de synchronisme	MA3	
Minuteur de synchronisme	MA4	
Tableau	P3	
Minuteur de synchronisme	MA5	
Minuteur de synchronisme	MA6	
Minuteur de synchronisme	MA7	
Minuteur de synchronisme	MA8	
Minuteur de synchronisme	MA9	
Minuteur de synchronisme	MA10	
Minuteur de synchronisme	MA11	
Transformateur	T80	
Transformateur	T84	
Tableau	P4	
Impédance	impédance	
Impédance	impédance	
Impédance	impédance	
Tableau	P5	
Impédance	impédance	
Impédance	impédance	
Minuteur de synchronisme	MA12	
Minuteur de synchronisme	MA13	
Minuteur de synchronisme	MA14	

Page 1 sur 2

Activer Windows
Accédez aux paramètres pour activer Windows.

Logiciel Somove :



Somove est un logiciel développé par Schneider Electric,. Ce logiciel est utilisé pour la configuration, la mise en service et la maintenance des variateurs de vitesse et des automates programmables de Schneider Electric.

Configuration du variateur de vitesse: Vous pouvez utiliser Somove pour configurer les paramètres spécifiques de votre variateur de vitesse ou de votre automate programmable. Cela comprend la définition des paramètres de contrôle, des fonctions de sécurité, des entrées/sorties, des paramètres de communication, etc. Vous pouvez personnaliser les réglages en fonction des besoins de votre application.

Mise en service : Somove facilite la mise en service de votre équipement. Vous pouvez effectuer des tests de diagnostic pour vous assurer que tout fonctionne correctement, ajuster les réglages en temps réel, surveiller les variables de contrôle, effectuer des essais de démarrage, etc. Le logiciel fournit des outils et des assistants pour vous guider tout au long du processus de mise en service.

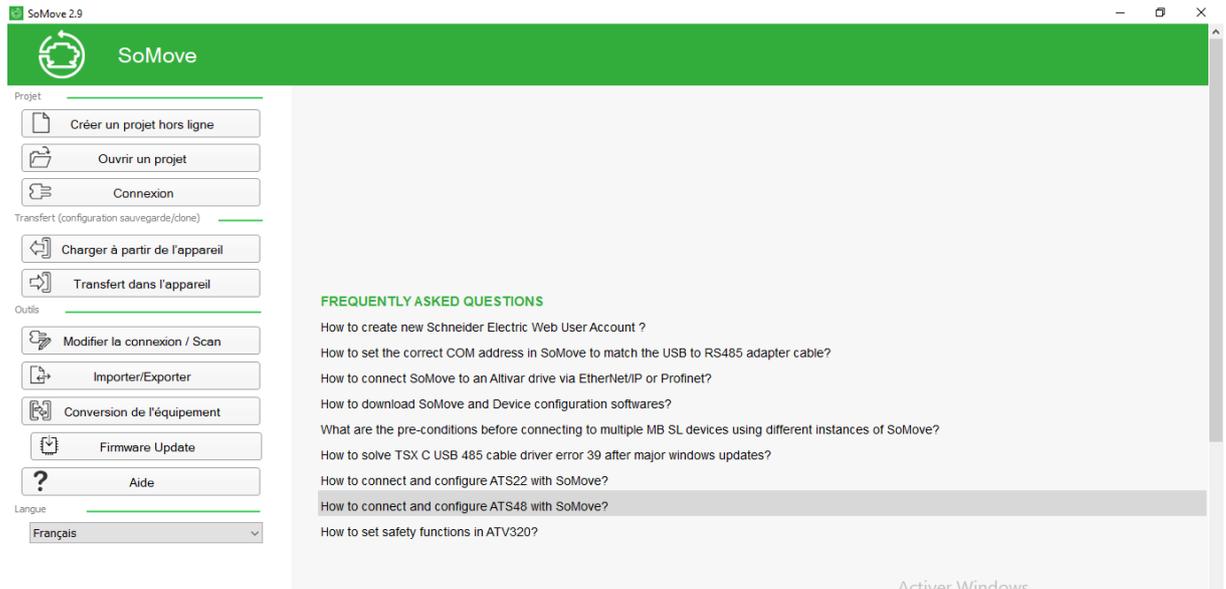
Diagnostic et dépannage : En cas de problème ou de panne, Somove offre des fonctionnalités de diagnostic avancées. Vous pouvez analyser les alarmes et les journaux d'événements pour identifier les causes possibles du dysfonctionnement. Le logiciel vous permet d'accéder à des informations détaillées sur les performances du système, de réaliser des tests de diagnostic, de consulter des graphiques de tendances, etc. Cela facilite le processus de dépannage et de résolution des problèmes.

Maintenance préventive et corrective : Somove vous permet de planifier et de réaliser des opérations de maintenance préventive pour assurer le bon fonctionnement de vos variateurs de vitesse et automates programmables. Vous pouvez suivre les performances du système, surveiller les indicateurs clés, effectuer des mises à jour du firmware ou du logiciel, sauvegarder et restaurer les configurations, etc. Somove facilite également la récupération après une panne en fournissant des outils de sauvegarde et de restauration.

Il convient de noter que les fonctionnalités spécifiques de Somove peuvent varier en fonction de la version du logiciel et du matériel pris en charge. Pour obtenir des informations détaillées sur les fonctionnalités et les capacités de Somove, il est recommandé de consulter la documentation officielle de Schneider Electric ou de contacter leur support technique.

présentation de page de démarrage :

La page de démarrage de SoMove permet d'accéder directement aux fonctions de SoMove.



elle comporte généralement des éléments suivantes :

Bouton Créer un projet hors ligne : Vous permet de créer hors connexion le fichier de configuration pour l'appareil sélectionné. Ce fichier de configuration peut également être enregistré pour un usage ultérieur.

Bouton Ouvrir un projet : Ce bouton ouvre un fichier de configuration existant enregistré sur votre ordinateur. Dans ce cas, vous n'êtes pas connecté à l'appareil.

Bouton Connexion : Vous permet d'établir la connexion et de transférer la configuration de l'appareil au DTM. Une fois la connexion établie, l'appareil reste connecté pendant toute la durée de la session SoMove (synchronisation des données).

Bouton Transfert depuis l'appareil : Vous permet de transférer la configuration de l'appareil au DTM.

Bouton Transfert dans l'appareil : Ce bouton transfère le fichier de configuration d'un projet existant enregistré sur votre ordinateur vers l'appareil connecté. Dans ce cas, vous n'êtes connecté à l'appareil que pendant le transfert de données.

Bouton Modifier la connexion / Scruter : Ce bouton effectue un test de connexion avec l'appareil connecté à votre ordinateur. Dans ce cas, vous n'êtes pas connecté à l'appareil.

Bouton Importer/Exporter : Cette fonction vous permet d'échanger des fichiers de configuration.

Conversion de l'équipement : La conversion de l'équipement vous permet de convertir et d'utiliser la configuration d'un appareil dans un autre appareil.

Bouton Aide : Vous permet d'ouvrir l'aide en ligne SoMove FDT

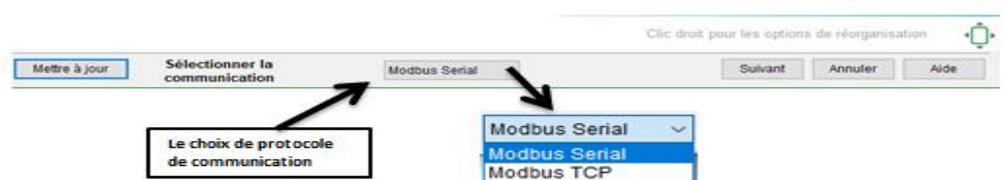
- **Créer un projet:**

SoMove vous permet de créer un fichier de configuration pour un appareil spécifique sans être connecté à cet appareil et de l'enregistrer pour un usage ultérieur.

Pour créer un projet en mode hors ligne on suit les étapes suivantes :

- Sélectionnez le type d'appareil.
- Définissez les caractéristiques de l'appareil.
- Définissez les réglages des paramètres.
- Enregistrez le projet.
- Transférez le fichier de configuration vers l'appareil.

Sélectionner le type d'appareil :



Sélectionnez le type d'appareil.

Sélectionnez le protocole de communication dans la boîte de dialogue Sélectionner la communication.

NOTE : L'option de sélection de la communication permet de choisir les protocoles de communication disponibles avant d'ouvrir les DTM à l'aide du FDT approprié.

Les protocoles de communication disponibles sont :

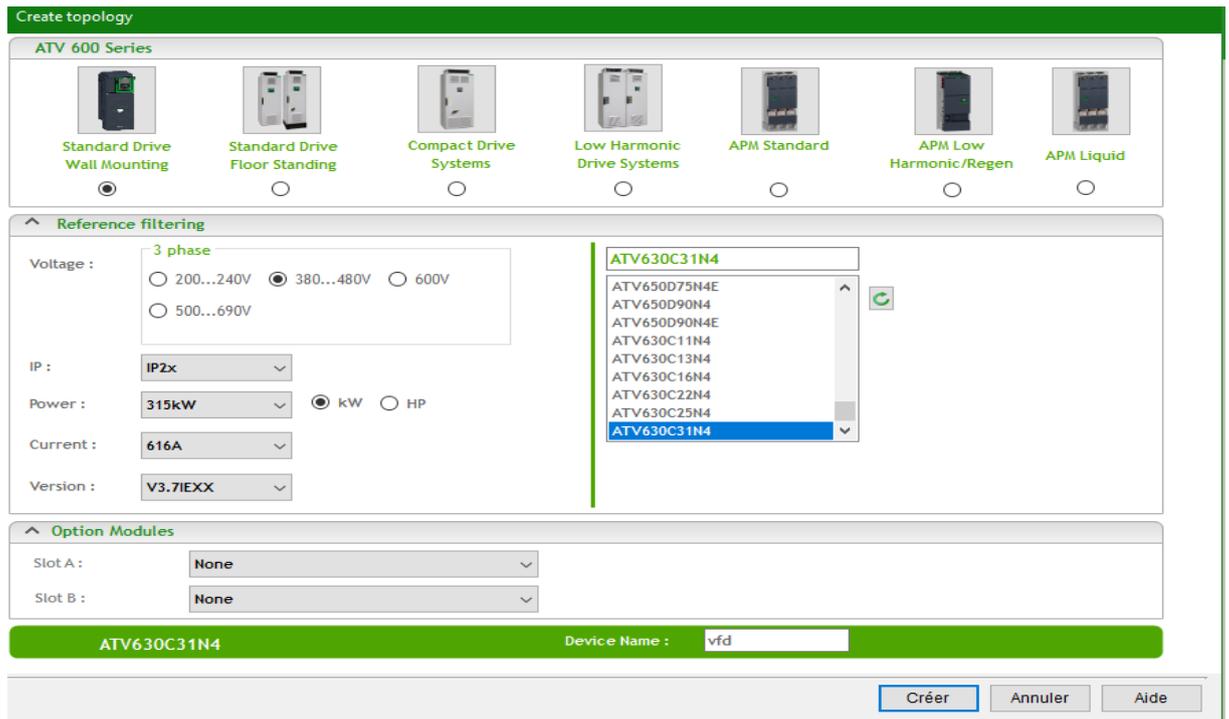
- Modbus série
- Modbus TCP

Cliquez sur Suivant.

Définir les caractéristiques d'un appareil :

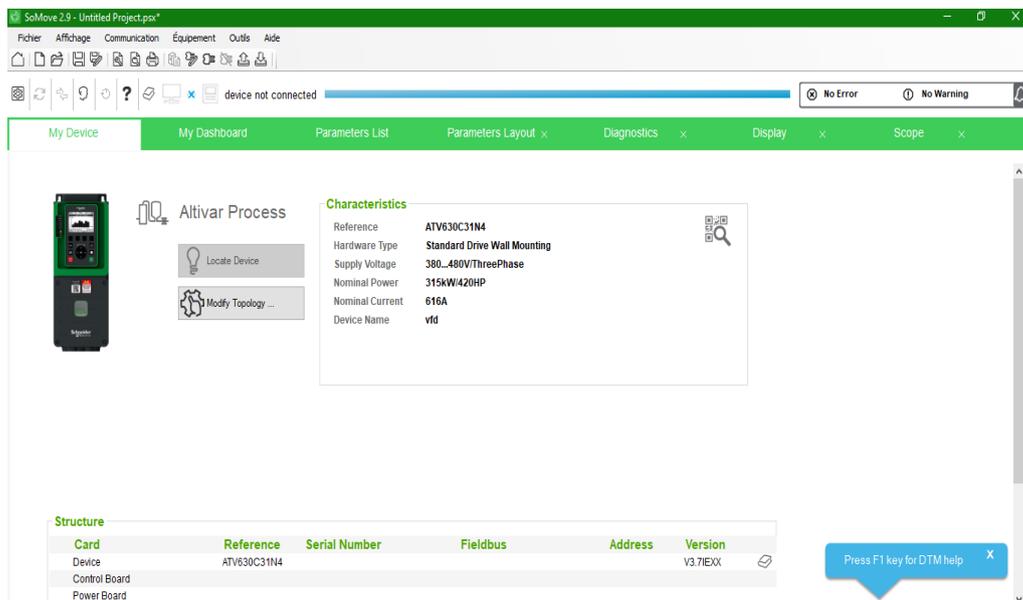
Sélectionnez les caractéristiques de l'appareil suivantes dans la zone Paramètres de la topologie :

- Référence
- Version de firmware



Résultat : les autres caractéristiques de l'appareil, en fonction de la référence de ce dernier, apparaissent automatiquement dans les champs correspondants : tension d'alimentation, puissance nominale, courant nominal et courant transitoire maximum.

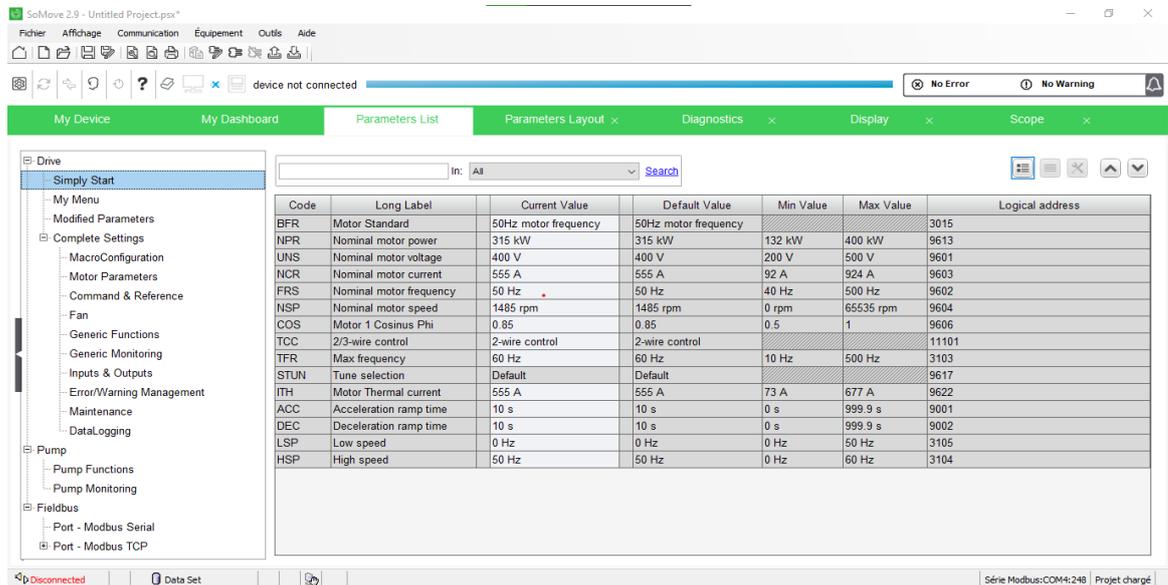
Cliquez sur Créer.



Résultat : l'onglet Paramètres s'affiche dans l'espace de travail avec les réglages des paramètres dans le sous-onglet Menus par défaut.

- **Définir le réglage des paramètres :**

Définissez le réglage des paramètres en modifiant la colonne Valeur



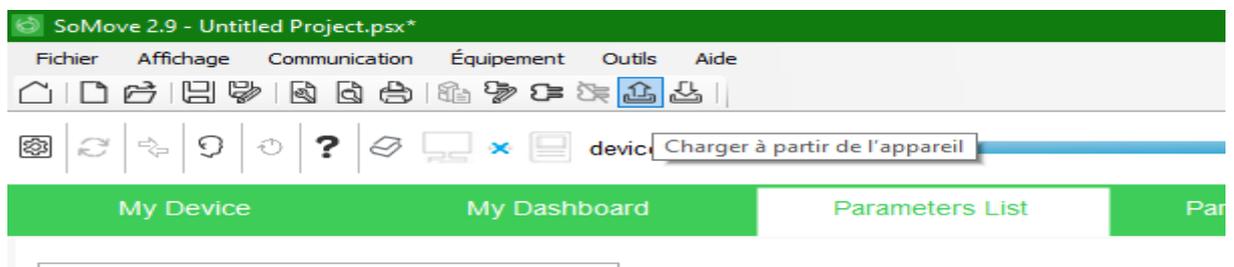
- **Enregistrer le projet :**

Sélectionnez le dossier dans lequel vous souhaitez enregistrer le projet.

Saisissez un nom pour le projet.

Cliquez sur le bouton Enregistrer.

- **Transférer le fichier de configuration vers l'appareil :**



Cliquez sur le bouton outil sur l'appareil dans la barre d'outils.

Lorsque le transfert des données est terminé, le message Enregistrement sur l'appareil réussi s'affiche. Cliquez sur OK.

Logiciel PVsys :



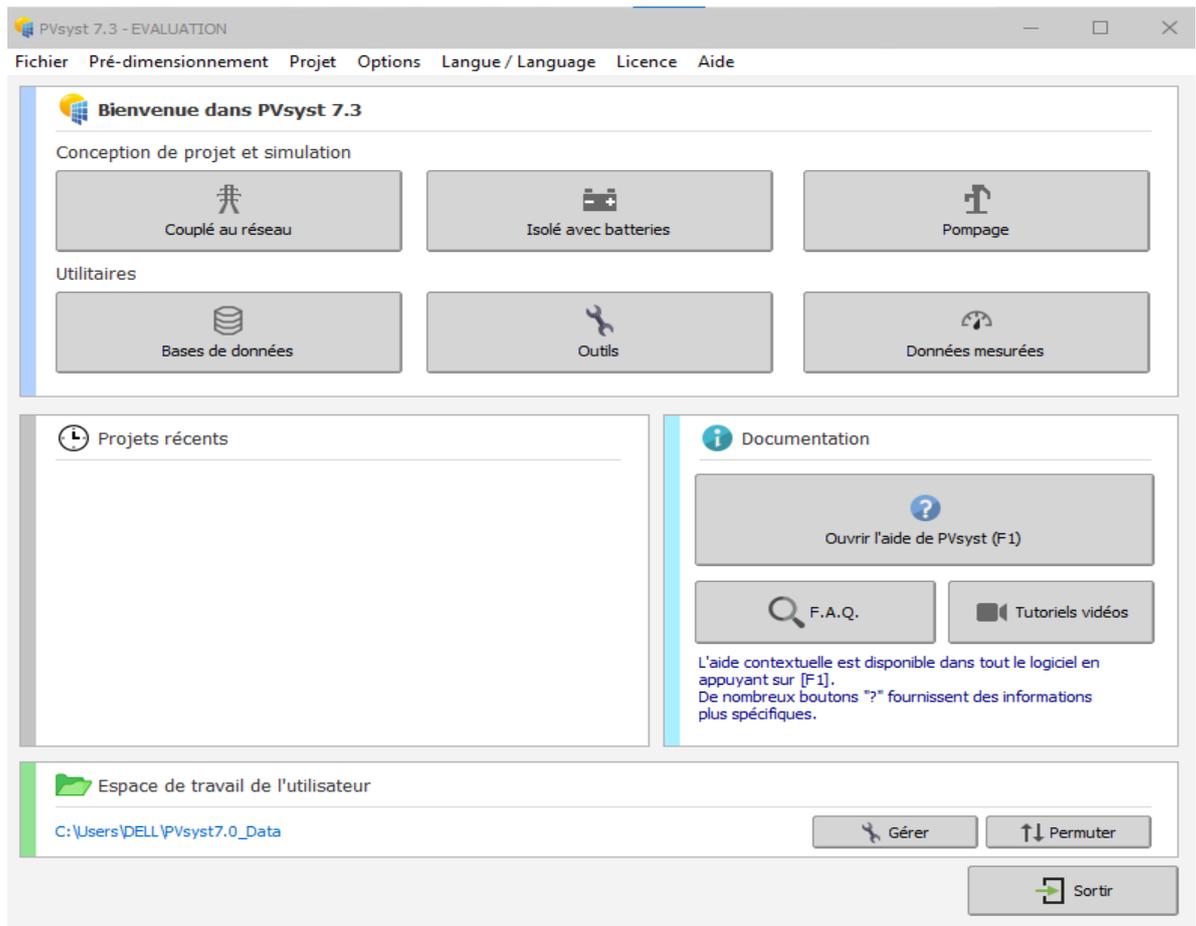
PVsys est un logiciel de conception et de simulation pour les systèmes photovoltaïques. Il est largement utilisé dans l'industrie solaire pour évaluer les performances, dimensionner les installations solaires et optimiser leur production d'énergie.

Le logiciel PVsys offre une gamme de fonctionnalités pour analyser et simuler des systèmes photovoltaïques. Il prend en compte des paramètres tels que la localisation géographique, l'orientation des panneaux solaires, l'inclinaison, l'ombrage, les caractéristiques des panneaux solaires et des onduleurs, ainsi que les données météorologiques pour estimer la production d'électricité solaire.

En utilisant PVsys, les utilisateurs peuvent obtenir des estimations précises de la production d'énergie solaire, des analyses financières, des rapports de performance, ainsi que des prévisions de la production d'électricité sur différentes périodes (quotidiennes, mensuelles, annuelles).

PVsys est un outil puissant et largement utilisé par les développeurs de projets solaires, les ingénieurs, les installateurs et les chercheurs pour optimiser les performances des installations solaires, évaluer la faisabilité technique et économique de projets photovoltaïques, et comparer différentes configurations et scénarios.

- **présentation de page de démarrage :**



Cela donne accès à quatre principales parties du programme :

1. "Conception et simulation de projet" est la principale partie du logiciel et est utilisée pour l'étude complète d'un projet. Cela implique le choix des données météorologiques, la conception du système, les études d'ombrage, la détermination des pertes et l'évaluation économique. La simulation est effectuée sur une année complète par pas horaire et fournit un rapport complet ainsi que de nombreux résultats supplémentaires.
2. "Projets récents" vous permettra de trouver rapidement et de modifier vos projets récents.
3. "Documentation" vous aidera à mettre en œuvre différentes simulations à l'aide de tutoriels PDF, de vidéos et d'une FAQ.

4. "Espace de travail utilisateur PVsyst" contient toutes les données créées par l'utilisateur. L'emplacement par défaut est C:\Users<nom d'utilisateur>\Pvsyst7.0_Data, mais cela peut être modifié par l'utilisateur.

Logiciel unity pro :

Unity Pro Schneider est une version spécifique du logiciel Unity Pro développée par Schneider Electric. Cette version est conçue pour être utilisée avec les automates programmables industriels (API) de Schneider Electric, tels que les automates de la série Modicon.

Avec Unity Pro Schneider, les utilisateurs peuvent concevoir des programmes d'automatisation, configurer des modules d'entrées/sorties, effectuer des tests et des simulations, et déployer leurs applications sur les automates Schneider Electric. Le logiciel prend en charge plusieurs langages de programmation, tels que le langage structuré (ST), le langage d'échelle (LD) et le langage à contact (FBD), offrant ainsi une flexibilité pour répondre aux besoins spécifiques de l'automatisation industrielle.

Fonctions de Unity Pro

Plateformes matérielles

Unity Pro prend en charge les plateformes matérielles suivantes :

- Modicon M340
- Premium
- Atrium
- Quantum

Langages de programmation

Unity Pro propose les langages suivants pour la création du programme utilisateur :

- Langage à blocs fonction (FBD)
- Langage à contacts (LD)
- Liste d'instructions IL
- Littéral structuré ST
- Diagramme fonctionnel en séquence SFC

Tous ces langages peuvent être utilisés ensemble dans le même projet.

Tous ces langages sont conformes à la norme CEI 61131-3.

Bibliothèques de blocs

Les blocs des nombreuses bibliothèques de blocs comprises dans l'offre de Unity Pro vont des blocs pour opérations booléennes simples aux blocs de commande de boucles de régulation complexes, en passant par des blocs pour chaînes de caractères (strings) et opérations de zones (matrice).

Par souci de clarté, les différents blocs sont structurés en bibliothèques, elles-mêmes structurées en familles.

Les blocs peuvent être utilisés dans les langages FBD, LD, IL et ST.

Eléments d'un programme

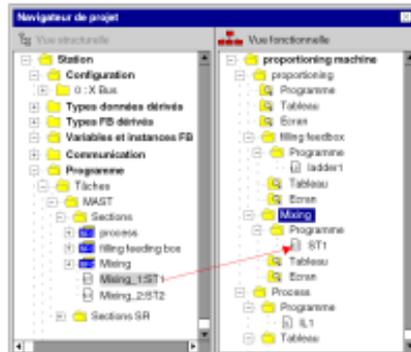
Un programme peut se composer :

- d'une tâche maître (MAST) ;
- d'une tâche rapide (FAST) ;
- d'une à quatre tâches auxiliaires (non disponibles pour Modicon M340) ;
- de sections auxquelles est affectée l'une des tâches définies ;
- de sections dédiées au traitement des événements temporisés (Timerx) ;
- de sections de traitement d'événements issus de modules d'entrées/sorties (EVTx) ;
- de sections de sous-programme (SR).

Navigateur de projet

Introduction

Le navigateur de projet affiche tous les paramètres du projet. L'affichage peut se présenter sous forme structurée (topologique) et/ou fonctionnelle.



Vue structurée

Dans l'affichage structuré, le navigateur de projet propose entre autres les fonctions suivantes :

- création et suppression d'éléments
- Le symbole de section affiche le langage de programmation de section et sa programmation éventuelle (dans le cas d'une section vide, le symbole est grisé)
- affichage des propriétés des éléments
- création de répertoires utilisateur
- démarrage des différents éditeurs
- démarrage de la fonction import/export

Vue fonctionnelle

Dans l'affichage fonctionnel, le navigateur de projet propose entre autres les fonctions suivantes :

- création de modules fonctionnels
- insertion de sections, tables d'animation, etc. par glisser-lâcher à partir de l'affichage structuré
- création de sections
- affichage des propriétés des éléments
- démarrage des différents éditeurs
- symbole de section indiquant le langage de programmation et d'autres attributs.

Logiciel Ecostruxure Power Design-Ecodial

EcoStruxure Power Design Ecodial est un logiciel spécialisé dans la conception et le dimensionnement des installations électriques à basse tension (BT) pour les secteurs industriels, tertiaire et résidentiel.

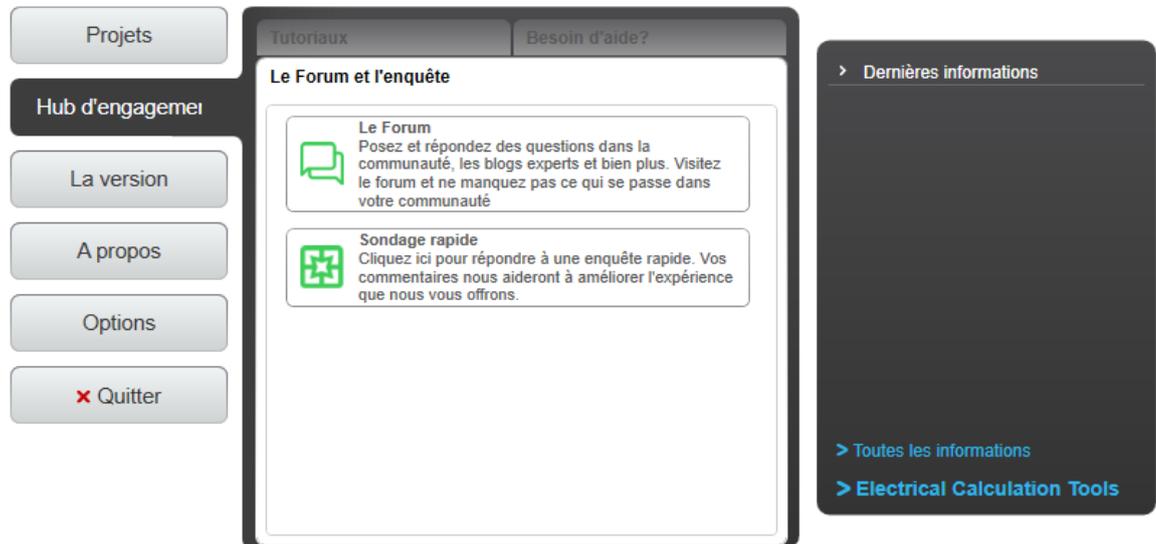
Il offre les fonctionnalités suivantes :

- Calcul des courants de court-circuit, des sections de câbles et des chutes de tension.
- Dimensionnement des sources d'alimentation et des dispositifs de protection contre les contacts directs et indirects.
- Vérification des contraintes thermiques pour assurer le bon fonctionnement des installations.
- Optimisation du choix des appareils en fonction de leur interdépendance.
- Calcul de la sélectivité des protections avec un outil de consultation graphique automatisé.
- Création et impression de notes de calcul et de schémas unifilaires.

C'est un outil complet pour réaliser des projets de conception électrique en respectant les normes en vigueur. Le logiciel facilite le processus de dimensionnement, de vérification et de documentation des installations électriques, contribuant ainsi à assurer la sécurité et l'efficacité des systèmes électriques BT.

Interface

EcoStruxure Power Design - Ecodial INT^{4.9.9}



Le logiciel nous donne accès à différentes fonctionnalités :

- Paramétrage projet : valeurs par défaut du réseau électrique, parafoudre, et les valeurs par défaut pour les appareillages
- La conception et dimensionnement
- Solution et le rapport détaillé : valeurs des courants de court-circuit , liste des équipements , les disjoncteurs et leurs gammes , type de câbles leurs logeurs et sections

Paramétrage du projet

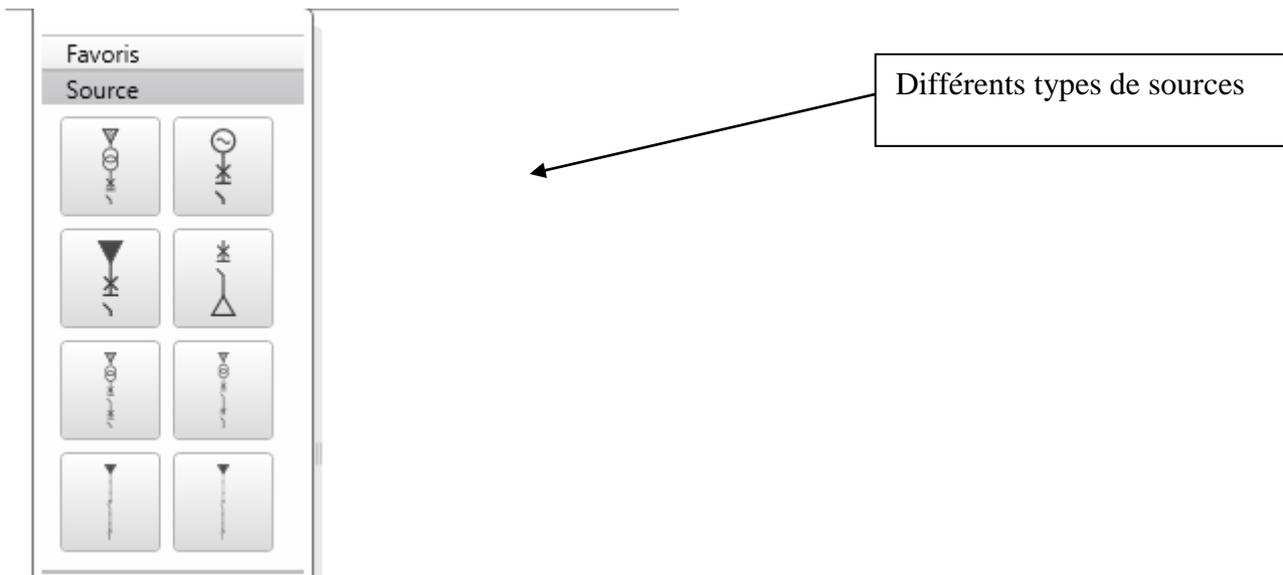
Paramétrage projet	Conception et dimensionnement	Smart Solution	Rapport
Définition du réseau			
Valeurs par défaut du réseau électrique			
Fréquence de l'installation électrique	50	Hz	
Cos ϕ cible	0,928		
Seuil de puissance réactive pour la compensation	50	kvar	?
Parafoudre			
Activer/désactiver le calcul des parafoudres	Non		?
Valeurs par défaut pour les appareillages			
Rechercher la filiation pour toutes les protections terminales de l'affaire ?	Non		?
Valeurs par défaut pour les fusibles			
Technologie	DIN		
Choix des fusibles seul ou avec porte fusible	Avec porte fusible		
Câble BT			
La section transversale maximale autorisée du câble par défaut (Les tailles de conducteur supérieures à 300 mm ² ne sont pas disponibles dans la norme CEI 60364-5-52)	300	mm ²	?
Neutre réduit ?	Plein		
Température ambiante des câbles à l'air libre	30	°C	
Température ambiante des câbles enterrés	20	°C	
ΔU max câbles	2	%	?

paramétrage du projet

Conception et dimensionnement du schéma :

Pour la conception du schéma unifilaire on doit choisir le type de source, le jeu de barre, les transformateurs et les charges (moteurs)

- **La source :**



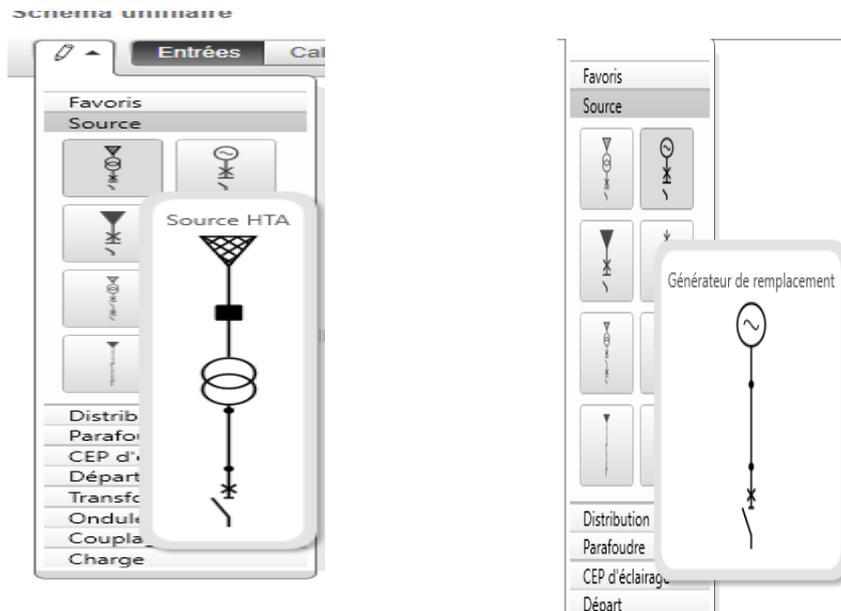
les sources

On distingue différents types de sources et on choisit ce qui nous convient soit : source HTA, Générateur de remplacement, source BT ...

La liaison automatique des sources à un transformateur et à un disjoncteur regroupé dans un même bloc facilite l'utilisation du logiciel en simplifiant la configuration, en améliorant la précision des connexions, en permettant des modifications plus rapides et en offrant une visualisation claire du système électrique. Cela peut conduire à une utilisation plus efficace et à une gestion optimisée de l'énergie.

Ce bloc regroupé permet d'économiser du temps lors de la configuration initiale du système. Au lieu de devoir effectuer manuellement les connexions entre les différents composants, le logiciel gère cette tâche de manière automatisée, ce qui réduit les efforts

nécessaires et accélère le processus de configuration et garantit que les connexions entre les sources, le transformateur et le disjoncteur sont réalisées de manière précise et cohérente. Cela réduit les risques d'erreurs humaines lors de la configuration du système, ce qui peut contribuer à une meilleure fiabilité et sécurité électrique.



exemples de sources

Après avoir choisi la source, on peut modifier ses paramètres (figure 5): valeur de tension dans primaire, puissance apparente max et min fournie par le réseau, valeur de tension dans le secondaire, le courant et la longueur du câble

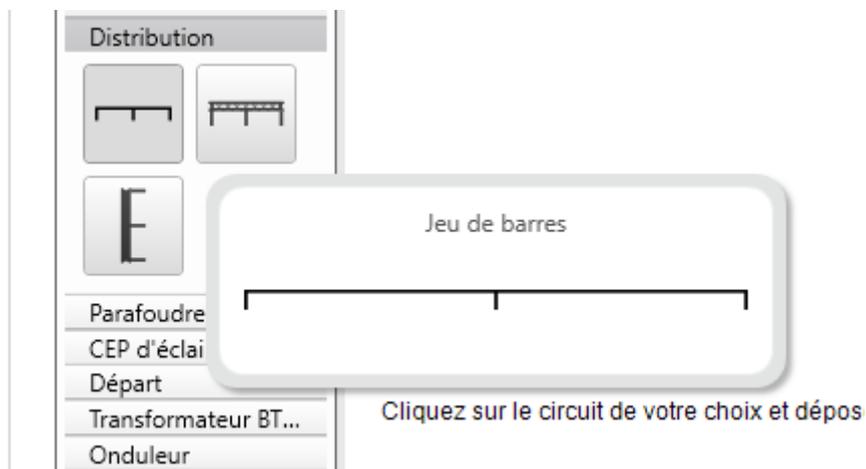


Circuit Source 0

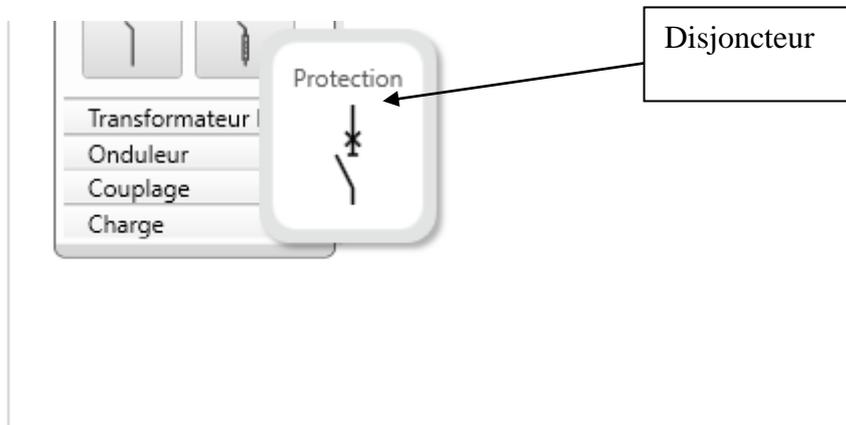
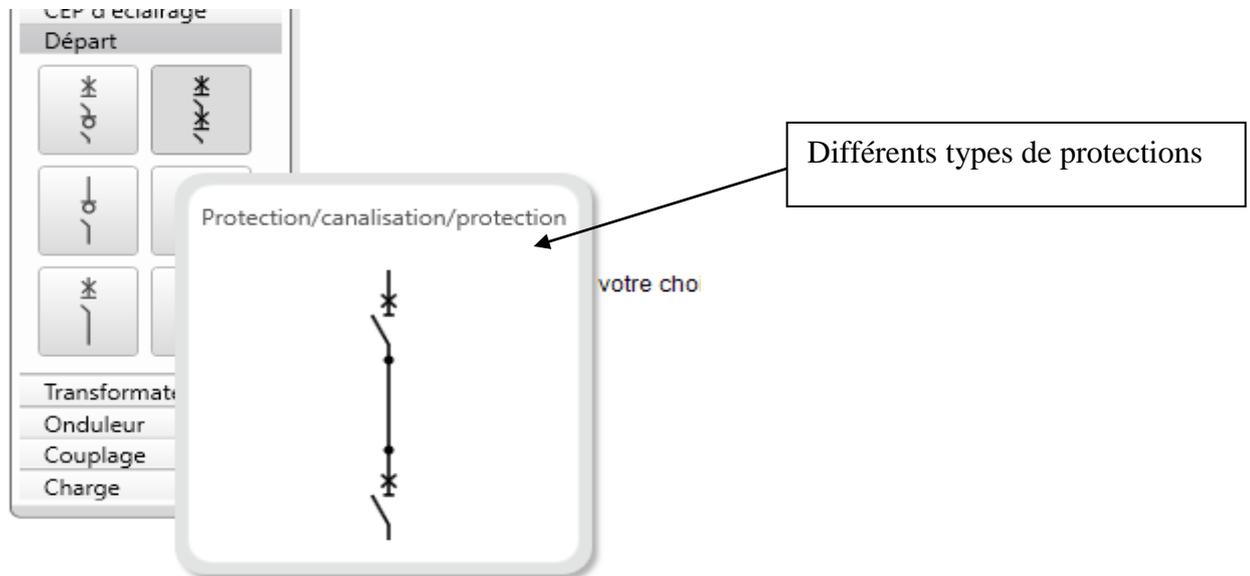
Un (kV)	30	
SkQmin (MVA)	250	
SkQmax (MVA)	500	
Longueur câble HTA (m)	10	
UrT2 (V)	400	
Schéma de liaison à la terre	TN-S	?
Longueur câble (m)	5	
Ib (A)	3608	
Longueur câble (m)	5	

La distribution :

Différents types de jeu de barres

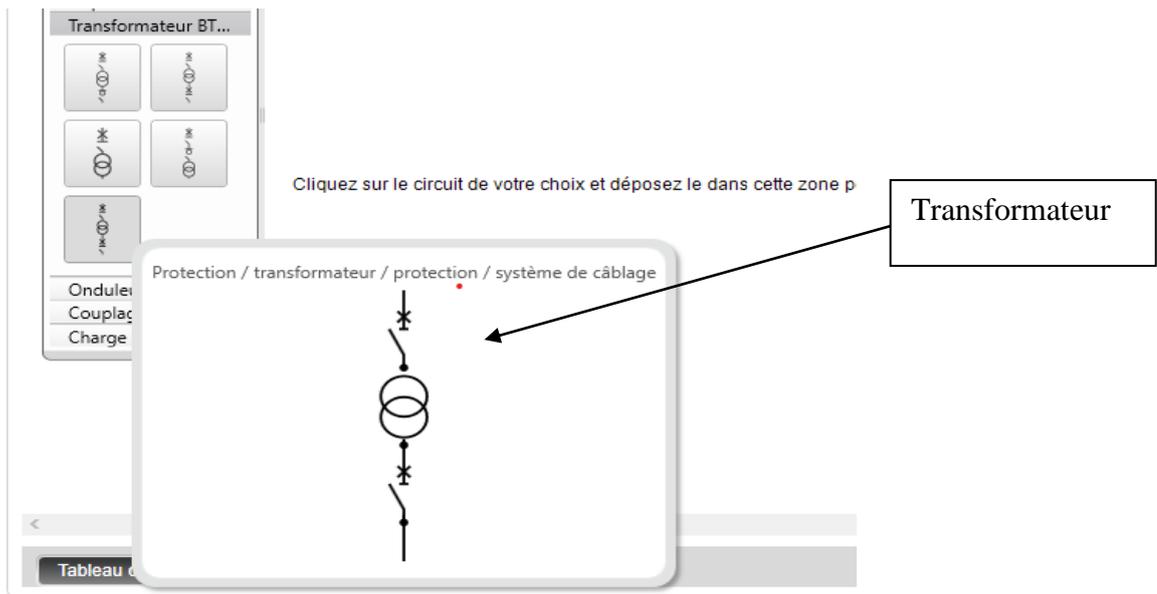


- **Les protections**

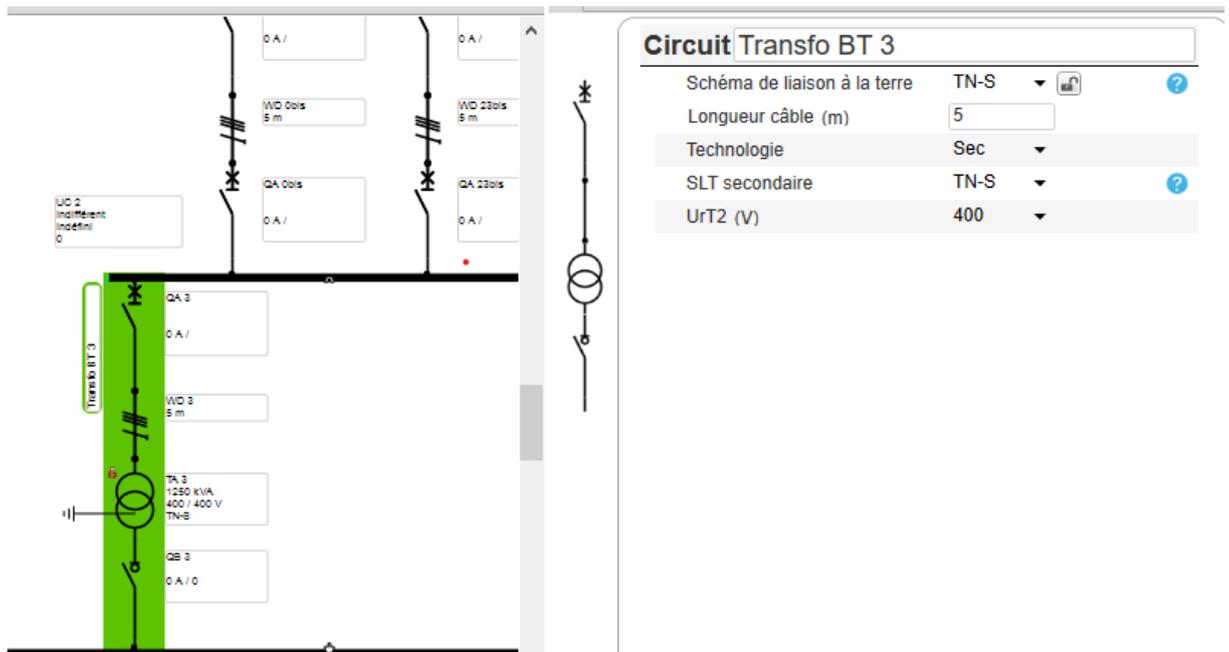


- **Les transformateurs**

La même procédure pour le choix du transformateur MT/BT

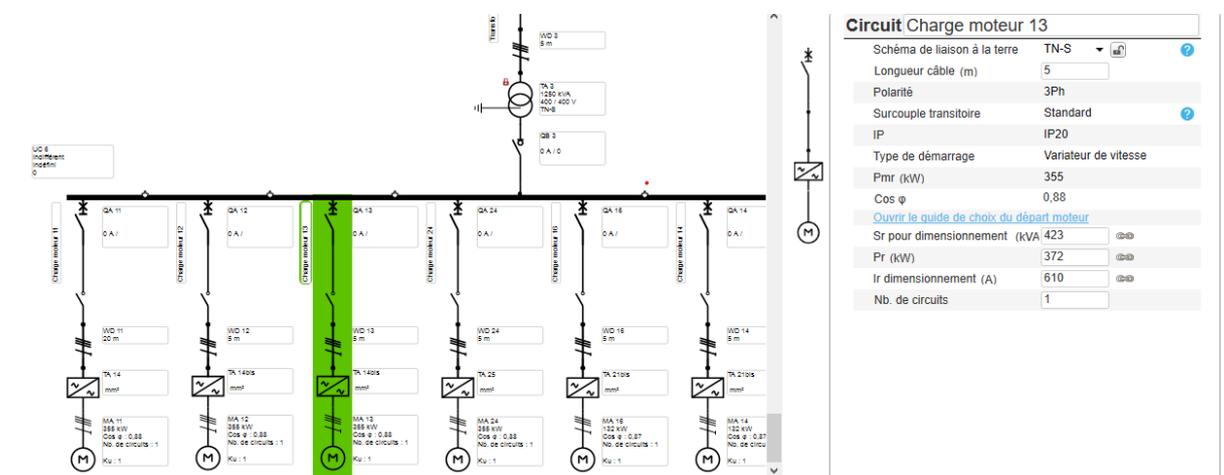
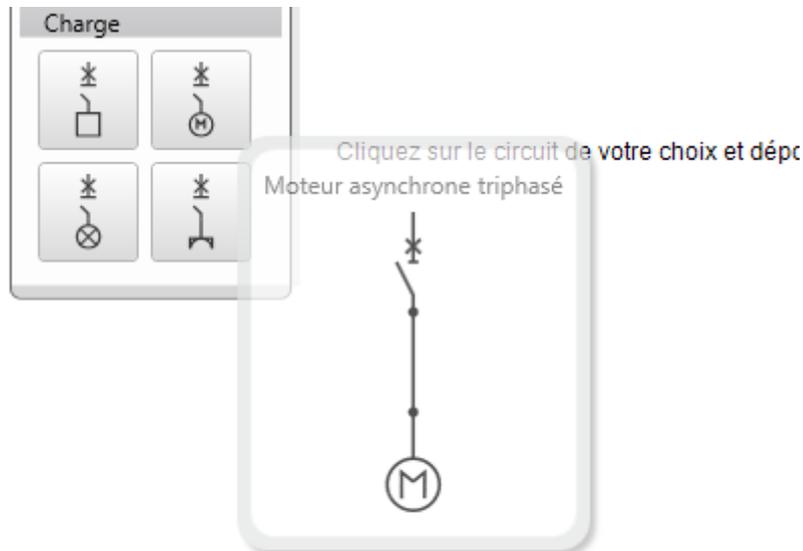


Pour les transformateurs on peut modifier la valeur de la tension du secondaire et choisir la technologie qui nous correspond



- Les charges

Puis on choisit la charge : charge d'éclairage , prise de courant et moteur asynchrone triphasé ...



On peut modifier les paramètres du moteur selon sa plaque signalétique (figure...) : puissance, $\cos\phi$, le courant ,type de démarrage (direct, étoile-triangle, progressif et avec variateur de vitesse) et les différents types d'application

Guide de choix du départ moteur pour la tension 400 V



Sélection

Moteur	Pmr (kW)	355	
	Avec protection thermique ?	Oui	
	I ⁿ d/Ir	<=19	?
	Ir (A)	610	
	Cos φ	0,88	
Départ moteur	Puissance mécanique utilisée pour le dimensionnement (kW)	355	
	Ir dimensionnement	610	
	Type de démarrage	Variateur de vitesse	
	Type application	Application de fluide	
Contacteur	Avec contacteur ?	Oui	
	Type de coordination	Type 1	?
	Implémentation du contacteur	Séparé	
Variateur de vitesse	Polarité	3 phases	
	Surcouple transitoire	Standard	?
	IP	IP20	

Ok

Annuler