وزارة التـــعلـــيـــــم العـــــالـــــــي والبـــحـــــــث العـلـمـــــي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أ حمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département Electromécanique
Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master 2

Spécialité : *Maintenance Industrielle et Electromécanique*

Thème :

Simulation et contrôle d'un UPS avec stockage intégré

Présenté et soutenu publiquement par :

Nom… **CHAMOUMA** …… Prénom … **Mohamed Hossam Eddine** …

Nom… **CHEIKH** ..... Prénom … **Yasser Djallal Eddine** .....

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mme.HABBEL	**Pr**	**IMSI**	**Président**
Mme.Chouitek Mama	**Pr**	**IMSI**	**Encadreur**
Hakiki Mehdi	**Superviseur Electricité**	**Sonatrach**	**Co-encadreur**
Saifi Younes	**Ingénieur en Electricité**	**Sonatrach**	**Co-encadreur**
Mme.Labair Hakima	**MCB**	**IMSI**	**Examinatrice**

Juin 2026

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à l'occasion de la réalisation de ce projet de fin d'études, en vue de l'obtention du diplôme de Master en Maintenance Industrielle et Électromécanique.

Nous remercions tout d'abord **ALLAH** Tout-Puissant de nous avoir accordé la volonté, la santé et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail durant notre parcours universitaire.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadrante, **Mme Chouitek Mama**, pour son encadrement, sa disponibilité, ses orientations pertinentes et ses précieux conseils tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons également à remercier nos encadreurs au sein de Sonatrach, **M. Saifi Younes** et **M. Hakiki Mehdi**, pour leur accompagnement, leur aide et les informations techniques qu'ils nous ont fournies durant notre stage. Leur expérience et leurs conseils ont grandement contribué à l'enrichissement de ce travail.

Nous remercions aussi l'ensemble des enseignants de l'Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle de l'Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, pour la formation qu'ils nous ont assurée durant notre cursus universitaire.

Enfin, nous exprimons notre profonde reconnaissance à nos chers parents et à nos familles pour leur soutien, leurs encouragements et leur confiance. Leur présence et leurs sacrifices ont été une source essentielle de motivation tout au long de nos études.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui ont été toujours à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études. En signe de reconnaissance, qu'ils trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude pour tout ce qu'ils ont consenti d'efforts et de moyens pour me voir réussir dans mes études.

À toute ma famille

Et

À tous mes amis.

A tous les gens qui me connaissent et que je connais en particulier.

Et à tous ceux qui aiment le bon travail et ne reculent pas devant les obstacles de la vie.

Chamouma mohamed hossam eddine

Dédicace

Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui ont été toujours à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études. En signe de reconnaissance,qu'ils trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude pour tout ce qu'ils ont consenti d'efforts et de moyens pour me voir réussir dans mes études.

À toute ma famille

Et

À toutes mes amies.

A tous les gens qui me connaissent et que je connais en particulier.

Et à tous ceux qui aiment le bon travail et ne reculent pas devant les obstacles de la vie.

Cheikh yasser djallal eddine

Table des matières

Résumé : 1

Chapitre I : Présentation du groupement ISG (KBA)

I.1. Introduction 3

I.2. Présentation des sites 3

I.2.1. In Salah CPF (ISG) 4

I.2.2. Teguentour (TEG) 5

I.2.3. REG 6

I.2.4. Hassi R'Mel (HRM) 6

I.2.5. Krechba (KBA) 7

I.2.5.1. Phase 1 7

I.2.5.2. Phase 2 compression 1ère étage 7

I.2.5.3. Phase 3 compression 2ème étage 8

I.3. Distribution d'énergie électrique à l'ISG 8

I.3.1. Hassi R'Mel 9

I.3.2. Reg & Teg 10

I.3.3. Krechba 10

I.3.3.1. Système 080 (10 kV) 11

I.3.3.2. Système 081 (5,5 kV) 12

I.3.3.3. Système 082 (400 V) 12

I.4. Conclusion 14

Chapitre II : Alimentation Sans Interruption ASI *(UPS)*

II. Introduction 14

II.1. Description 14

II.2. Diodes électroluminescentes(LED) 15

II.3. Afficheur 15

II.4. Les composants de ASI (UPS) 20

II.4.1. Redresseur 20
II.4.2. Onduleur 20
II.4.3. Batterie 20
II.5. Risques liés aux batteries 21
II.6. Précautions de sécurité 21
II.7. Différentes technologies des systèmes UPS 21
II.7.1. Off-line 21
II.7.2. Line interactive 22
II.7.3. On line double conversion 23
II.8. Schéma de principe 23
II.8.1. Explication des composants dans le schéma 25
II.8.1.1. Partie raccordement 25
II.8.1.2. Partie système 27
II.9. Mode de fonctionnement de l'UPS 31
II.9.1. Opération normale 31
II.9.2. Opération batterie 32
II.9.3. Opération by-pass 33
II.9.4. By-pass manuel en service 33
II.10. Maintenance de l'UPS 34
II.10.1. Définition 34
II.10.2. Type de maintenance 34
II.10.2.1. Maintenance préventive 34
II.10.2.2. Maintenance corrective 35
II.10.3. Dérangement sur redresseur et onduleur 36
II.10.4. Diagnostic des alarmes 36
II.11. Conclusion 40

Chapitre III : Modélisation et simulation et Résultats

Introduction 41

III.1. Modélisation de la source triphasée 41

III.2. Modélisation du redresseur 42

III.3. Batterie 44

III.3.1. La batterie en mode de charge 44

III.4. Onduleur 47

III.4.1. Commande MLI de l'onduleur 47

III.4.2. Principe de fonctionnement de l'onduleur MLI 51

III.5. Circuit de liaison continue 51

III.6. Filtre LC de sortie 52

III.7. Charge triphasée 54

III.8. Mesure des tensions et des courants 55

III.9. Schéma global de simulation 56

III.10. Modes de fonctionnement de l'ASI 57

III.10.1. Mode normal 57

III.10.1.1. Tensions triphasées en mode normal 57

III.10.1.2. Courants de la charge en mode normal 58

III.10.2. Mode by-pass 58

III.10.2.1. Tensions triphasées en mode by-pass 59

III.10.2.2. Courants de la charge en mode by-pass 59

III.10.3. Mode batterie 60

III.10.3.1. Mode de charge de la batterie 60

III.10.3.1.1. Tension de la batterie en mode de charge 60

III.10.3.1.2. Courant de la batterie en mode de charge 61

III.10.3.2. Mode batterie (Décharge) 61

III.10.3.2.1. Tension de la batterie en mode de décharge 62

III.10.3.2.2. Courant de la batterie en mode de décharge 62

III.11.Conclusion 63

Conclusion générale 64

Références Bibliographiques 66

Liste des figures

Figure I.1 : La situation géographique d'ISG 3
Figure I.2 : Vue d'ensemble des installations 4
Figure I.3 : Le champ d'In Salah (IS) 4
Figure I.4 : Schémas de procédés TEG & REG 6
Figure I.5 : Schémas de procédés KBA 8
Figure I.6 : Schéma unifilaire pour Krechba 11
Figure II.1 : Alimentation sans coupure ASI (UPS) 16
Figure II.2 : Panneau de signalisation et de contrôle du système UPS 17
Figure II.3 : panneau de commande avec afficheur, LED et boutons 18
Figure II.4 : Schéma de l'ASI 20
Figure II.5: Système off-line 22
Figure II.6 : Système interactif 22
Figure II.7 : Système Online 23
Figure II.8 : Schéma de principe 24
Figure II.9 : Mode normale 32
Figure. II.10 : Mode battrie 32
Figure. II.11 : Mode by-pass 33
Figure. II.12 : Mode by pass manuel en service 33
Figure. III.1 : Paramètres de la source triphasée programmable 42
Figure. III.2 : Schéma du redresseur triphasé à diodes 43
Figure. III.3 : Paramètres du condensateur du bus continu 44
Figure. III.4 : Paramètres de la batterie La batterie en mode de charge 45
Figure. III.5 : Paramètres de la batterie en mode Décharge 46
Figure. III.6 : Schéma de l'onduleur 47
Figure. III.7 **:** Schéma de la commande MLI de l'onduleur 48
Figure. III.8 : Paramètres du bloc Repeating Sequence 48

Figure. III.9 : Paramètre du bloc Constant.....49

Figure. III.10 : Paramètres du bloc Add utilisé dans la comparaison.....50

Figure. III.11 : Paramètres du bloc Relay.....50

Figure. III.12 : Sous-système de liaison continue.....52

Figure. III.13 : Schéma du filtre LC triphasé de sortie.....53

Figure. III.14 : Paramètres de l'inductance du filtre.....53

Figure. III.15 : Paramètres du condensateur du filtre.....53

Figure. III.16 : Paramètres de la charge triphasée en mode normal.....54

Figure. III.17 : Paramètres du Charge triphasé en mode by-pass.....55

Figure. III.18 : Paramètres du bloc de mesure triphasé.....56

Figure. III.19 : Schéma bloc Simulink du système ASI proposé.....56

Figure. III.20 : Allures des tensions triphasées de la source appliquées à la charge en mode normal.....57

Figure III.21 : Allures des courants triphasés de la charge en mode normal.....58

Figure III.22 : Allures des tensions triphasées de la source appliquées à la charge en mode by-pass.....59

Figure III.23 : Allures des courants triphasés de la charge en mode by-pass.....60

Figure III.24 : Allure de la tension de la batterie en mode de charge.....60

Figure III.25 : Allure du courant de la batterie en mode de charge..... 61

Figure III.26 : Allure de la tension de la batterie en mode de décharge.....62

Figure III.27 : Allure du courant de la batterie en mode de décharge.....62

Liste des tableaux :

Tableau II.1 : Signification des voyants LED de l'ASI (UPS) 16

Tableau II.2 : Fonctions des boutons de navigation et de configuration de l'ASI..... 19

Tableau II.3 : Fonction du bouton-poussoir d'alarme de l'AS 19

Tableau II. 4 : Partie raccordement..... 26

Tableau II. 5 : Partie système..... 30

Tableau II. 6 : Dérangement sur redresseur et onduleur..... 35

Tableau II. 7 : Diagnostic des alarmes..... 38

Tableau. III.8 : Paramètres de la source triphasée programmable..... 41

Tableau. III.9 : Paramètres du condensateur du bus continu 43

Tableau. III.10 : Paramètres de la batterie en mode de charge 45

Tableau. III.11 : Paramètres de la batterie en mode Décharge 46

Tableau. III.12 : Paramètres du bloc Répétitive Séquence 48

Tableau. III.13 : Paramètres du filtre LC..... 52

Tableau. III.14 : Paramètres du bloc de mesure triphasé..... 55

Liste des abréviations et symboles

AC Courant alternatif

ASI Alimentation Sans Interruption

BP British Petroleum

DC Courant continu

HT Haute tension

LV Basse tension

GTG Générateur à Turbine à Gaz

CO2 Gaz carbonique

CPF Unité de traitement centrale

DLE Basse Emission sèche

CNDG Centre National de Distribution du Gaz

ISG Société In Salah Gas

UPS Uninterruptible Power Supply

MV Moyenne tension

Résumé :

Ce travail de fin d'études porte sur la modélisation et la simulation d'un système d'Alimentation Sans Interruption (ASI/UPS) avec stockage intégré. L'objectif principal est d'étudier le comportement d'un système UPS destiné à assurer la continuité de l'alimentation électrique des charges sensibles en cas de perturbation ou de coupure du réseau.

Dans un premier temps, une présentation générale du groupement In Salah Gas (ISG), et plus particulièrement du site de Krechba, a été réalisée afin de situer le contexte industriel de l'étude. Cette partie a permis de mettre en évidence l'importance de la continuité de l'alimentation électrique dans les installations industrielles critiques.

Ensuite, une étude théorique des systèmes UPS a été présentée. Elle comprend la description des principaux composants de l'ASI, notamment le redresseur, l'onduleur, la batterie, le commutateur statique et le by-pass, ainsi que les différents modes de fonctionnement : mode normal, mode batterie et mode by-pass. Les principales technologies des UPS, telles que les systèmes off-line, line-interactive et on-line double conversion, ont également été abordées, avec une attention particulière portée aux aspects de sécurité et de maintenance.

La dernière partie du travail est consacrée à la modélisation et à la simulation du système sous MATLAB/Simulink. Le modèle proposé comprend une source triphasée, un redresseur triphasé à diodes, un bus continu, une batterie, un onduleur triphasé commandé par modulation de largeur d'impulsion (MLI), un filtre LC et une charge triphasée. Les simulations réalisées ont permis d'analyser les tensions et les courants dans les différents modes de fonctionnement de l'ASI, ainsi que le comportement de la batterie en charge et en décharge.

Les résultats obtenus montrent que le système simulé permet d'assurer une alimentation stable et équilibrée de la charge dans les conditions étudiées. Ils confirment également l'intérêt de l'intégration d'un système de stockage afin de maintenir la continuité de service lors des interruptions de l'alimentation principale. Ce travail constitue ainsi une base d'étude pour la compréhension et la simulation des systèmes UPS utilisés dans les environnements industriels sensibles.

Introduction générale

L'énergie électrique joue un rôle essentiel dans les installations industrielles, notamment pour les équipements sensibles de contrôle, de commande, de protection et de sécurité. Toute coupure ou perturbation du réseau peut provoquer l'arrêt des équipements ou affecter la continuité de service. Pour éviter ces problèmes, les Alimentations Sans Interruption, appelées ASI ou UPS, sont utilisées afin d'assurer une alimentation stable et continue en cas de défaillance du réseau principal [12], [13], [14].

Dans ce travail de fin d'études, nous nous intéressons à l'étude, la modélisation et la simulation d'un système UPS avec stockage intégré. Cette étude s'inscrit dans un contexte industriel observé lors du stage effectué au sein de Sonatrach, au niveau du groupement In Salah Gas, plus particulièrement sur le site de Krechba [1], [2], [3]. L'objectif est de comprendre le fonctionnement d'un UPS, d'analyser ses principaux composants et de simuler son comportement sous MATLAB/Simulink [23].

Le système étudié est composé d'une source triphasée, d'un redresseur triphasé à diodes, d'un bus continu, d'une batterie, d'un onduleur triphasé commandé par MLI, d'un filtre LC et d'une charge triphasée. Les simulations permettent d'analyser les tensions, les courants ainsi que le comportement de la batterie dans les différents modes de fonctionnement : mode normal, mode by-pass et mode batterie.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres. Le premier chapitre présente le groupement In Salah Gas et le site de Krechba. Le deuxième chapitre est consacré à l'étude générale des systèmes UPS, leurs composants, leurs technologies, leurs modes de fonctionnement et leur maintenance. Le troisième chapitre traite de la modélisation et de la simulation du système UPS sous MATLAB/Simulink, ainsi que de l'analyse des résultats obtenus.

Enfin, ce travail se termine par une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus à partir de la modélisation et de la simulation du système UPS étudié.

Chapitre I

Présentation du groupement ISG (KBA)

I.1. Introduction

In Salah Gas est une filiale de Sonatrach importante dans la production du gaz naturel, presque 10% de gaz Algérien, le gaz du champ District 3 à exploiter par la Sonatrach, BP et Statoil, Sept champs principaux ont été identifiés : Krechba, Teg, Reg, Garet el Befinat, Hassi Moumene, In Salah et Gour Mahmoud, et une nouvelle station de surpression de gazoduc et une installation de comptage fiscal située à Hassi R'Mel, avant de le raccorder avec le centrenational de distribution du gaz CNDG [1],[2],[3].

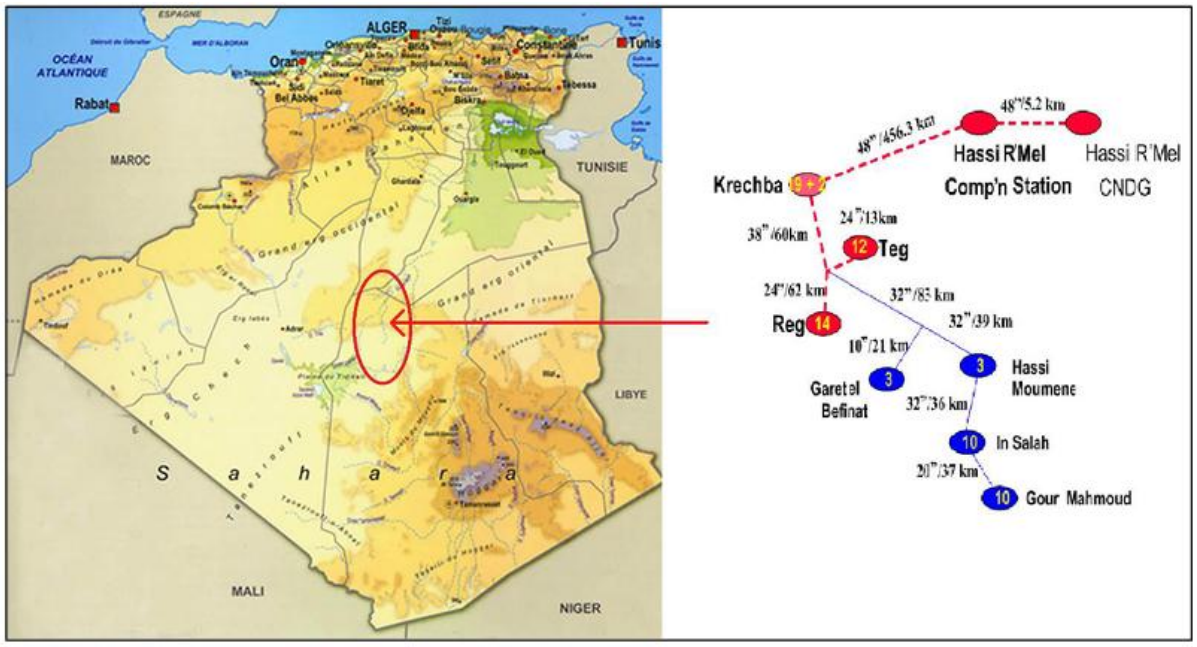


Figure I.1. : La situation géographique d'ISG.

I.2. Présentation des sites

Selon au plan de développement de la première phase, le gaz déshydraté provenant de TEG et REG et envoyé vers les installations centrales de traitement de Krechba (CPF) à travers le gazoduc de 38 pouce.

Après séparation et refroidissement, déshydratation et conditionnement, le gaz du champ de Krechba est combiné avec le gaz venant de TEG et REG. Au CPF de Krechba le mélange de gaz provenant des trois sites est traité avec une solution d'amine pour l'élimination de CO2 et ensuite le gaz est expédié vers Hassi R'Mel [1],[2]. Hassi R'Mel est situé à 456.3 Km au nord de Krechba. A Hassi R'Mel le est ré-comprimé et exporté au collecteur du centre national de distribution du gaz naturel (CNDG).

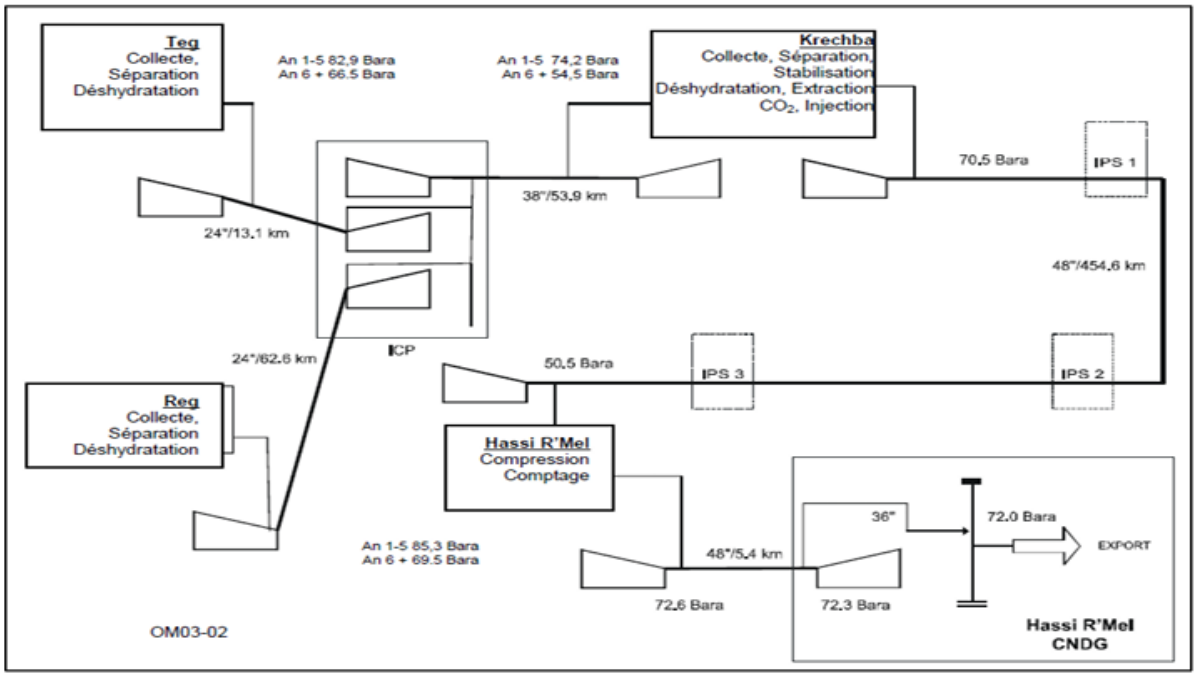


Figure I.2 : Vue d'ensemble des installations.

I.2.1. In Salah CPF (ISG)

L'In Salah Projet des champs du sud ajoute les quatre champs satellites du sud de Garet el Befinat (GBF), Hassi Moumene (HMN), In Salah (IS) et Gour Mahmoud (GMD) pour soutenir le plateau de production lorsque la production diminue dans les trois premiers Champs du Nord.

Le gaz provenant des champs d'IS, GMD, HMN et GBF est déshydraté dans une nouvelle CPF (IS CPF) situé près de champ de HMN et puis exporté vers REG CPF à travers un nouveau pipeline en acier carbone.

Le gaz provenant d'IS CPF sera acheminé vers REG où il se mélange avec le gaz du champ de REG, comprimé, déshydraté et exportés dans deux pipelines en parallèle vers ICP.

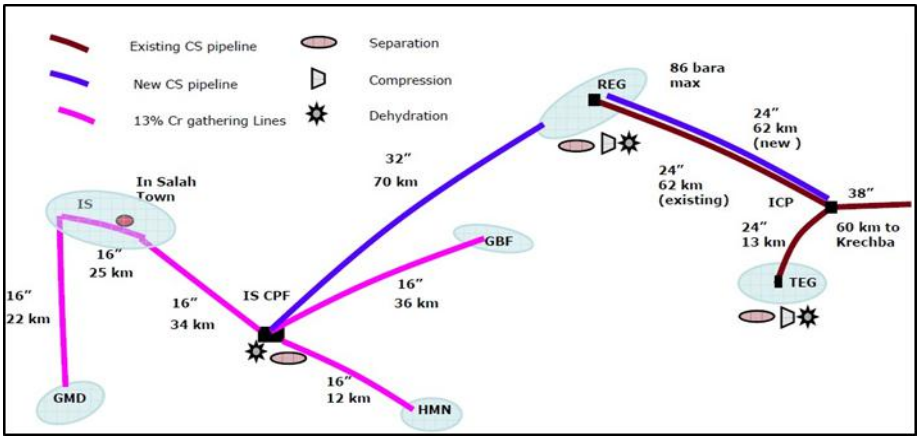


Figure I. 3: Le champ d'In Salah (ISG).

L'IS CPF comprend:

• Trois racleurs receveur sur les pipelines des champs d'IS/GMD, GBF et HMN.

• Séparateur de condensât type doigts.

• Séparateur d'entrée.

• Deux trains de déshydratation.

• Système de l'eau produite y compris la réinjection.

• Racleur lanceur.

• Utilités.

I.2.2. Teguentour (TEG)

Le gaz produit des puits individuels est collecté dans un réseau pour être acheminé vers les stations ou débute son traitement préliminaire de séparation et de déshydratation avant de se recombiner pour être acheminé vers Krechba via le pipeline inter champs.

Les installations de production et de traitement de la station de champ sont constituées :

- d'Un système de collecte de production.
- Les flux de produits arrivent à TEG CPF à partir des puits de TEG, la pression d'arrivée à TEG CPF sera contrôlée par la pression d'aspiration du compresseur.
- Quand le 1er étage de compression est installé la pression d'aspiration sera 42 barg, chutant à 20 barg et finalement à 17 barg lorsque le 2ème étage de Compression est installé.
- Les carters et les roues de compresseurs existants seront réutilisés et un nouveau boîtier installés pour séparer les compresseurs en deux étages.
- Les deux refroidisseurs de refoulement existant (un pour chaque train) seront réutilisés via l'installation de modifications de la tuyauterie.
- Chaque refroidisseur de refoulement existant va fonctionner comme deux échangeurs distincts, le refroidisseur inter étage du compresseur et le refroidisseur de refoulement du compresseur, comprenant chacune 50% de la surface de transfert de chaleur d'origine.
- Les provisions pour le plan du terrain et les points de raccordement ont déjà été réalisées au cours du projet compression pour minimiser le travail à chaud.

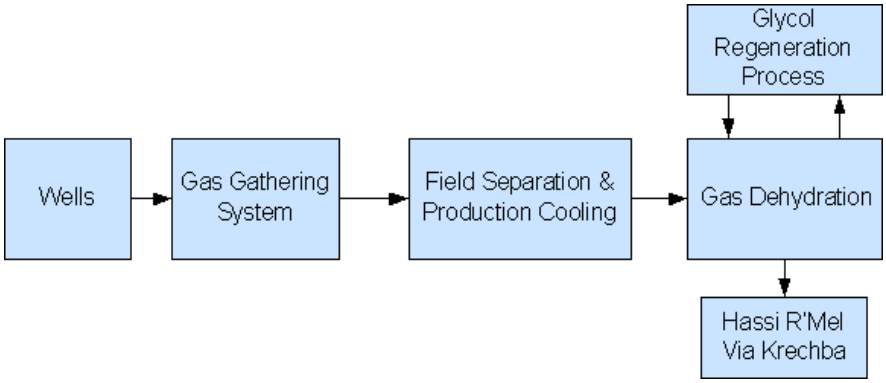


Figure I.4 : Schémas de procédés TEG & REG.

I.2.3. REG

Reg est similaire à Teg du point de vu installation c.-à-d. Les deux sites de TEG et REG ont le même design seulement :

- REG comporte le train 300 contenant inter et outer catcher glycol et un package de glycol.
- 2éme étage de compression au niveau de TEG.

I.2.4. Hassi R'Mel (HRM)

Le gaz traité provenant de l'installation centrale de Krechba circule dans un pipeline (450 Km, 48″) pour atteindre la station de ré-compression GR3 de Hassi R'Mel qui est située à 2Km au sud-ouest des stations existantes GR2 et GR3 et à environ 7Km du point de raccordement des collecteurs du Centre National de Distribution du Gaz (CNDG).

La station de ré-compression est conçue pour augmenter la pression et réguler la température du gaz d'exportation au niveau du point de raccordement du CNDG à 71 barg et 50ºC au maximum.

Une dérivation est installée pour by-pass les installations de ré-compression.

Les installations de Hassi R'Mel (2 trains identiques) comprennent les équipements essentiels suivants :

- Deux séparateurs à cyclone d'aspiration de compresseurs.
- Deux compresseurs centrifuges à un seul étage entraînés par des turbines à gaz.
- Un refroidisseur final de compresseurs de pipeline, dimensionné pour faire fonctionner les deux compresseurs en parallèles et à charge partielle.
- Une centrale de comptage fiscal de gaz d'exportation.
- Les utilités.

I.2.5. Krechba (KBA)

I.2.5.1. Phase 1

La phase 1 d`ISG Krechba comprend les installations suivantes :

Une partie du CPF de Krechba conçue pour le traitement du gaz de champs Krechba se compose des installations de traitement et système de collecte de gaz.

Les installations de traitement se composent du système de déshydratation à Glycol pour le réglage du point de rosée, et unité de séparation et refroidissement de gaz en utilisant un turbo-expander.

Les flux de gaz en provenance de Krechba, REG et TEG sont mélangés dans le CPF de Krechba et le CO2 est extrait du courant de gaz combiné à une teneur inférieur 0.3% par un processus d`absorption qui utilise la solution d`amine. Le gaz CO2 libéré lors du processus de régénération est comprime et réinjecté dans le réservoir du carbonifère a une pression allant de 145 barg à 203 bars.

Le gaz traité à Krechba est ensuite transporté à Hassi R'mel à travers le pipeline de diamètre 48'' et de longueur 456 km.

La station de compression de Hassi R'mel comprime le gaz pour le permettre d`être exporté au système de transport de Sonatrach "Centre National de Distribution du Gaz", CNDG est situé à 5.2 Km loin de Hassi R'Mel. [1]

I.2.5.2. Phase 2 compression 1ère étage

Les pressions en tête de puits champ de KBA ont commencés à décroitre durant les 4-5 dernières années. Afin de maintenir une production de gaz stable .la pression d'écoulement en ête de puits sera réduite par les boosters des stations décompression. La mise en place des installations de compression facilitera la réduction de pression en tête de puits des réservoirs existant d'un intervalle de 25-50 barg. [2]

I.2.5.3. Phase 3 compression 2ème étage

Avec l'installation de compresseur la pression des puits à décliner. Cette situation a requis la mise en place le 2ème étage de la compression pour soutenir la pression de Service. [3]

- 1ère étage : Pasp=18 barg, Pref=39 barg.
- 2ère étage : Pasp=39 barg, Pref=79 barg.

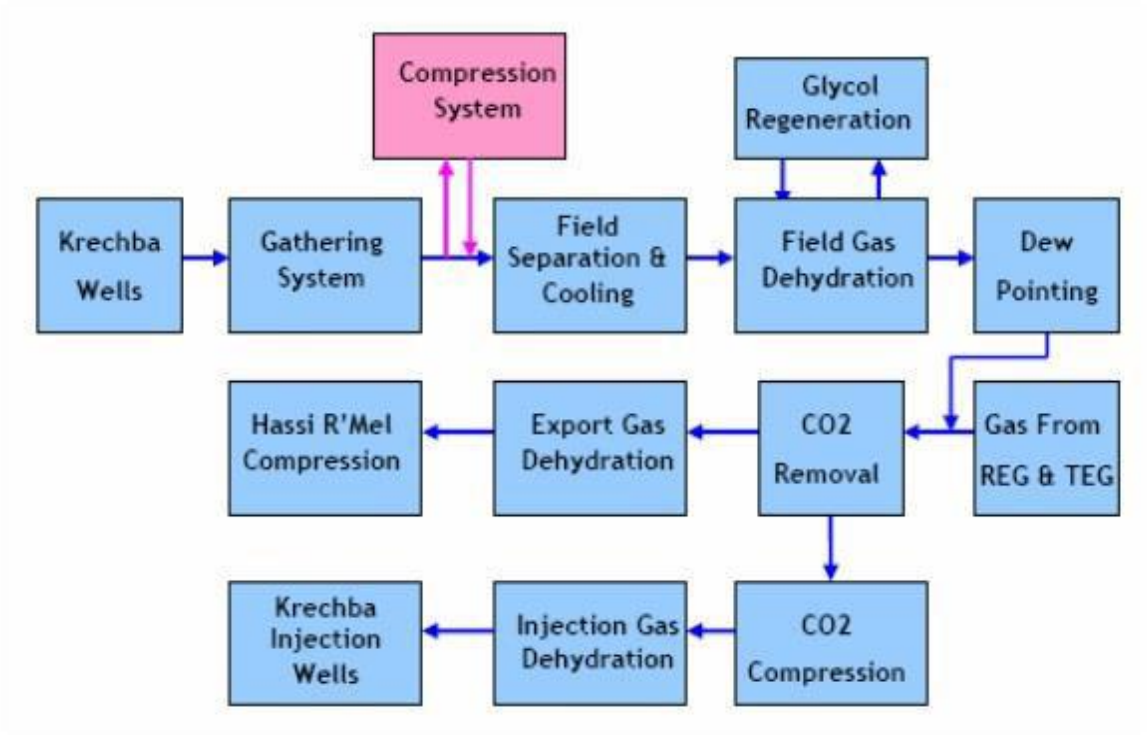


Figure I.5 : Schémas de procédés KBA.

I.3 Distribution d'énergie électrique à l'ISG

Les valeurs de tension nominales des systèmes de distribution sont déterminées à partir des valeurs de régime de 10 kV (système 080), 5.5 kV (système 081) et 400V (système 082), en triphasé, à une fréquence de 50 Hz.

La tension aux bornes des générateurs HT a été déterminée sur la base de la capacité nominale des générateurs et de l'appareillage de commutation, des considérations des régimes transitoires et de l'obtention d'un coût minimal. Le point neutre de chaque générateur HT et bobinage des transformateurs HT doit être mis à la terre par le biais d'une résistance.

Tous les générateurs diesel de secours sont fournis comme unités à démarrage indépendant en cas de perte de réseau (blackout) capables de démarrer et de fonctionner indépendamment du système principal de production d'énergie ou de l'alimentation du réseau. Ces générateurs fourniront l'alimentation requise pour le démarrage des installations essentielles nécessaires à l'établissement de l'alimentation principale sur chaque site.

A Reg, Teg et Hassi R'Mel, la tension nominale aux bornes des générateurs diesel de secours (système 084) doit être de 400/230V en triphasé avec neutre, le neutre étant directement mis à la terre.

A Krechba, la tension nominale aux bornes du générateur diesel de secours (système 084) doit être de 5.5 kV, en triphasé, le neutre étant mis à la terre par une résistance.

La tension nominale des systèmes d'alimentation permanente (système 085) (UPS) CA sera de 230V, en monophasé.

Les systèmes d'alimentation permanente (système 085) (UPS) DC pour le contrôle et la protection de l'appareillage de commutation auront une tension de 110V.

Au niveau de chaque installation, des réseaux d'alimentation principaux sont prévus pour les catégories de consommateurs suivantes, selon les besoins d'un site particulier.

- Installations de procédé (CPF).
- Bâtiment de contrôle/exploitation & entretien/administration (CPF).
- Laboratoire (CPF).
- Bâtiment de la sous-station (CPF).
- Poste de garde (CPF).
- Magasin, Ateliers d'entretien (CPF).
- Quartiers de logement permanent (Base de Vie).
- Camp militaire (Base de Vie).

I.3.1. Hassi R'Mel

L'alimentation d'énergie électrique à Hassi R'Mel sera fournie par deux (2) lignes aériennes Sonelgaz de 30kV. La tension sera réduite au sein de la station de compression au moyen de deux transformateurs. Chaque transformateur et ligne aérienne doivent avoir une capacité nominale minimale égale à 100% de la demande maximale requise pour le site.

Le générateur diesel à Hassi R'Mel n'est pas en mesure de démarrer l'installation. Il sera dimensionné afin de fournir l'alimentation requise pour permettre un arrêt méthodique de l'installation en cas de perte du réseau et pour assurer une alimentation de secours uniquement aux systèmes d'autonomie respiratoire et systèmes de sécurité critiques. Le démarrage de l'installation nécessitera au moins une des connexions de réseau.

I.3.2. Reg & Teg

Pour les sites de Reg, Teg l'alimentation principale sera fournie au niveau de chaque site par des générateurs à turbine à gaz locaux.

Aux sites de Reg et Teg, l'alimentation électrique sera fournie par deux générateurs à turbine à gaz MT 5.5 kV pour chaque site, chaque GTG ayant une capacité nominale minimale égale à 100% de la demande maximale requise pour le site. Bien que chaque GTG soit capable de satisfaire à l'ensemble des charges requises au site, les deux GTG seront mis en parallèle, fonctionnant à demi-charge, fournissant ainsi un système d'alimentation de haute intégrité pour les installations concernées.

Le générateur diesel de services essentiels (EDG) à chacun de ces sites capables de fournir une alimentation électrique suffisante pour démarrer un des principaux générateurs à gaz tout en assurant le fonctionnement des services essentiels et l'alimentation requise pour les systèmes de sécurité critiques. Le démarrage des GTG nécessitera une alimentation au minimum pour les systèmes de ventilation, les compresseurs d'air instrument, les systèmes d'huile de lubrification, les systèmes de contrôle, les systèmes de combustible (y compris le réchauffeur de gaz combustible) et les systèmes de démarrage des turbines à gaz.

I.3.3. Krechba

Ci-dessous le schéma unifilaire représente toutes les canalisations, câbles et éléments de l'installation électrique [JB00-B-NNDO-000-0001[F]]. [4]

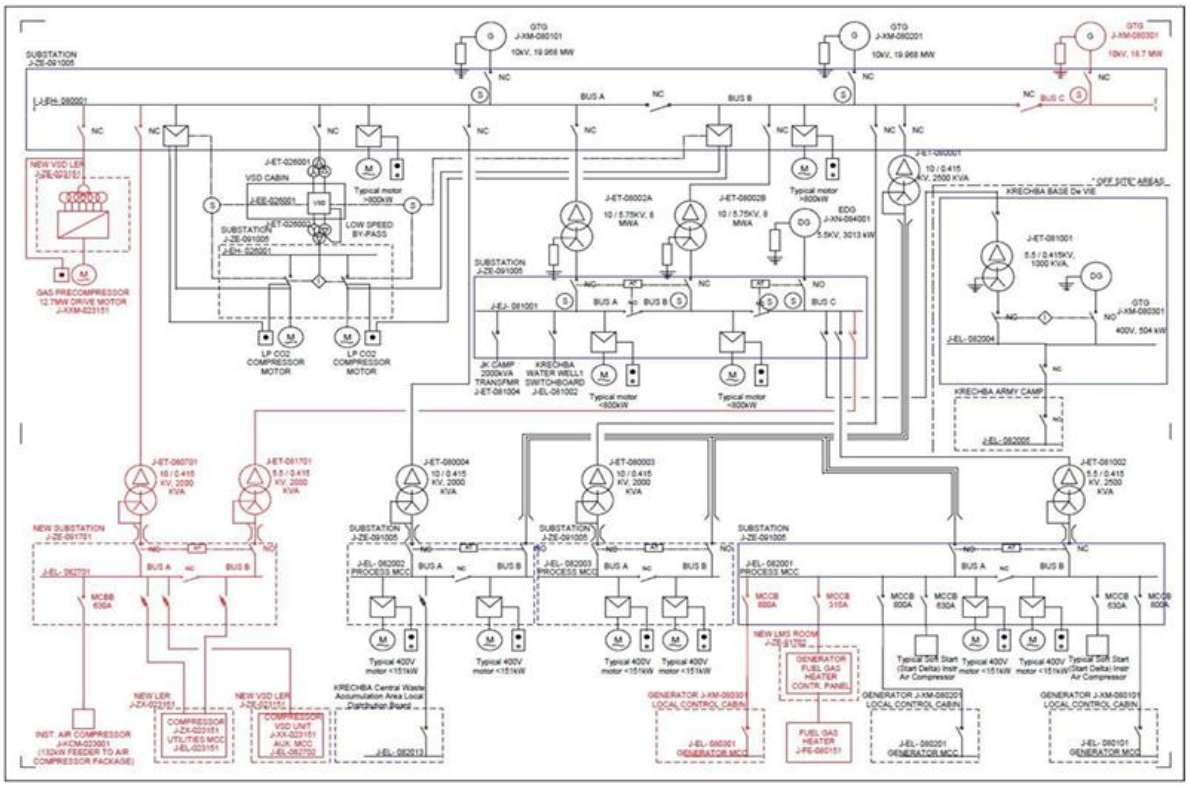


Figure I.6 : Schéma unifilaire pour Krechba.

L'alimentation électrique principale à Krechba est fournie par trois générateurs à turbine à gaz HT 10 kV deux GTG de 19.968MW chacun 10kV J-XM-080101 & J-XM-080201 avec unités de récupération de chaleur pour le système 41 et la troisième GTG Rolls-Royce RB211 DLE a une puissance de 18.7MW @ 40° C (conditions du site).

Le générateur diesel de services essentiels (EDG) J-XM-084001de 3.013MW 5.5 kV capable de fournir une alimentation électrique suffisante à travers la sous-station 400V existante J-ZE091005 pour démarrer un des principaux générateurs à gaz tout en assurant le fonctionnement des services essentiels et l'alimentation de secours requise pour les systèmes de sécurité critiques. Le démarrage d'un générateur à gaz nécessitera une alimentation au minimum pour les systèmes de ventilation, les compresseurs d'air instrument, les systèmes d'huile de lubrification, les systèmes de contrôle, les systèmes de combustible (y compris le réchauffeur de gaz combustible) et les systèmes de démarrage des turbines à gaz.

I.3.3.1. Système 080 (10 KV)

Les trois GTG sont connecté au tableau de distribution 10kV existant J-EH-080001 situé dans la sous-station J-ZE-091005.

- Le GTG A est connecté au jeu de barre A de tableau de distribution J-EH-080001.
- Le GTG B est connecté au jeu de barre B de tableau de distribution J-EH-080001.
- Le GTG C est connecté au jeu de barre C de tableau de distribution J-EH-080001.

Ces trois GTG fonctionnent en parallèle pendant l'exploitation normale. Pour plus du détailles et la liste des charges voir ce document [JB09-B-NNDO-080-0001]. [5]

I.3.3.2. Système 081 (5.5 KV)

Le tableau de distribution 5.5kV (J-EJ-081001) situé dans la sous-station J-ZE-091005 comprend les départs moteurs et le contrôle de distribution vers les unités procédé, les utilités et la base de vie.

• En fonctionnement normal, le tableau de distribution J-EJ-081001 est alimenté à partir de jeu de barre J-EH-080001 à travers les deux transformateurs (le jeu de barre A est alimenté à travers le transformateur J-ET-080002A le jeu de barre B et C est alimenté à travers le transformateur J-ET-080002B). En cas de panne de tous les principaux générateurs, le générateur de secours démarrera automatiquement et le disjoncteur du bus coupleur B / C s'ouvrira. Lorsque le générateur de secours est à la vitesse et la tension appropriées le disjoncteur d'arrivée du générateur de secours se fermera pour raccorder l'EDG au Jeu de barres (C) J-EH-081001. Pour plus du détailles et la liste des charges voir ce document [JB09-B-NNDO-081-0001]. [6]

I.3.3.3. Système 082 (400V)

Les tableaux de distribution 400V (J-EL-082001) (J-EL-082002) (J-EL-082003) situé dans la sous-station J-ZE-091005 et le tableau de distribution 400V (J-EL-082701) situé dans la sousstation J-ZE-091701 comprend les départs moteurs et le contrôle de distribution les charges de procès et vers les utilités.

• En fonctionnement normal, l'alimentation du tableau de distribution J-EL-082001 est alimentée à partir de tableau de distribution J-EJ-081001 (5.5KV) à travers le transformateur J-ET-081002 ou par le transformateur de secours J-ET-080001 en cas d'arrêt ou maintenance de transfo J-ET-081002. En cas de panne de tous les principaux générateurs, le Tableau de distribution J-EL-082001 restera toujours alimenter à partir de jeu de barres C du tableau de distribution J-EJ-081001 (5.5KV) à travers le transformateur J-ET-081002 après le démarrage du générateur de secours. Pour plus du détailles et la liste des charges voir ce document [JB09-B-NNDO-082-0001]. [7]

• Le tableau de distribution J-EL-082002 est alimenté à partir de tableau de distribution JEH-080001 (10KV) à travers le transformateur J-ET-080004 ou par le transformateur de secours J-ET-080001 en cas en cas d'arrêt ou maintenance de transfo J-ET-080004. Pour plus du détailles et la liste des charges voir ce document [JB09-B-NNDO-0820002]. [8]

• Le tableau de distribution J-EL-082003 est alimenté à partir de tableau de distribution JEH-080001 (10KV) à travers le transformateur J-ET-080003 ou par le transformateur de secours J-ET-080001 en cas d'arrêt ou maintenance de transfo J-ET-080003. Pour plus du détailles et la liste des charges voir ce document [JB09-B-NNDO-082-0003]. [9]

Remarque : le transformateur J-ET-080001 de secours fonctionne avec un seul tableau de distribution parmi les trois (c.-à-d. J-EL-082001 ou J-EL-082002 ou J-EL-082003).

• En fonctionnement normal le tableau de distribution J-EL-082701 est alimenté à partir de tableau de distribution J-EH-080001 (10KV) à travers le transformateur J-ET080701. En cas de panne de tous les principaux générateurs ou l'arrêt ou maintenance de transformateur J-ET-701, bus coupleur A / B se fermera et le tableau de distribution J-EL-082701 alimentera par le jeu de barres C du tableau de distribution JEJ-081001 (5.5KV) à travers le transformateur J-ET-081701, parce que le jeu de barre C de tableau de distribution J-EJ-081001 (5.5KV) toujours alimenter soit par le générateur de secours ou par les générateurs principaux. Pour plus du détailles et la liste des charges voir ce document [JB00-K-NNDO-082-0002]. [10]

• En fonctionnement normal La base de vie (J-EL-082004) est alimenté à partir de tableau de distribution J-EJ-081001 (jeu de barre C) à travers le transformateur J-ET-081001. En cas de panne de tous les principaux générateurs et le générateur de secours n'a pas démarrer ou l'arrêt de transformateur J-EJ-081001 après 60s le générateur de secours de secours qui situé dans la base de vie assure l'alimentation. Pour plus du détailles et la liste des charges voir ce document [JB09-B-ZKDN-083-1001]. [11]

• Le tableau de distribution J-EL-082016 (JK Camp) est alimenté à partir de tableau de distribution J-EJ-081001 à travers le transformateur J-ET-081004.

• Le tableau de distribution J-EL-082015 (Water Well) est alimenté à partir de tableau de distribution J-EJ-081001 à travers le transformateur J-ET-081005.

• Le tableau de distribution J-EL-082017 (Airport) est alimenté à partir de tableau de distribution J-EJ-081001 à travers le transformateur J-ET-081006.

Dans le site industriel de Krechba, la distribution de l'énergie électrique est organisée selon plusieurs niveaux de tension, notamment 10 kV, 5,5 kV et 400 V, afin d'alimenter les différentes installations de procédé, les utilités et les équipements auxiliaires. Cependant,

certains équipements sensibles, tels que les systèmes de contrôle, de protection, de supervision et de sécurité, nécessitent une alimentation permanente et stable, même en cas de perturbation ou de coupure du réseau principal. Dans ce contexte, l'utilisation des Alimentations Sans Interruption (ASI/UPS) devient indispensable pour assurer la continuité de service de ces charges critiques. Les UPS permettent ainsi de maintenir l'alimentation des équipements essentiels pendant les défauts électriques transitoires ou lors du basculement vers les sources de secours, garantissant ainsi la fiabilité et la sécurité de l'installation industrielle.

I.4.Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la présentation générale du groupement In Salah Gas (ISG), et plus particulièrement du site industriel de Krechba. Nous avons présenté les principales installations du site, les différentes phases de production ainsi que l'organisation générale de la distribution de l'énergie électrique.

L'étude de la distribution électrique a permis de mettre en évidence les différents niveaux de tension utilisés sur le site, notamment les systèmes 10 kV, 5,5 kV et 400 V, destinés à alimenter les installations de procédé, les utilités et les équipements auxiliaires. Elle a également montré l'importance de la continuité de l'alimentation électrique pour les équipements sensibles de contrôle, de protection et de sécurité.

Ainsi, l'utilisation des Alimentations Sans Interruption (ASI/UPS) représente une solution essentielle pour garantir une alimentation stable et permanente des charges critiques en cas de perturbation ou de coupure du réseau principal. Cette nécessité justifie l'étude des systèmes UPS, qui fera l'objet du chapitre suivant.

Chapitre II

Alimentation Sans Interruption ASI (UPS)

II. Introduction

Alimentation sans coupure (ASI) ou en anglais Uninterruptible Power Supply (UPS) est apparue les années 1970, elle a été le résultat de l'arrivée des semi-conducteurs de puissance et du besoin d'avoir des alimentations électriques de qualité pour alimenter les grands centres informatiques de gestion [13].

Une Alimentation Sans Interruption (ASI) est un système destiné à assurer la continuité de l'alimentation électrique en cas de perturbation ou de coupure du réseau principal.

II.1. Description

Dans beaucoup des domaines industriels l'application des systèmes électroniques (DC Contrôle critique), sont largement utilisés. Ces systèmes ont besoins d'une énergie électrique de qualité. Pour assurer cette dernière de façon permanente, il existe des systèmes d'alimentation spécifiques. Il s'agit des Alimentations Sans Interruptions (ASI). Comme son nom l'indique, une ASI permet d'obtenir une énergie électrique sans coupure grâce à des systèmes de stockage d'énergie, à savoir les batteries d'accumulateur.

Dans une ASI, l'événement principal redouté est la perte d'énergie en sortie. Pour gérer cette problématique, des redondances sont proposées, soit en interne à l'ASI, soit en externe au niveau du système[13],[14].

Cependant, une ASI comme tout autre système peut tomber en panne. Une défaillance de l'ASI induit une maintenance corrective donc une forme d'indisponibilité ce qui peut représenter un coût important.

Pour ces raisons, on doit appliquer une maintenance préventive systématique ou conditionnelle afin d'assurer un bon fonctionnement de système.

La nécessité d'UPS est :

- Pour se débarrasser des problèmes causés par l'instabilité des réseaux.
- Pour maintenir le processus ininterrompu.
- Pour avoir :
    - Stabilité
    - Fiabilité
    - Conditions
    - Alimentation Sans interruption



Fig. II. 1. Alimentation sans coupure ASI (UPS)

II.2. Diodes électroluminescentes(LED)

L'ASI possède trois LED indiquant l'état global de fonctionnement du système ainsi que l'état des sous-ensembles. Ces LED interagissent avec le synoptique actif affiché sur l'écran graphique.

Couleur LED	Description	Commentaires
Verte	Fonctionnement normal de l'ASI	La charge CA est alimentée par l'onduleur et le chargeur fonctionne.
Verte clignotante	Charge sur réserve ou onduleur fonctionnant sur batterie	Charge alimentée par la réserve ou onduleur fonctionnant sur batterie.
Orange	Avertissement ASI	Un ou plusieurs sous-ensembles sont affectés mais l'ASI n'est pas arrêtée.

Rouge	Défaut ASI	Un ou plusieurs sous-ensembles sont en défaut et arrêtés, ou arrêtés manuellement.
Rouge clignotante	Défaut de communication CAN	Le bus CAN de communication de l'ASI n'est pas correctement raccordé ou est en panne.

Tableau II.1 : Signification des voyants LED de l'ASI (UPS)

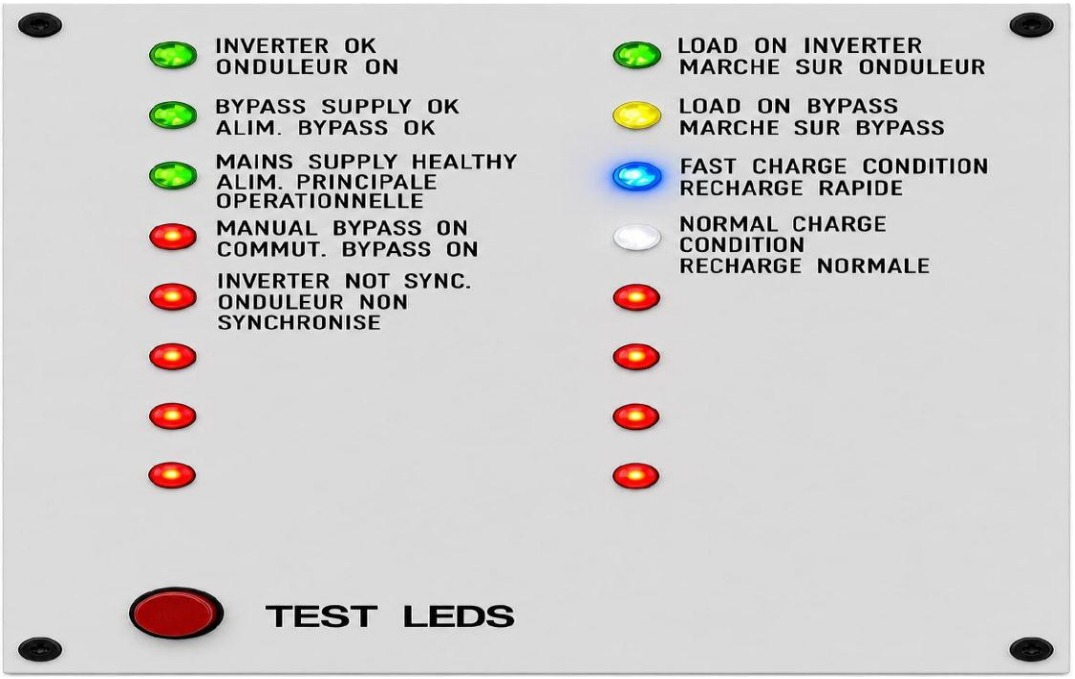


Fig. II. 2. Panneau de signalisation et de contrôle du système UPS.

Les trois LED fonctionnent de manière permanente. Il n'est pas obligatoire d'être sur la partie synoptique de l'afficheur pour activer leur fonctionnement.

Les LED fonctionnent indépendamment les unes des autres et peuvent être allumées simultanément dans certaines circonstances [17].

II.3. Afficheur

Un afficheur graphique à cristaux liquides (LCD) rétroéclairé de 64 x 128 pixels permet de surveiller les paramètres de fonctionnement, toutes les mesures et le synoptique actif de l'ASI. Les messages LCD sont accessibles par boutons-poussoirs (voir figure ci-dessous).

Cette interface homme-machine locale est composée de :

- 1 - un afficheur graphique LCD rétroéclairé de 64 x 128 pixels .
- 2 - trois LED indiquant le fonctionnement global du système et des sous-ensembles .
- 3 - quatre boutons-poussoirs pour accéder aux différents menus et aux mesures affichées .
- 4 - deux boutons-poussoirs pour mettre l'équipement sous tension / hors tension .
- 5 - un bouton-poussoir pour couper l'alarme sonore.

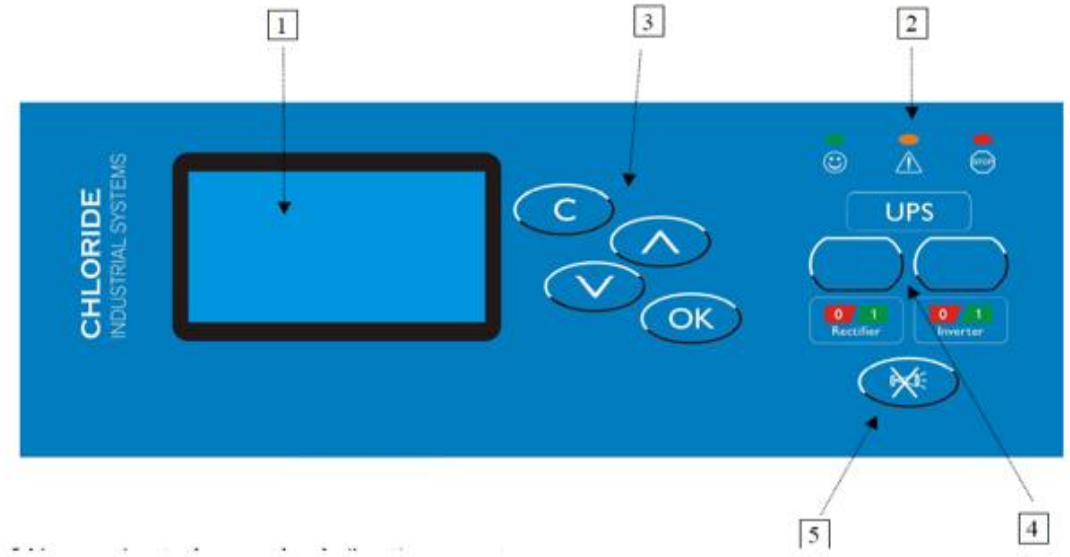


Figure II. 3: panneau de commande avec afficheur, LED et boutons.

L'afficheur possède deux modes de fonctionnement :

- Visualisation d'un synoptique actif donnant une représentation graphique de l'état de l'ASI.
- Navigation dans les différents menus pour visualiser l'état, les mesures ou les actions possibles sur l'ASI.

Boutons-poussoirs utilisés pour commander l'afficheur graphique LCD :

Bouton	Fonction
▲	Sélection précédente - monter dans les menus.
▼	Sélection suivante - descendre dans les menus.
OK	Valider les paramètres - entrer dans les menus.
C	Annuler les paramètres - retour dans les menus.

Tableau II.2 : Fonctions des boutons de navigation et de configuration de l'ASI

Bouton-poussoir utilisé pour commander le buzzer d'alarme :

Bouton	Fonction
Alarme	Annule l'alarme sonore interne jusqu'à l'apparition d'une nouvelle alarme**[17]**.

Tableau II.3 : Fonction du bouton-poussoir d'alarme de l'ASI

II.4. Les composants de ASI (UPS)

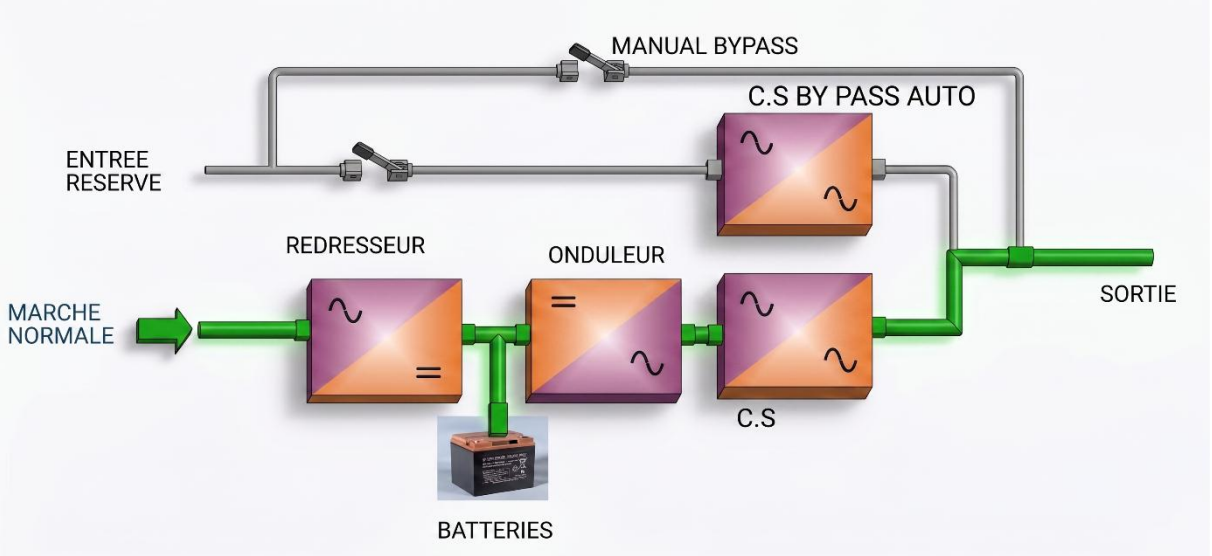


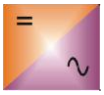
Fig. II.4. Schéma de l'ASI

II.4.1. Redresseur



Convertit la puissance d'entrée «AC» à «DC». Ce courant continu est appliqué à l'onduleur et également utilisé pour recharger la batterie.

II.4.2. Onduleur



Il convertit le courant 'DC' reçu du redresseur ou de la batterie à dans des conditions stables. La conception de l'inverseur définit la qualité de la puissance de sortie.

II.4.3. Batterie



C'est la source d'énergie auxiliaire. Elle se charge du redresseur / chargeur, quand l'entrée d'alimentation est disponible et elle agit comme une source de la sauvegarde (de puissance 'DC') à l'onduleur, lorsque l'entrée réseau n'est pas disponible.

II.4.4. Commutateur Statique



Il transfère la charge instantanément d'UPS sur by-pass et vice versa quand il y surcharge sur l'onduleur ou batterie déchargée.

II.5. Risques liés aux batteries

- Les bornes de batterie restent toujours actives.
- Un court-circuit peut provoquer des blessures, un incendie ou des dommages matériels.
- L'électrolyte des batteries peut causer de graves brûlures.
- La charge des batteries peut produire des gaz explosifs comme l'hydrogène.
- Une surcharge peut également libérer ces gaz.
- Les batteries sont lourdes et leur manipulation peut provoquer entorses ou blessures.
- Une mauvaise ventilation peut entraîner l'accumulation de gaz dangereux.
- Un contact avec l'eau ou l'humidité peut provoquer un choc électrique ou un court-circuit **[15],[18].**

II.6. Précautions de sécurité

- Avant toute intervention, assurer que la consignation est faite proprement et en toute sécurité
- Utiliser des outils isolés et un tapis de caoutchouc et retirer tous les objets métalliques avant intervention.
- Porter gants et lunettes de protection.
- Manipuler les batteries avec soin, toujours en position verticale et utiliser des supports ou une aide pour lever les batteries lourdes en appliquant des techniques de levage appropriées.
- Éviter de fumer, les flammes, les étincelles et les vêtements statiques.
- Vérifier la ventilation pour éviter l'accumulation de gaz.
- S'assurer que la zone est sèche et sans humidité.
- Remettre et verrouiller tous les capots une fois la tâche terminée **[15],[18].**

II.7. Différentes technologies des systèmes UPS

Le choix d'un UPS dépendait de la puissance de la charge et de la fiabilité recherchée dans son fonctionnement **[13],[14],[16].**

II.7.1. Off-line

En présence de réseau d'alimentation, la sortie est exactement égale à l'entrée. L'onduleur intervient seulement quand il manque du courant à l'entrée en alimentant la charge avec l'onduleur, lui-même alimenté par les batteries.

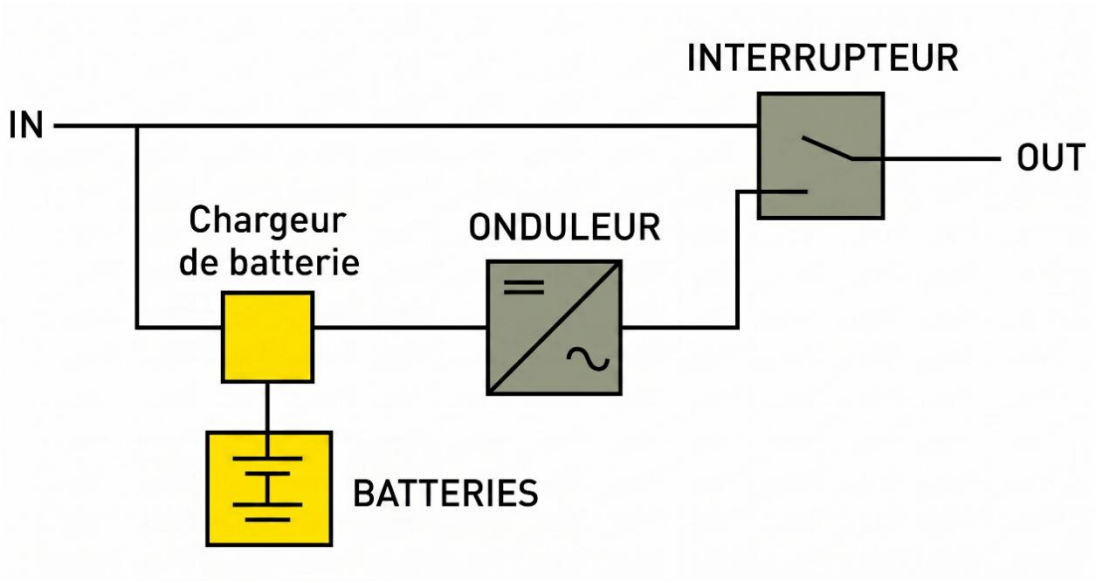


Fig. II. 5. Système off-line

II.7.2. Line interactive

En présence de réseau d'alimentation, entrée et sortie sont séparées par un circuit de filtrage et une stabilisation (AVR : Automatic Voltage Regulator) mais une partie des perturbations ou variations de forme d'onde, possibles en entrée, peuvent se retrouver en sortie. Comme dans l'Off line, au moment du manque de réseau, la sortie est branchée à l'inverseur, lui-même alimenté par les batteries

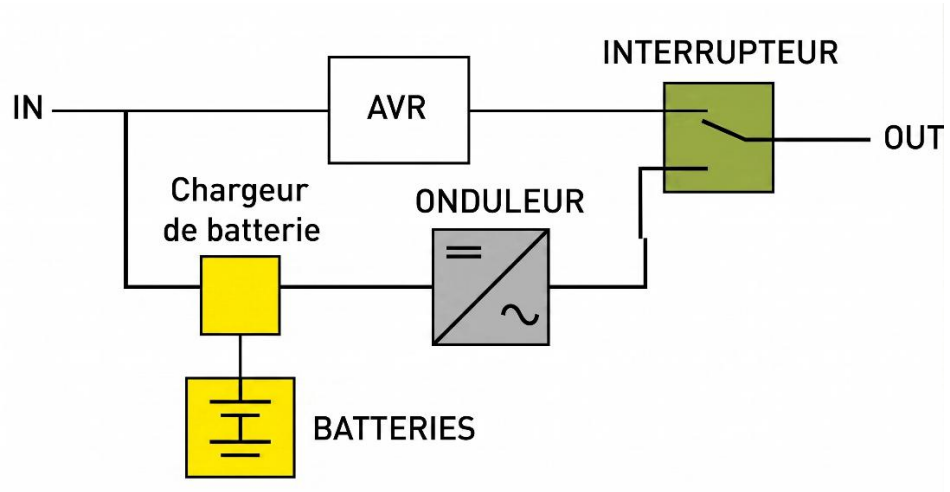


Fig. II. 6. Système interactif

II.7.3. On line double conversion

Le signal d'entrée est d'abord redressé en courant continu, puis reconverti en courant alternatif par l'intermédiaire d'un pont onduleur. Ainsi, la forme d'onde du courant de sortie est totalement indépendante de l'entrée. Toutes les perturbations potentielles du réseau sont éliminées. Il n'y a pas de phénomène transitoire ou d'interruption d'alimentation de la charge lors du passage sur batterie car la sortie est toujours alimentée par le pont onduleur. En cas de surcharges et d'éventuels problèmes internes, ce type d'ASI dispose d'un by-pass automatique qui garantit l'alimentation de la charge en la commutant directement sur le réseau.

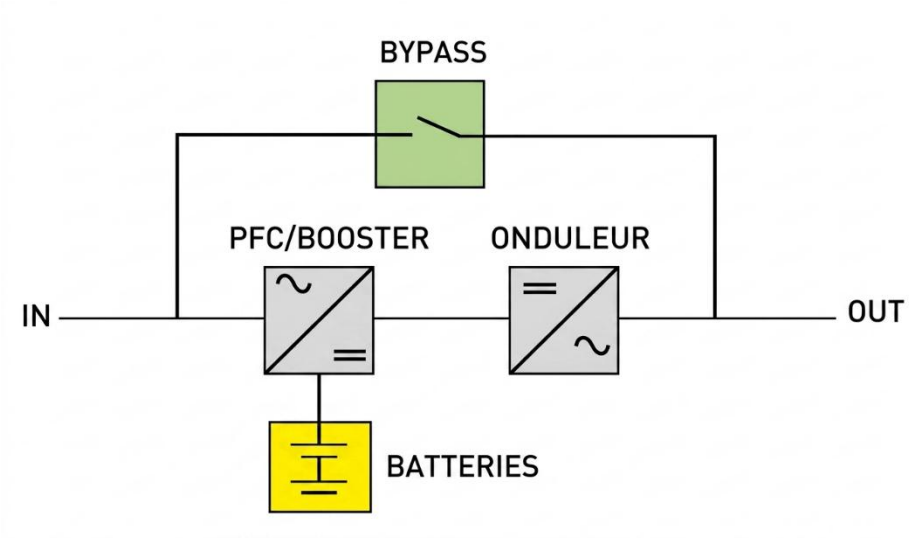


Fig. II. 7. Système Online

II.8. Schéma de principe

- Il est divisé en deux parties **[20],[21]** :
- Partie raccordement
- Partie système

Ces deux parties sont physiquement isolées pour faire l'entretien.

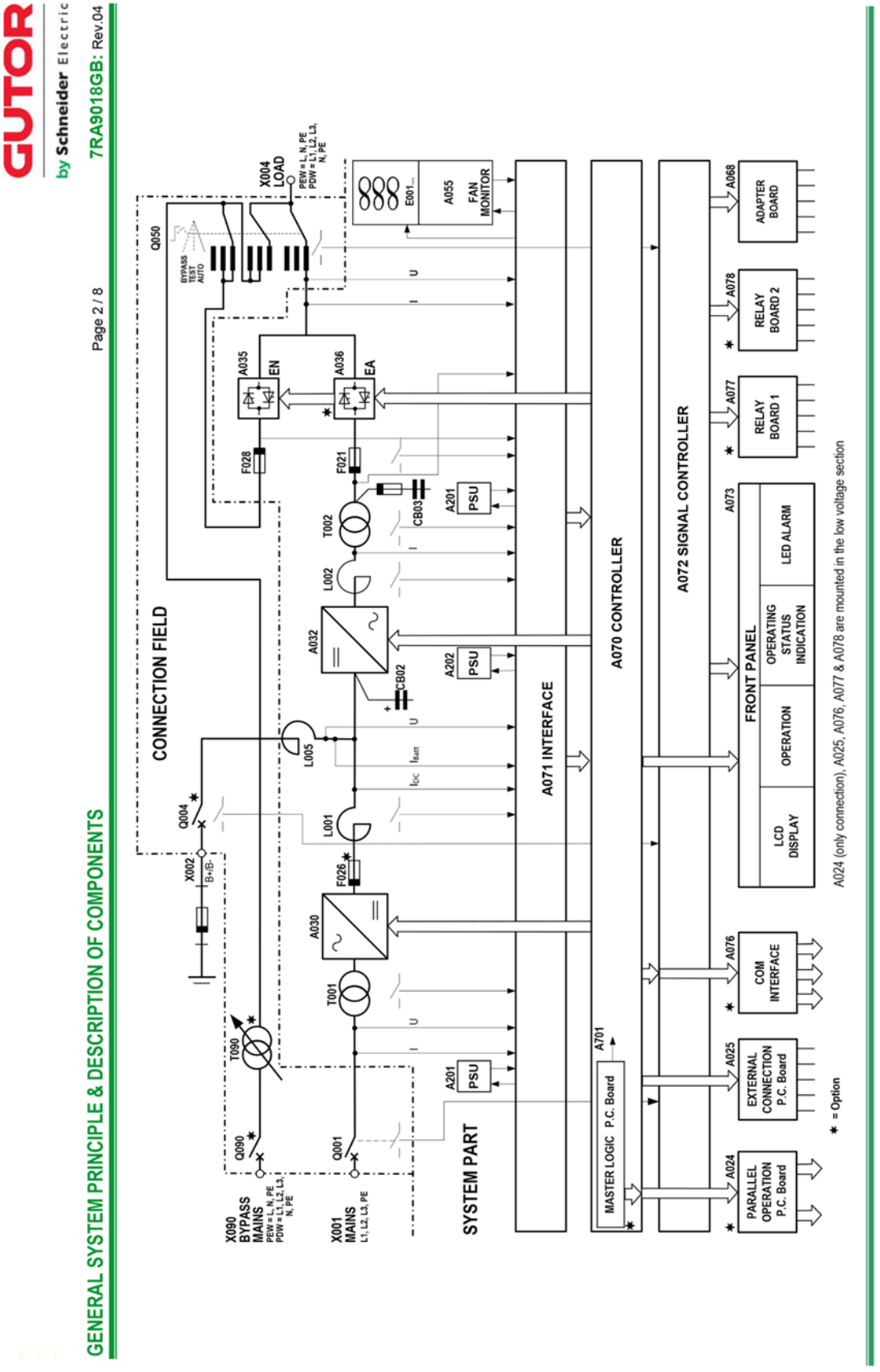


Fig. II. 8. Schéma de principe.

II.8.1. Explication des composants dans le schéma [20],[21]

II.8.1.1. Partie raccordement

REPE	DESIGNATIONS	EXPLICATIONS
X090	Bornes du secteur	Pour la connexion du secteur by-pass. Dans les systèmes triphasés un ensemble de bornes pour des secteurs du redresseur et du by-pass sont possible.
Q090	Disjoncteur de by-pass	Pour protection et isolement de l'entrée du circuit by-pass.
T090	Transformateur de by-pass	Pour l'isolement galvanique entre l'entrée du secteur by-pass et la charge. Il est également installé dans le cas où la tension de l'entrée du secteur by-pass est différente par rapport à la tension de sortie.
Q028	Interrupteur – sectionneur	Pour l'isolement du commutateur statique EN pour faire les travaux de réparation et d'entretien. Dans notre système avec commutateur by-pass manuel Q050 trois positions la fonction de Q028 est intégrée dans le commutateur by-pass manuel.
Q050	Commutateur de by-pass manuel 3positions	Avec ce commutateur avec contact à chevauchement (make-before-break) il est possible d'isoler la «Partie de Système» pour faire les travaux de réparation et d'entretien. Ce commutateur possède 3 positions de commutation: Auto : A cette position la charge est fournie à partir du système (onduleur ou by-pass statique). Test : A cette position la charge est fournie directement à partir du secteur by-pass et le système ASC peut être testé sans déranger les consommateurs à la barre collectrice protégés. By-pass : A cette position la charge est fournie Directement à Partir du secteur by-pass. Le commutateur statique est Isolé du secteur by-pass. Pour un isolement total de la «Partie système» Q001 et Q004 doivent être ouverts.
X001	Connecteur du	Pour le raccordement du secteur redresseur

	Secteur redresseur	(L1, L2, L3, N, PE).
Q001	Disjoncteur du secteur Redresseur	Pour la séparation de l'entrée du secteur redresseur et sa protection.
X002	Connecteur des batteries	Pour le raccordement du pôle positif (B+) et négatif (B-) De la batterie.
Q004	Disjoncteur batteries	Disjoncteur batteries.
X004	Connecteur de charge	Pour raccordement de la charge.
A024	Carte pour la mise en parallèle	Utilisée quand deux unités ou plus (jusqu' au maximum neuf unités) sont reliés en parallèle. ➢ Communique entre les différentes unités, afin de garantir que chaque unité sait en quel mode d'exploitation le système est actionné. ➢ Répartition de la charge entre les différentes unités. Chaque unité supporte la même partie proportionnelle de la charge connectée. Seulement la connexion est placée dans la «Partie de raccordement», la carte à circuits imprimés est placée dans la «Partie de système».
A025	Carte pour connexion externe	Elle est une partie de l'interface à l'environnement. Les informations et les fonctions suivantes sont Disponibles: <u>SORTIE</u> • Relais d'alarme commune: retard de 5 sec (programmable de 0 à 327 sec). • Relais de marche sur batterie: retard de 30 sec • Système en by-pass statique EN, relais. • Blocage du commutateur by-pass externe, relais. <u>ENTREE</u> • Tension de charge de batterie à compensation thermique. • Marche /Arrêt à distance. • Arrêt d'urgence.
A076	Interface de communication	Cette interface se compose: • d'une sortie sérielle RS232. • d'un circuit fermé sériel RS232. • 4 relais.
A077	Carte à relais « 16 »	Tous les relais d'alarme sont «à sûreté intégrée», c.-A-d. Dans le cas d'une alarme les relais sont en

		Position sans tension. • Défaut secteur Redresseur. • CC hors tolérance. • Défaut fusible Redresseur. • Batterie déchargée. • Défaut à la terre CC. • Défaut fusible Onduleur. • Défaut secteur By-pass. • Surchauffe. • Défaut ventilation. • Défaut alimentation aux.
A078	Carte à relais « 16 »	Tous les relais d'alarme sont «à sûreté intégrée», c.-à-d. Dans le cas d'une alarme les relais sont en Position sans tension. • EA bloqué. • EN bloqué. • By-pass manuel End. • Asynchrone. • Surcharge OND/ by-pass. • Défaut Onduleur. • Batterie déconnectée. • Marche sur Batterie. • Défaut Redresseur. • EN enclenché. • EA enclenché. • Onduleur en marche. • Charge forte. • Redresseur en marche.

Tableau. II. 4. : Partie raccordement

II.8.1.2. Partie système

REPER	DESIGNATIONS	EXPLICATIONS
T001	Transfo Entrée Redresseur	Transformateur triphasés pour l'adaptation de la Tension du secteur redresseur à la valeur adéquate.
A030	Pont thyristors commandé '6'	Pont commandé hexa à thyristors pour la transformation de la tension alternative en une tension continue.
F026	Fusible ultra Rapide	Fusible de puissance à la sortie du redresseur en Pont commandé par thyristors.
L001	Self de lissage	Pour la filtration du courant continu.
L005	Self pour batterie	Pour la réduction de l'ondulation à courant continu, produit par l'onduleur monophasé dans la batterie.

CB02	Module condensateur CC	Pour la filtration du courant continu.
A032	INV à IGBT par sinus PWM	(TSM Transistor Switching Module = Module de commutation à transistors) / (PM Power Modul = Module de puissance) avec transistor ou IGBT, dépendant de la tension continue. L'onduleur transforme la tension continue en une tension alternative.
L002	Self de lissage	Filtre ensemble avec CB03 la sortie de PWM de l'onduleur pour maintenir un facteur de distorsion Non linéaire de qualité inférieure à la sortie du transformateur T002.
T002	Transfo de puissance sortie ond.	Isolement galvanique de la charge de la batterie et utilisé simultanément comme pièce du filtre. La proportion de transformation détermine en plus la tension de sortie.
F300	Fusible	Le module à condensateur c.a. CB03 est subdivisé en plusieurs sections. Chaque section est protégée A l'aide d'un fusible. Dans le cas d'un défaut dans une section, cette section sera isolée.
CB03	Module condensateur CA	Filtre ensemble avec L002 la sortie de PWM de l'onduleur pour maintenir un facteur de distorsion non linéaire de qualité inférieure à la sortie du transformateur T002.
F021	Fusible	Protège la charge contre un défaut fatal dans l'onduleur. Dans le cas d'un arrêt absolu possible dans l'onduleur le système changera en by-pass et le fusible F021 sera interrompu sans perte de tension de sortie. Une alarme est affichée sur la platine avant.
A035 (A 030)	Commutateur statique by-pass EN	Constitué de trois ensembles de thyristors de puissance en couplage antiparallèle. Le commutateur statique EN est utilisé pour transférer automatiquement la charge au by-pass, par exemple à la surcharge lourde ou si l'onduleur pour quelques autres raisons ne peut pas garder la tension de sortie à l'intérieur de la bande de tolérance; ou manuellement si l'opérateur a sélecte «By-pass» au moyen du clavier à effleurement. La

		Commutation automatique ou manuelle au by-pass a lieu seulement quand le secteur by-pass est à L'intérieur de la bande de tolérance, aussi bien tension comme fréquence.
F028	Fusible	Protection du commutateur by-pass statique A035 contre le court-circuit.
A035	Commutateur onduleur statique EA	Le commutateur statique à la sortie d'onduleur (appelée EA) peut être inséré. Pour les systèmes redondants avec l'ea une différence existe dans la fonction. Si une unité de système essaie pendant la marche redondante de commuter en «Etat d'attente», l'ea s'ouvre et l'onduleur est alors en exécution sans charge — sans EA l'onduleur se déclenche. Dans les systèmes avec un rendement plus élevé cette option peut exiger un agrandissement de système.
A201	Carte Alim interne	Elle est alimentée à partir du secteur redresseur ou du secteur by-pass. Cette alimentation d'énergie Est une partie du système interne redondante d'alimentation d'énergie, ainsi que A202 qui est Alimentée à partir de la batterie. Une des deux alimentations d'énergie internes est suffisante pour Alimenter le système. Dans le cas d'un défaut d'une des deux alimentations une alarme sera produite sur la platine avant.
A202	Carte Alim interne	Elle est alimentée à partir de la barre omnibus. Cette alimentation d'énergie est une partie du système interne redondante avec l'a201 qui est alimentée à partir du redresseur ou du by-pass. Une des deux alimentations d'énergie internes est suffisante pour alimenter le système. Dans le cas d'un défaut d'une des deux alimentations une alarme sera produite sur la platine avant.
A001	Filtre Parasites (Interférence de Radiofréquence — RFI) et carte A fusibles	La section «RFI» garantit que le système est à l'intérieur de la bande de tolérance. Elle autorise les perturbations à haute fréquence et les guide à l'entrée et à la sortie des câbles.
		La Carte à fusibles protège les câbles de

A002	Carte à fusibles	Commande, l'alimentation d'énergie interne et l'interface contre les courts-circuits.
A004	Filtre Carte Parasites (Interférence de Radiofréquence — RFI) et carte à fusibles c.a.	La section «RFI» garantit que le système est à l'intérieur de la bande de tolérance. Elle autorise les perturbations à haute fréquence et les guide à l'entrée et à la sortie des câbles.
A006	Filtre Parasites (Interférence de Radiofréquence — RFI) et carte A fusibles c.a.	La section «RFI» garantit que le système est à l'intérieur de la bande de tolérance. Elle autorise Les perturbations à haute fréquence et les guide à l'entrée et à la sortie des câbles.
A005	Filtre Parasites (Interférence de Radiofréquence — RFI) et carte à fusibles c.a.	La section «RFI» garantit que le système est à L'intérieur de la bande de tolérance. Elle autorise les perturbations à haute fréquence et les guide à l'entrée et à la sortie des câbles.
A055 E001…	Carte pour système de ventilation	Se compose: • d'une carte à circuits imprimés du transformateur de ventilateur pour adapter la tension de sortie aux ventilateurs. • des ventilateurs avec le générateur de Hall interne pour surveiller le nombre de révolutions. D'une surveillance de ventilateur, qui surveille le nombre : De tours de chaque ventilateur. Si le nombre de tours. Tombe au-dessous de la valeur préréglée une alarme se Produira.
A071 A071	Carte d'interface	Cette carte: • transforme la tension du secteur redresseur, la tension by-pass et la tension de sortie en une valeur standard plus basse pour la commande «Controller» et assure une isolation galvanique entre le secteur / la sortie et le «Controller». • transforme la tension continue en une valeur standard plus basse pour la commande «Controller» et assure une isolation galvanique entre ce. / batterie et le «Controller». • est l'interface entre les câbles de commande individuels p.ex. Thermo rupteur dans les transformateurs et des nappes qui se conduisent au «Controller». • distribue le courant des alimentations d'énergie

		Internes aux modules différents.
A070	Carte de commande et contrôle	Pour: • la commande du redresseur. • la commande du commutateur statique. • la commande de l'onduleur. • la surveillance p.ex. De la tension, du courant, des Alarmes. • la communication avec la platine avant.
A072	Carte de commande et signalisation	Commande: • les leds sur la platine avant. Les leds de l'affichage de l'état d'exploitation Indiquent quelle partie du système qui alimente la charge et celle qui est en mode d'attente. Les leds d'alarme indiquent les défauts possibles en tant que défaut primaire ou défaut séquentiel. Pour un diagnostic les alarmes dans l'affichage peuvent être affichées en détail. • les relais d'alarme.
A073	Platine avant	Elle est constituée: • d'un écran d'affichage digital (Unité de display). • d'un clavier à effleurement (Commande). • d'une indication des états d'exploitation. • d'une indication des alarmes.

Tableau. II. 5. : Partie système

II.9. Mode de fonctionnement de l'UPS [19],[22]

Le système UPS peut fonctionner en plusieurs modes d'opération et cela tout dépend de la disponibilité des sections de système et le choix d'utilisateur.

II.9.1. Opération normale

Dans ce mode d'opération le commutateur manuel de by-pass se trouve à la position « auto», le redresseur est alimente par le réseau électrique et fourni l'énergie en courant continu a l'onduleur qui est secoure en même temps par des batteries.

L'onduleur converti le courant continu « DC » en courant alternatif « AC » pour alimenter les charges électriques.

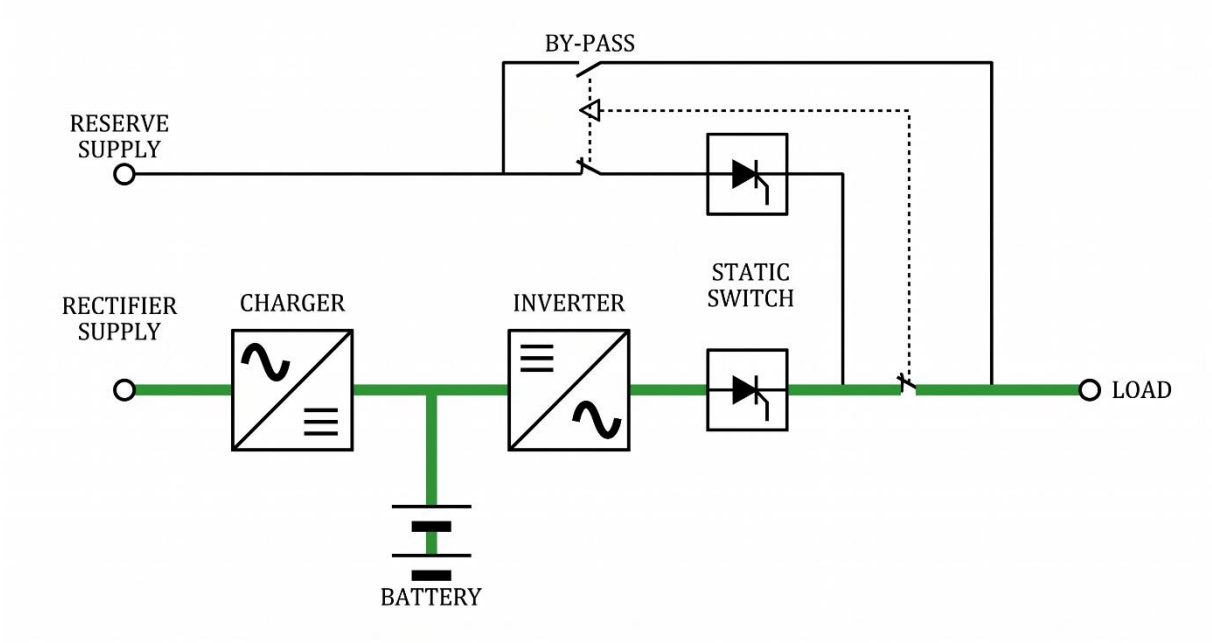


Fig. II.9. Mode normale

II.9.2. Opération batterie

Dans le mode toujours le commutateur manuel de by-pass se trouve à la position « auto », en l'absence du réseau ou s'il est hors tolérance, c'est la batterie qui fournit l'énergie à l'onduleur pour qu'il puisse alimenter les charges électriques. L'utilisateur est informe par une alarme affichée.

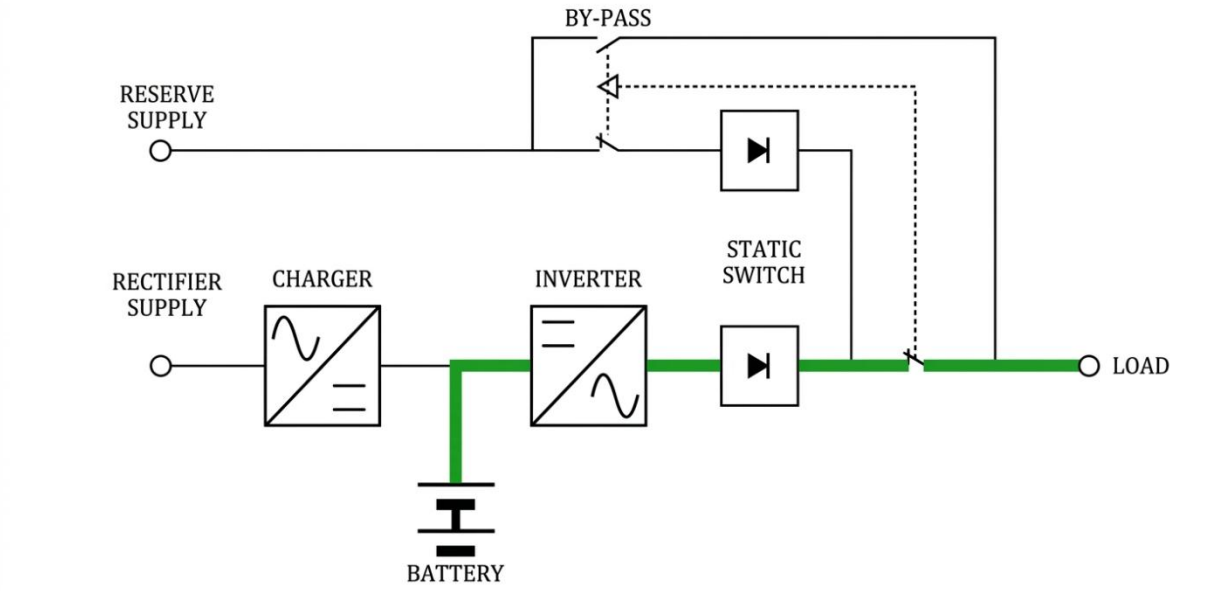


Fig. II. 10. Mode battrie

II.9.3. Opération by-pass

Dans cette situation le commutateur manuel de by-pass se trouve toujours à la position « auto», s'il y aura un défaut sur onduleur (surcharge ou arrêt) l'UPS transfert la charge automatiquement sur le réseau par le by-pass principal via le Switch statique « en » l'utilisateur est toujours informe par une alarme affichée.

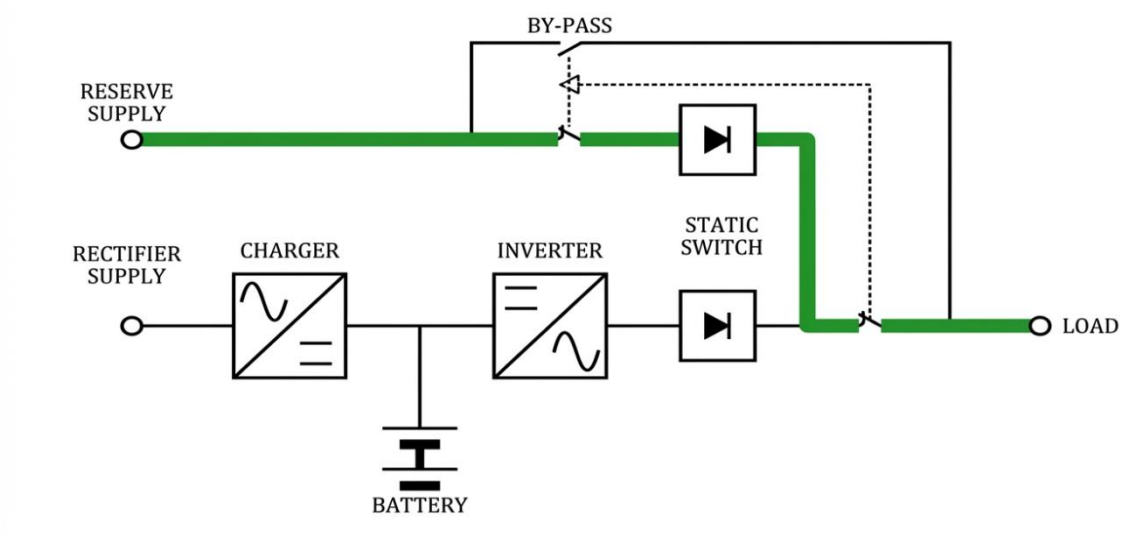


Fig. II.11. Mode by-pass

II.9.4. By-pass manuel en service

L'UPS est conçu avec un by-pass de maintenance qui permet un transfert de la charge vers le réseau sans interruption et de faire la maintenance de tous les composants en toute sécurité on suit la procédure de commutation de système.

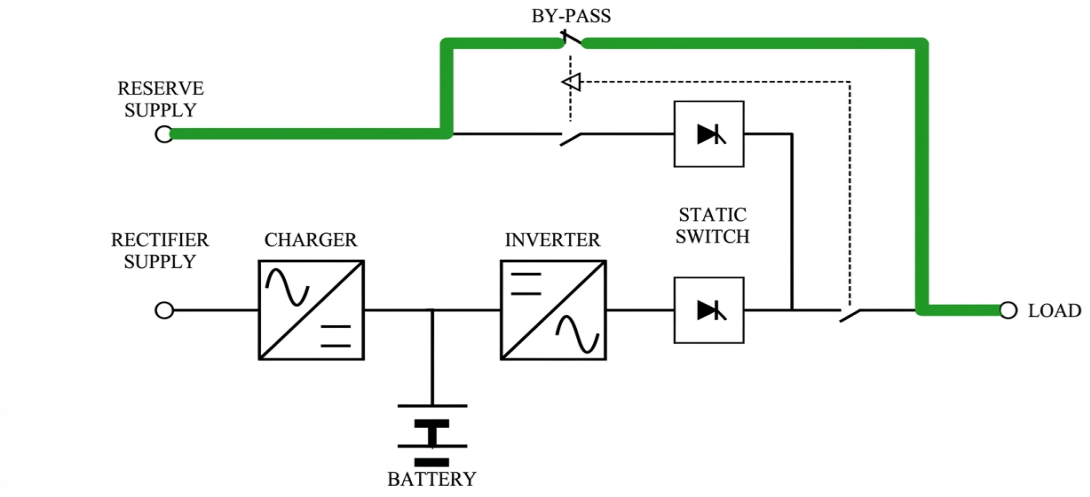


Fig. II.12. Mode by pass manuel en service

II.10. Maintenance de l'UPS

II.10.1. Définition

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou a le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise [15].

- Dans les meilleures conditions de sécurité
- Au meilleur coût optimal

II.10.2. Type de maintenance

II.10.2.1. Maintenance préventive [19],[22]

Toutes les maintenances préventives de l'équipement UPS et batterie sont planifiées de la manière suivante :

- **Inspection mensuelle des batteries**

1. Vérification de tension de la batterie.
2. Vérification de niveau de l'électrolyte.
3. Vérification de serrage des connexions.
4. Nettoyage de l'ensemble batterie et support.
5. Vérification de l'extracteur ventilateur de la salle batterie.

- **Inspection semestrielle des batteries**

1. Taches de l'inspection mensuelle.
2. Teste de décharge des batteries et appliquer la charge à fond (Boost charge).
3. Grisage des bornes de connexion.

- **Inspection semestrielle de L'UPS**

1. Identification de tag d'équipement.
2. Vérification des paramètres (tension ; courant ; fréquence).
3. Enregistrement des grandeurs électrique sur le document de travail à archiver.
4. Vérification de fonctionnement de ventilation.
5. Teste des LED d'indication.

➢ **Inspection annuelle de L'UPS**

1. Taches de l'inspection semestrielle.
2. Mettre le système en manuelle by-pass maintenance.
3. Inspection visuelle des éléments de puissance de l'équipement.

II.10.2.2. Maintenance corrective [19],[22]

Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise , pour intervenir sur l'équipement dans une maintenance curative on doit le mettre dans le mode manuelle by-pass.

II.10.3. Dérangement sur redresseur et onduleur [19],[22]

Dérangements	Raison
Le redresseur ne se met pas En marche	-l'interrupteur-sectionneur d'entrée de redresseur Q001 ouvert. -Tension du secteur redresseur hors tolérance ou l'ordre des phases est incorrect. - un surchauffe des composants du redresseur. -Connecteur a fiches de contrôle de pont de redresseur.
L'onduleur ne se met pas En marche	-Tension DC. Hors tolérance. -Tension d'alimentation pour I' impulsion manque ou elle est hors tolérance. - Un surchauffe des composants du l'onduleur. - Connecteur a fiches de contrôle de bloc onduleur.

Tableau. II. 6. Dérangement sur redresseur et onduleur

II.10.4. Diagnostic des alarmes [19],[22]

Alarmes	Cause de défaut	Paramètre a vérification	Eléments en question
Défaut secteur Redresseur	-Séquence de phases non correcte -Tension de secteur hors des tolérances -Fréquence de secteur hors des tolérances	-Mesurer la tension d'entrée du redresseur -Mesurer la fréquence d'entrée du redresseur	-Carte de circuits imprimés de fusibles A001 -Interface A071 -Controller A070 -interrupteur -sectionneur d'entrée redress Q001

	-Absence de phase		
Défaut redresseur	- alimentation de contrôle -Surchauffe des composants du redresseur -chute de tension DC (Seuil d'alarme)	-Mesurer la tension de contrôle -Vérifier si le secteur redresseur est en ordre	-Ventilateurs -Interface A071 -Controller A070 -Carte à fusible
DC hors tolerance	-Redresseur hors service -Batterie déchargée ou déconnectée -Disjoncteur de Batt. Q005 ou l'interrupteur-sect. Batt. Q004 est ouvert -surtension DC ou min tension DC -défaut redresseur	-Mesurer la tension continue -Vérifier le disjoncteur de Batt. Q005 et Interrupteur-sect. Batt. Q004 -Mesurer la tension de batterie	- Carte à fusible Disjoncteur de Batt. Q005 / Interrupteur-sect. Batt.Q004 -Eléments Batteries -Interface A071 - Controller A070
Marche sur batteries	-Défaut redresseur -Onduleur alimenté par les batteries	Mesurer la tension d'entrée du redresseur	-Interrupteur-sectionneur d'entrée redresseur Q001 -fusible (F001.F002.F003)
Batteries déchargé	-Un ou plusieurs éléments de la batterie défectueux -Batterie déchargée ou défectueuse -chute de Tension des batteries -Capacité de batterie nulle	-Vérifier les éléments individuels de la batterie -Mesurer la tension de batterie -Mesurer la tension d'entrée du redresseur	-Eléments de la batterie - Carte a fusibles
		-Vérifier le disjoncteur de batt. Q005 / Interrupteur-	-Disjoncteur de batt. Q005 / Interrupteur-sect. Batt.

Batteries Déconnecté	-Disjoncteur de batt. Q005 / Interrupteur-sect. Batt. Q004 est ouvert -Batteries déconnecté du system	sect. Batt. Q004 -Mesurer la tension continue	Q004 -Batterie -Carte de raccordement Externe A025
Défaut de Terre DC	- un défaut de terre sur le pole positif (+) ou le pole Négatif de circuit DC	Isolation des batteries	-Batterie - Circuit DC - Carte a fusibles A002 Relais de terre A014
Défaut onduleur	- Tension de sortie hors tolérance -- un surchauffe des composants du l'onduleur	Mesurer la tension de sortie au niveau de fusible F021	-F021 -Interface A071 -controlleura070 -Ventilateurs
Surcharge De by-pass	Surintensité para port au courant nominal de système	Mesurer le courant de charge	Transformateur du courant P013
Défaut fusible Onduleur	Fusibles de puissance F021	Vérifier le fusible F021,	Fusible F021
Asynchrone	-Fréquence du secteur by-pass hors tolérance -Onduleur asynchrone par rapport au secteur by-pass	Mesurer la tension entre le by-pass et la sortie de système	Controller A070
Défaut sur le by-pass	Tension ou fréquence du secteur by-pass hors tolérance	- Mesurer la tension du secteur by-pass statique EN	-Carte a fusibles A006 -Interface A071

By-pass Manuel ON	Commutateur by-pass manuel Q050 n'est pas en position «AUTO»	Vérifier la position du commutateur by-pass manuel Q050	Commutateur de by- passe Manuel Q050
EN Bloque	-La tension du secteur by-pass ou la fréquence hors tolérance -Surchauffe de commutateur statique EN	Mesurer la tension du secteur by-pass	Commutateur statique EN
Surchauffe	-Dissipateur de chaleur des unîtes de puissance trop chaud -température d'ambiante élevé Manque de refroidissement	-Mesurer la température -Contrôler le refroidissement de système	Thermostats des modules Interface A071
Défaut ventilation	-Ventilateurs -Surveillance des ventilateurs -Alimentation des ventilateurs	-Vérifier I 'écoulement d'air -Vérifier l'alimentation des ventilateurs	Surveillance des ventilateurs A055 Carte a fusibles A005
Défaut d'alimentation Aux	-Alimentation -Sources d'alimentation AC et DC -Carte a fusibles A001 + A006	-Mesurer la tension de sortie -Mesurer la tension d'alimentation AC et DC	Transformateur de la PSU T005 Transformateur de la PSU T004 Cartes à fusibles A001, A006, A002.

Tableau. II. 7. Diagnostic des alarmes

II.11. Conclusion

L'alimentation sans interruption (ASI) constitue un équipement essentiel garantissant la continuité et la qualité de l'alimentation électrique des installations critiques. Reconnue pour sa grande fiabilité et son taux de défaillance relativement faible, elle assure une protection efficace contre les coupures, les microcoupures et les perturbations du réseau électrique. Toutefois, lorsqu'une panne survient, elle est généralement liée à la dégradation ou au vieillissement des batteries, qui représentent l'élément le plus sensible du système. C'est pourquoi la maintenance préventive joue un rôle primordial dans la préservation des performances et de la disponibilité de l'ASI. Les recommandations des fabricants préconisent notamment des inspections régulières et des vérifications mensuelles des batteries afin de contrôler leur état de charge, leur capacité, leur température de fonctionnement ainsi que l'intégrité de leurs connexions. Ces opérations permettent de détecter précocement toute anomalie et de garantir un fonctionnement optimal du système en cas de défaillance du réseau électrique.

Chapitre III
Modélisation et simulation et Résultats

Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons la modélisation et la simulation d'une alimentation sans interruption (ASI) réalisée sous l'environnement MATLAB/Simulink [23]. Le système étudié est constitué d'une source triphasée, d'un redresseur triphasé non commandé, d'un bus continu, d'une batterie, d'un onduleur triphasé commandé par la technique MLI et d'un filtre LC placé à la sortie de l'onduleur [25] ,[26],[27] . L'objectif principal de cette simulation est d'étudier le fonctionnement global de l'ASI et de vérifier le rôle de chaque partie dans la conversion et la continuité de l'énergie électrique.

Dans notre travail, la source triphasée fournit une tension composée de 400 V entre phases avec une fréquence de 50 Hz. Cette tension est redressée afin d'obtenir une tension continue qui alimente ensuite l'onduleur. La batterie est utilisée comme source de secours [25], tandis que l'onduleur permet de convertir la tension continue en une tension alternative triphasée destinée à alimenter la charge.

III.1. Modélisation de la source triphasée

La source d'alimentation utilisée dans cette simulation est une source triphasée programmable issue de la bibliothèque Simscape Electrical [24]. Elle représente le réseau électrique qui alimente le système ASI. Le neutre de la source est relié à la référence électrique du circuit, tandis que les trois phases alimentent directement le redresseur triphasé.

Les paramètres de la source sont choisis afin de représenter un réseau triphasé équilibré de tension composée 400 V et de fréquence 50 Hz.

Paramètre	**Valeur**
Tension composée	400 V
Phase	0°
Fréquence	50 Hz

Tableau. III. 8: Paramètres de la source triphasée programmable

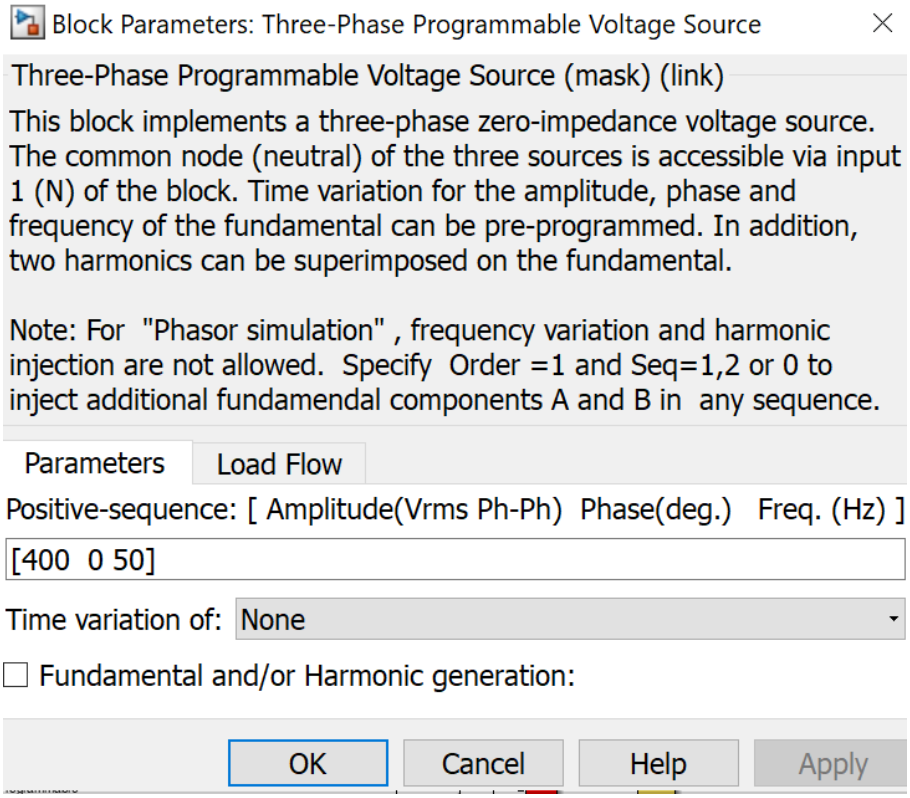


Fig. III.1 : Paramètres de la source triphasée programmable

III.2. Modélisation du redresseur

Dans notre étude, on utilise un redresseur triphasé non commandé à double alternance. Ce redresseur est réalisé à l'aide d'un pont de Graëtz triphasé constitué de six diodes [26],[27],[29]. Son rôle est de convertir la tension alternative triphasée fournie par la source en une tension continue au niveau du bus continu.

Le redresseur est alimenté par les trois phases PH1, PH2 et PH3. Les sorties du redresseur sont reliées au bus continu à travers deux bornes : la borne positive (+) et la borne négative (-). Le redressement est assuré automatiquement par les diodes selon les alternances des tensions triphasées [26],[29] .

rectifier

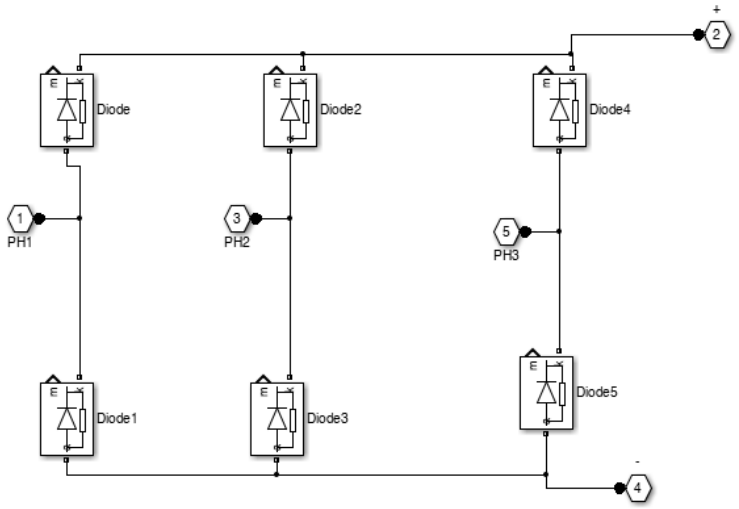


Fig. III.2 : Schéma du redresseur triphasé à diodes

Le bus continu est constitué d'un condensateur placé à la sortie du redresseur. Ce condensateur permet de lisser la tension redressée et de réduire les ondulations avant l'alimentation de l'onduleur.

Élément	Valeur
Condensateur du bus continu Cdc	2200 µF

Tableau. III.9 : Paramètres du condensateur du bus continu

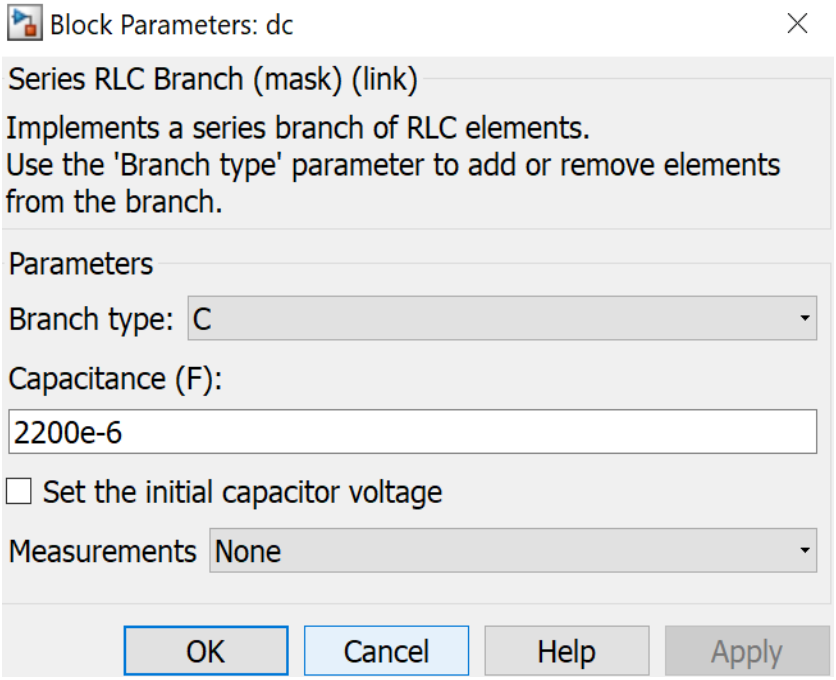


Fig. III.3 . Paramètres du condensateur du bus continu

III.3. Batterie

La batterie est un élément essentiel dans un système d'alimentation sans interruption [25]. Elle permet de stocker l'énergie électrique et de la restituer lorsque la source principale devient indisponible. Dans notre système, la batterie est connectée au bus continu afin d'assurer l'alimentation de l'onduleur en cas de besoin.

La batterie utilisée dans notre simulation est de type Nickel-Metal-Hydride, modélisée en utilisant le bloc générique de batterie de MATLAB [26],[27],[29] .

III.3.1. La batterie en mode de charge

Les paramètres choisis sont donnés dans le tableau suivant:

Paramètre	Valeur
Type de batterie	Nickel-Metal-Hydride
Tension nominale	220 V
Capacité nominale	8 Ah
État de charge initial	20 %
Capacité maximale	8.6154 Ah

Tableau. III.10 : Paramètres de la batterie en mode de charge

La batterie peut fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'onduleur lorsque le réseau principal n'est pas disponible. Elle permet donc d'assurer la continuité de l'alimentation de la charge.

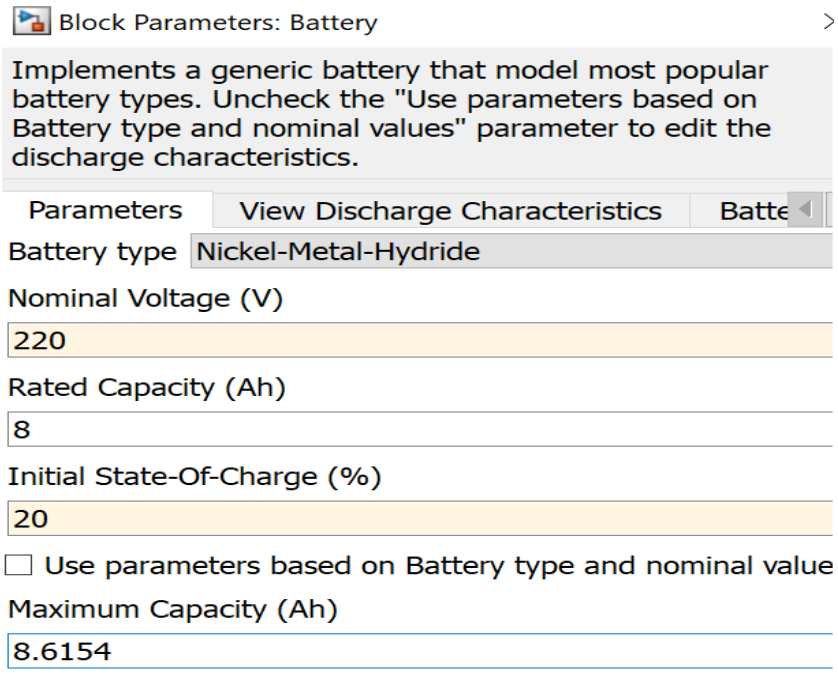


Fig. III.4 : Paramètres de la batterie La batterie en mode de charge

- **La batterie en mode (Décharge) :**

  Les parameters choices sont donnés dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeur
Type de batterie	Nickel-Metal-Hydride
Tension nominale	220 V
Capacité nominale	8 Ah
État de charge initial	100 %
Capacité maximale	8.6154 Ah

Tableau. III.11 : Paramètres de la batterie en mode Décharge

La batterie peut fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'onduleur lorsque le réseau principal n'est pas disponible. Elle permet donc d'assurer la continuité de l'alimentation de la charge.

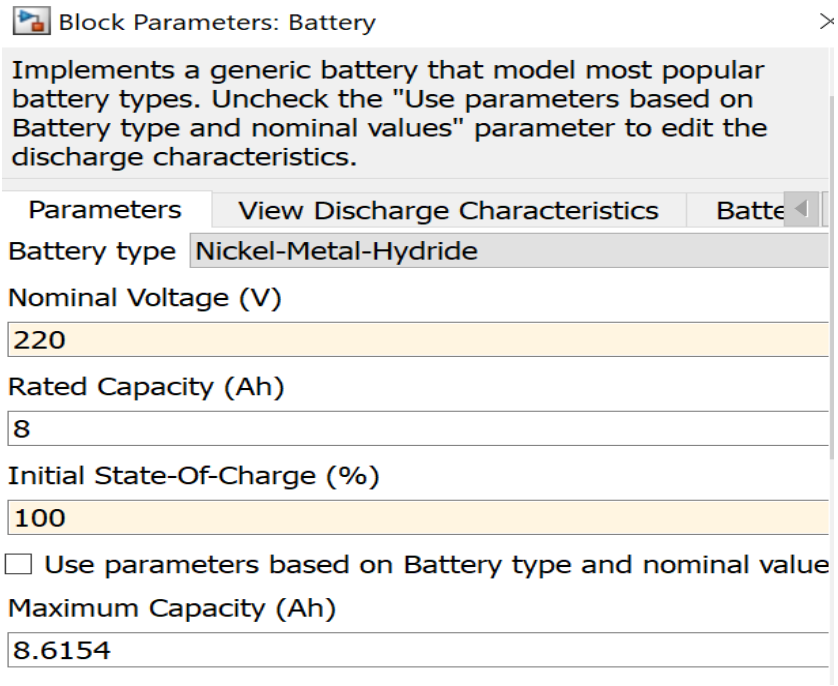


Fig. III.5 : Paramètres de la batterie en mode Décharge

III.4. Onduleur

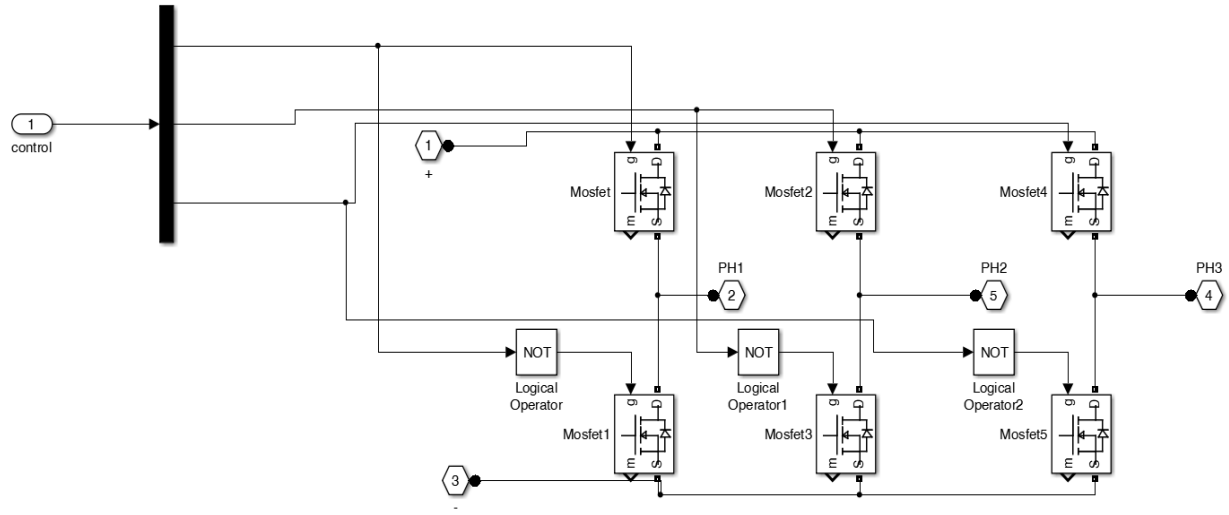


Fig. III.6 : Schéma de l'onduleur

L'onduleur est un convertisseur statique qui permet de transformer une tension continue en une tension alternative.

Dans notre travail, on utilise un onduleur triphasé commandé par la technique de modulation de largeur d'impulsion MLI.

L'onduleur est alimenté à partir du bus continu. Il reçoit les signaux de commande provenant du bloc de commande MLI. Les sorties de l'onduleur sont les trois phases IN1, IN2 et IN3 qui alimentent ensuite le filtre LC triphasé.

L'objectif de l'onduleur est de produire une tension alternative triphasée à partir de la tension continue. Cette tension doit être proche d'une forme sinusoïdale afin d'alimenter correctement la charge triphasée.

III.4.1. Commande MLI de l'onduleur

La commande MLI, appelée aussi PWM (Pulse Width Modulation), consiste à comparer trois signaux de référence sinusoïdaux avec un signal porteur [28],[30]. Cette comparaison permet de générer les impulsions nécessaires à la commande des interrupteurs de l'onduleur.

Dans notre simulation, la commande est réalisée à l'aide de trois signaux sinusoïdaux déphasés entre eux de 120°. Ces signaux représentent les trois références des phases A, B et C. Ils sont comparés avec une porteuse générée par un bloc Repeating Sequence .

Les signaux de référence sont comparés à la porteuse à l'aide de blocs Add et Relay. Lorsque le signal de référence est supérieur au signal porteur, la sortie du relais prend la valeur (1) Dans le cas contraire, elle prend la valeur 0.

Les impulsions obtenues sont ensuite regroupées par un multiplexeur afin de former le signal de commande envoyé vers l'onduleur.

Paramètre de la porteuse	**Valeur**
Valeurs de temps	[0 1/10000]
Valeurs de sortie	[0 1]
Fréquence de commutation	10000 Hz

Tableau. III.12 : Paramètres du bloc Répétitive Séquence

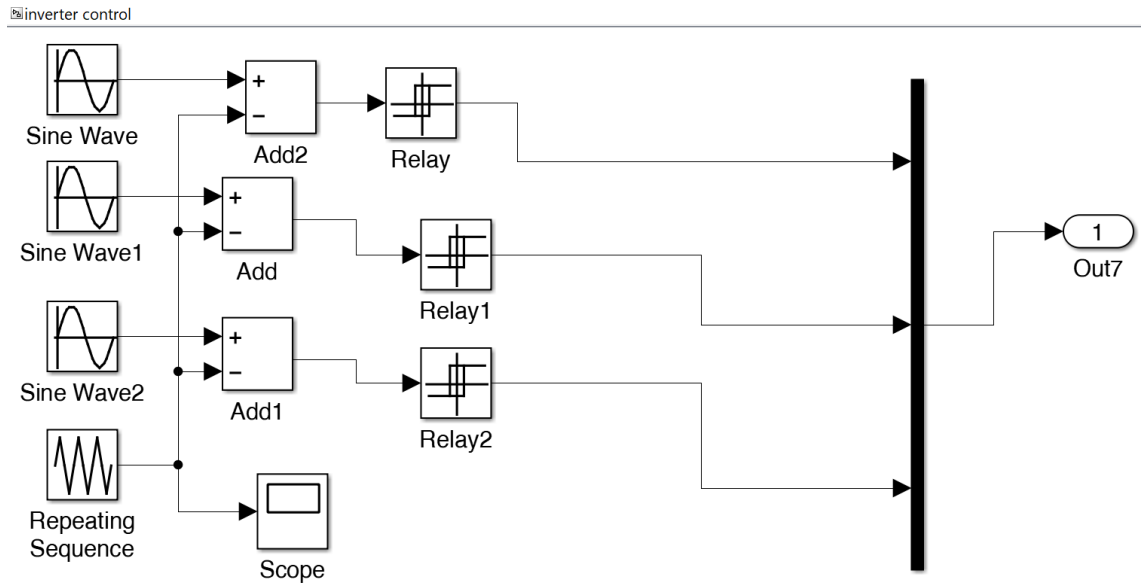


Fig. III.7 : Schéma de la commande MLI de l'onduleur

Les signaux de référence sont comparés à la porteuse à l'aide de blocs Add et Relay. Lorsque le signal de référence est supérieur au signal porteur, la sortie du relais prend la valeur (1) Dans le cas contraire, elle prend la valeur 0. Les impulsions obtenues sont ensuite regroupées par un multiplexeur afin de former le signal de commande envoyé vers l'onduleur.

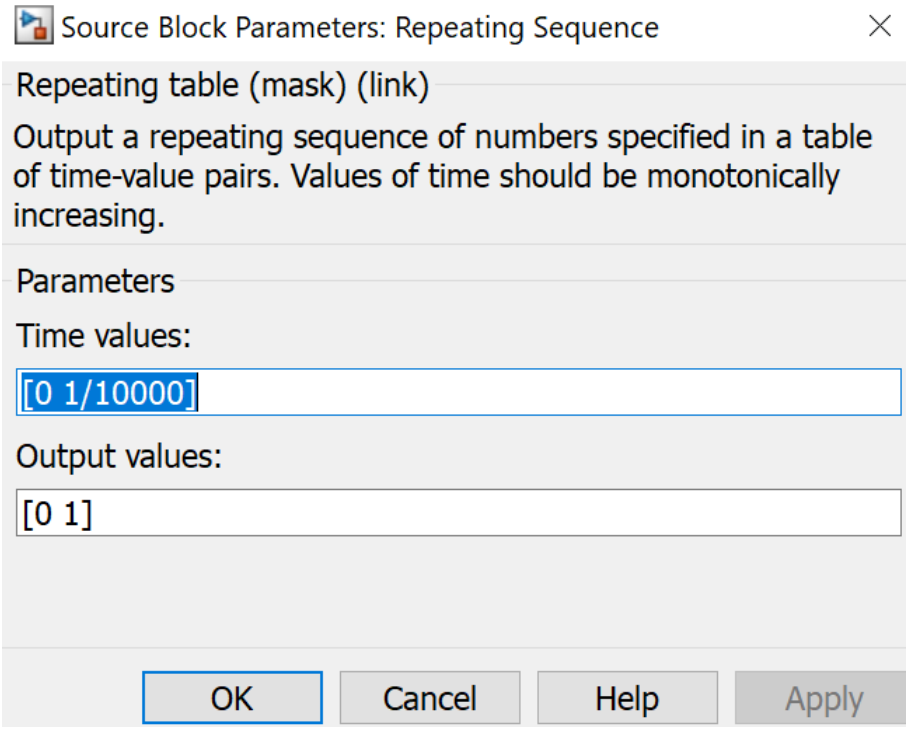


Fig. III.8 : Paramètres du bloc Repeating Sequence

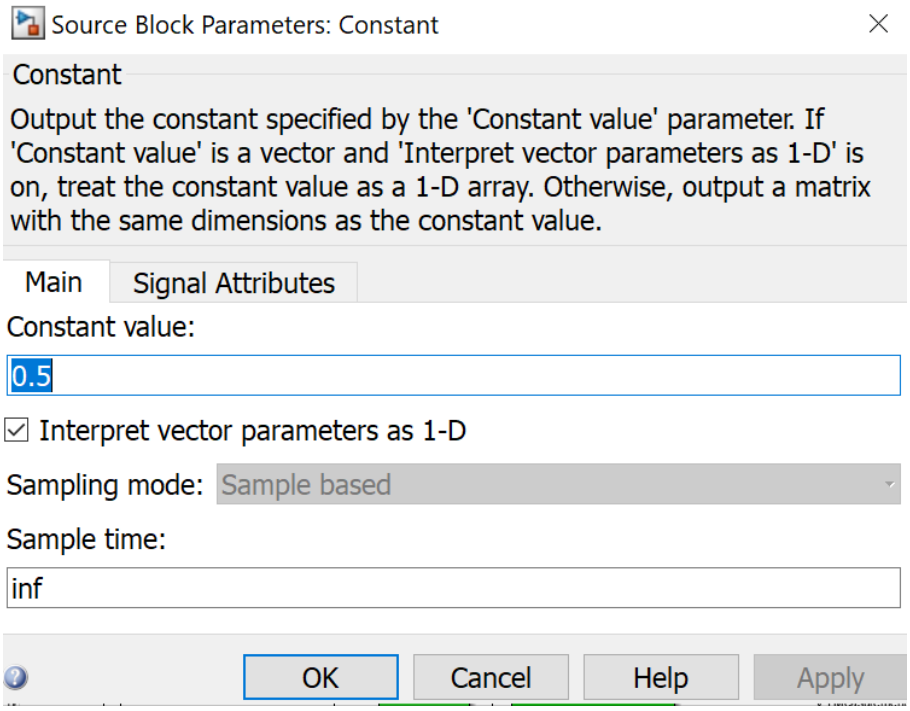


Fig. III.9 : Paramètre du bloc Constant

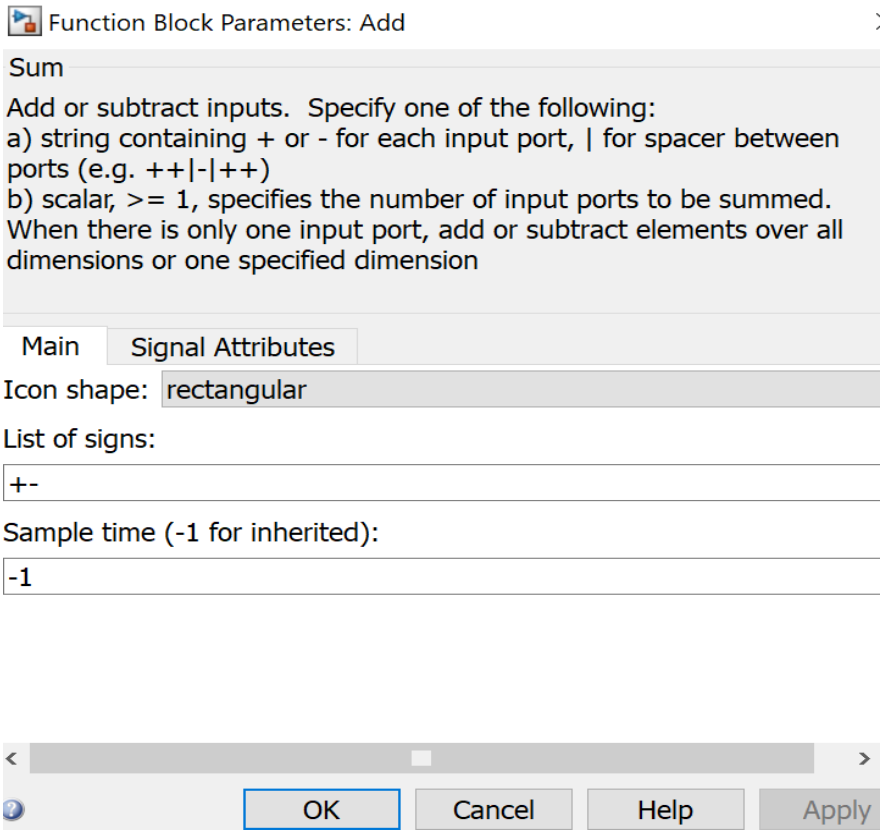


Fig. III.10 : Paramètres du bloc Add utilisé dans la comparaison

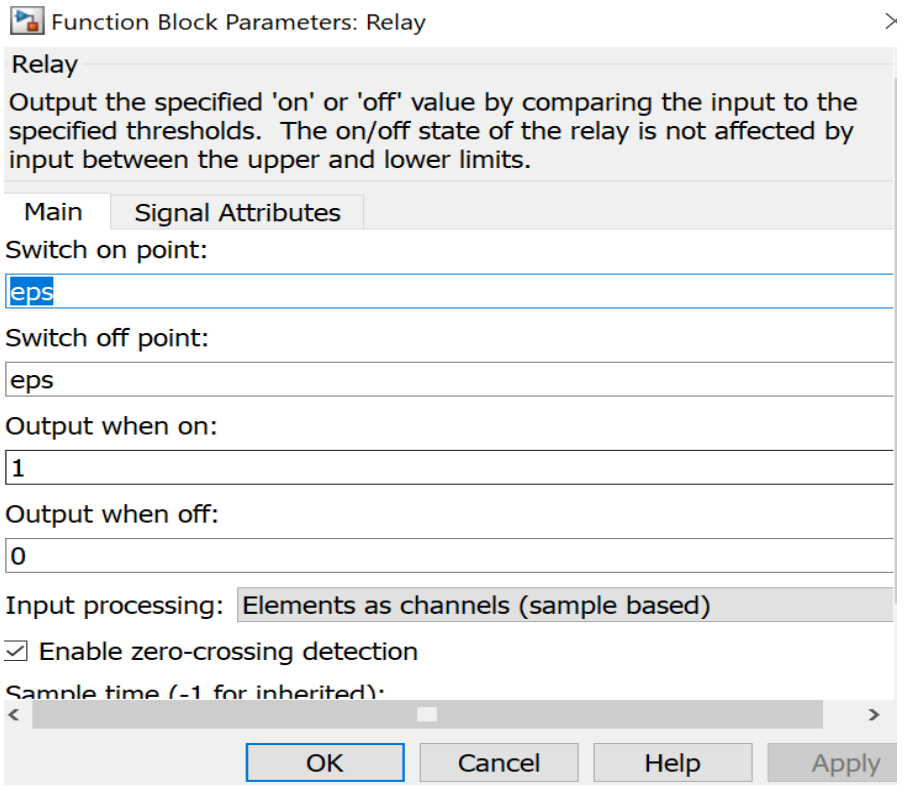


Fig. III.11 : Paramètres du bloc Relay

III.4.2. Principe de fonctionnement de l'onduleur MLI

Le fonctionnement de l'onduleur triphasé repose sur la commutation des interrupteurs électroniques. Dans notre cas, les interrupteurs sont commandés par les impulsions issues de la commande MLI. Chaque bras de l'onduleur est commandé de manière à produire une tension alternative triphasée .

La commande MLI permet de contrôler la valeur fondamentale de la tension de sortie et de déplacer les harmoniques vers des fréquences élevées .

Cela facilite leur filtrage à la sortie de l'onduleur. L'utilisation de la commande MLI présente plusieurs avantages :

- amélioration de la forme de la tension de sortie .
- réduction des harmoniques .
- possibilité de contrôler la valeur de la tension alternative .

III.5. Circuit de liaison continue

Dans notre modèle, un circuit de liaison continue est placé entre la partie redresseur-batterie et l'onduleur . Ce sous-système permet de contrôler le transfert de l'énergie vers le bus continu. Il est constitué d'un interrupteur commandé de type MOSFET, d'une diode, d'une inductance et d'un condensateur de sortie.

Le signal de commande appliqué au MOSFET permet d'assurer la circulation de l'énergie dans la liaison continue. Cette partie contribue à stabiliser la tension continue avant son application.

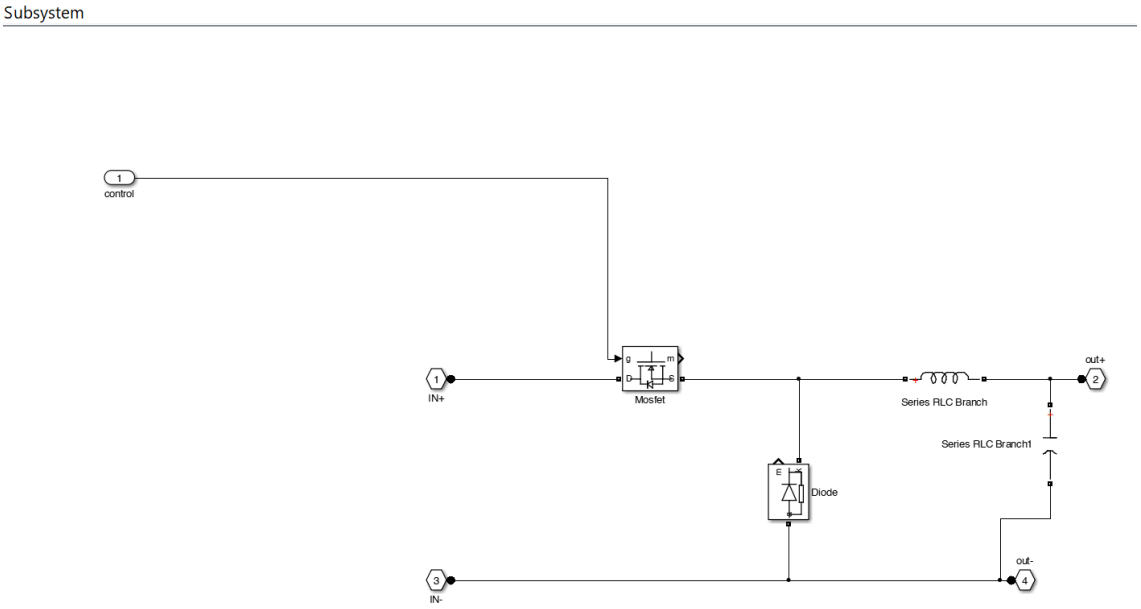


Fig. III.12 : Sous-système de liaison continue

III.6. Filtre LC de sortie

À la sortie de l'onduleur, on place un filtre LC triphasé. Ce filtre est constitué de trois inductances montées en série avec les trois phases et de trois condensateurs montés entre les phases et la référence commune.

Le rôle du filtre LC est de réduire les harmoniques générées par la commutation rapide de l'onduleur . Il permet aussi d'obtenir une tension de sortie plus proche d'une forme sinusoïdale.

Élément du filtre	**Valeur**
Inductance L	4.24 mH
Capacité C	66.31 µF

Tableau. III.13 : Paramètres du filtre LC

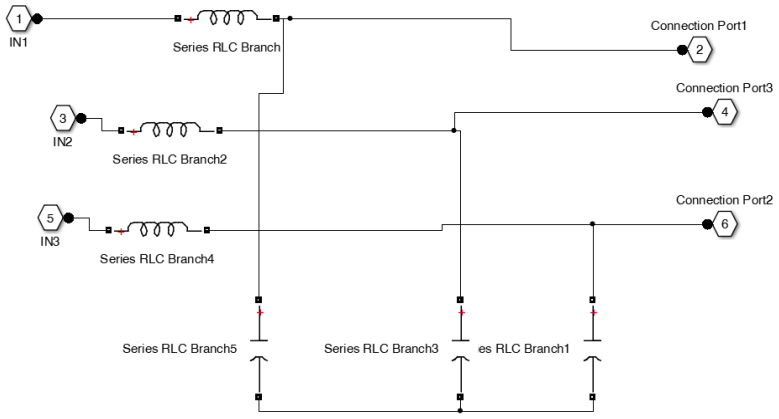


Fig. III.13 : Schéma du filtre LC triphasé de sortie

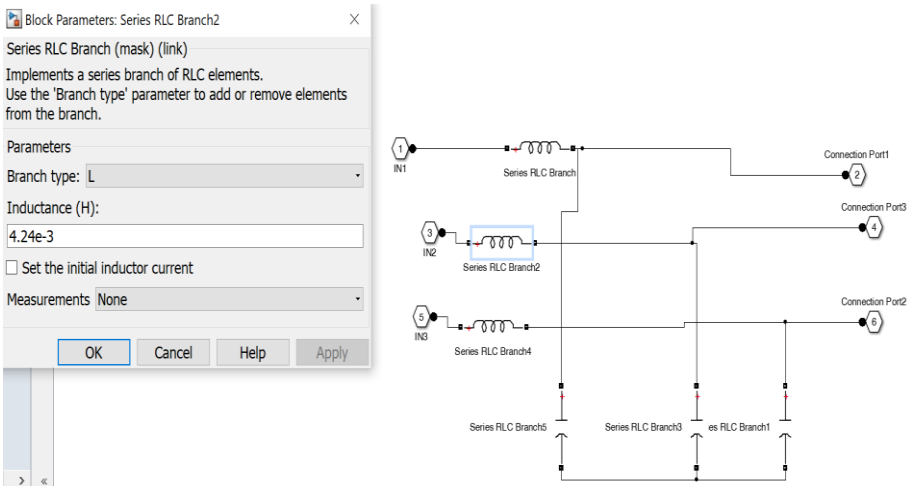


Fig. III.14 : Paramètres de l'inductance du filtre

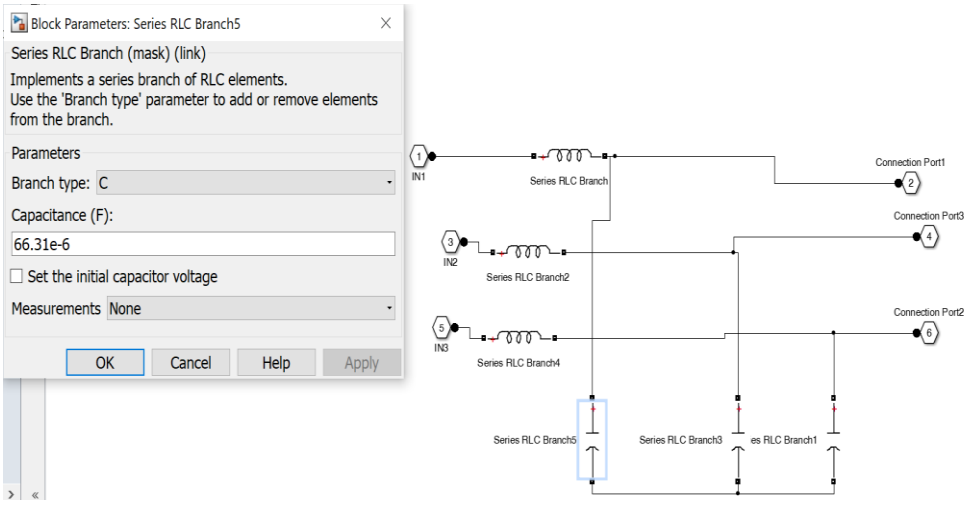


Fig. III.15 : Paramètres du condensateur du filtre

III.7. Charge triphasée

La charge utilisée dans notre simulation est représentée par une branche RLC triphasée configurée de manière purement résistive. Elle est alimentée par les trois tensions de sortie obtenues après le filtrage LC.

- Afin d'analyser le comportement et la robustesse du système ASI face aux variations de charge, ainsi que d'évaluer ses performances dynamiques, deux valeurs distinctes de résistance ont été appliquées selon le mode de fonctionnement :
- **En mode normal** : la résistance est fixée à R = 11.20 Ω, permettant d'évaluer le comportement du système dans des conditions de charge nominales spécifiques.

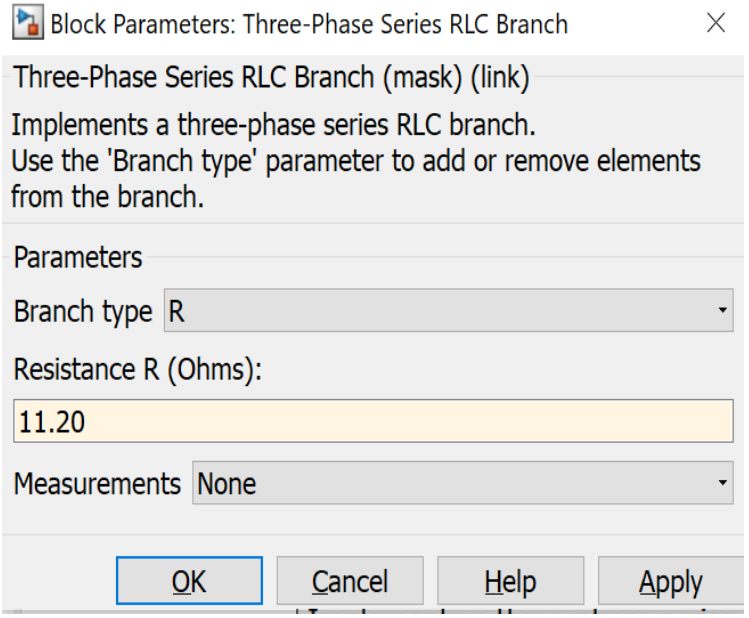


Fig. III.16 : Paramètres de la charge triphasée en mode normal

- **En mode by-pass** : la résistance est ajustée à **R = 12.02 Ω** afin d'analyser la réponse du réseau direct ainsi que la transition de puissance lors de l'activation de la ligne de secours.

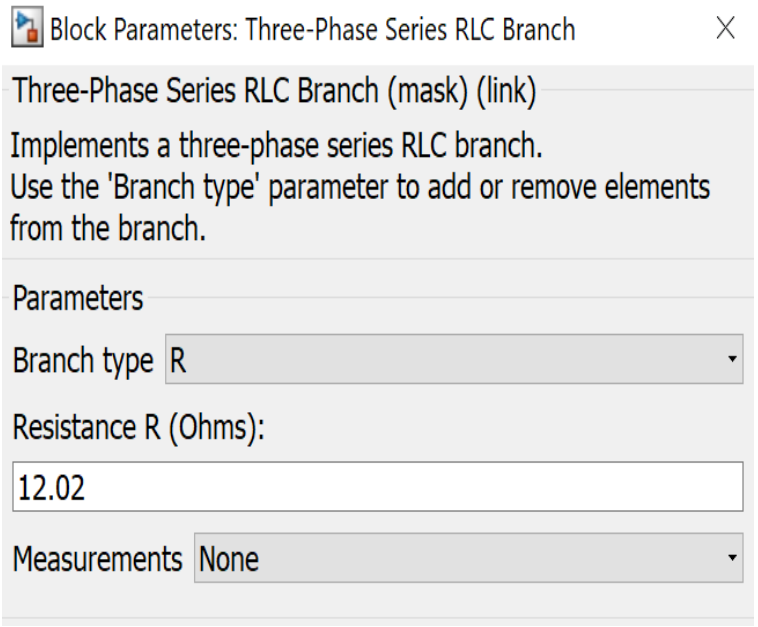


Fig. III.17 : Paramètres du Charge triphasé en mode by-pass

III.8. Mesure des tensions et des courants

Pour analyser le fonctionnement du système, on utilise un bloc Three-Phase V-I Measurement **[23],[24]** . Ce bloc permet de mesurer les tensions et les courants triphasés à la sortie du filtre. Les grandeurs mesurées sont envoyées vers les blocs Scope et To Workspace afin d'être exploitées dans MATLAB. Les principales grandeurs mesurées sont la tension de sortie Vout, le courant de sortie Iout, la tension Vabc, le courant Iabc, la tension de la batterie et la tension du bus continu.

Paramètre	**Valeur**
Voltage measurement	phase-to-phase
Current measurement	yes

Tableau. III.14 : Paramètres du bloc de mesure triphasé

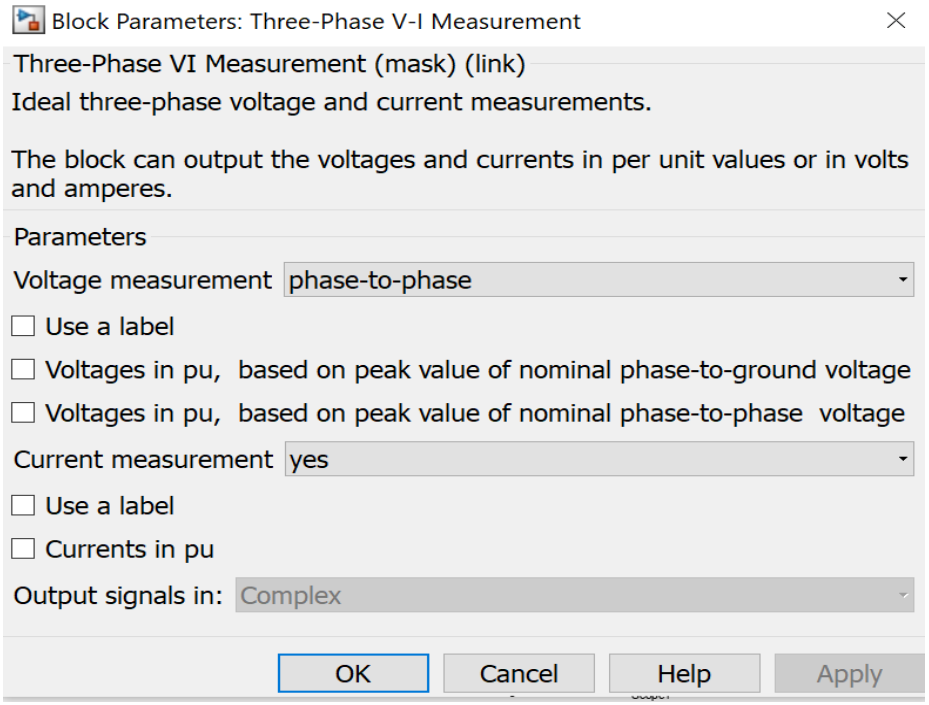


Fig. III.18 : Paramètres du bloc de mesure triphasé

III.9. Schéma global de simulation

Après la modélisation des différents éléments du système, nous avons réalisé la simulation complète sous MATLAB/Simulink **[23]**. Le schéma global est constitué d'une source triphasée, d'un redresseur triphasé à diodes, d'un condensateur de bus continu, d'une batterie, d'un onduleur triphasé, d'un filtre LC et d'une charge triphasée résistive. **[23],[24],[25].**

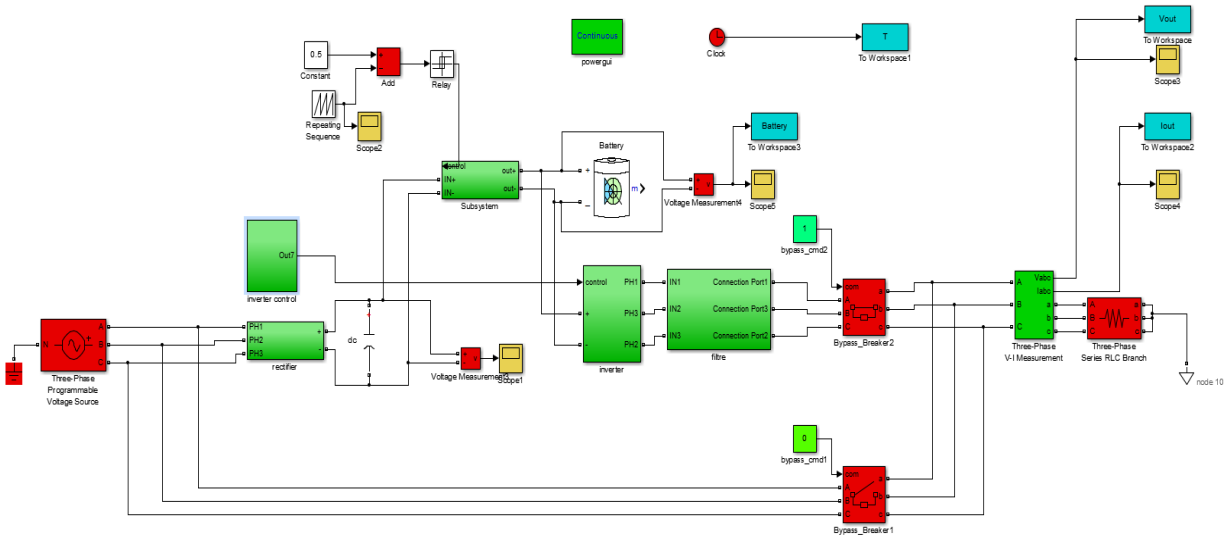


Fig. III.19: Schéma bloc Simulink du système ASI proposé

III.10. Modes de fonctionnement de l'ASI

Les explications des modes de fonctionnement décrivent les résultats de simulation basés sur l'architecture de l'ASI **[25]** et les relevés MATLAB **[23].**

III.10.1. Mode normal

Dans le mode normal, la charge est alimentée à partir de la source triphasée principale. La tension alternative est redressée par le redresseur triphasé, puis la tension continue obtenue alimente l'onduleur. L'onduleur fournit ensuite une tension alternative triphasée à travers le filtre **LC** vers la charge **[23],[25].**

III.10.1.1. Tensions triphasées en mode normal

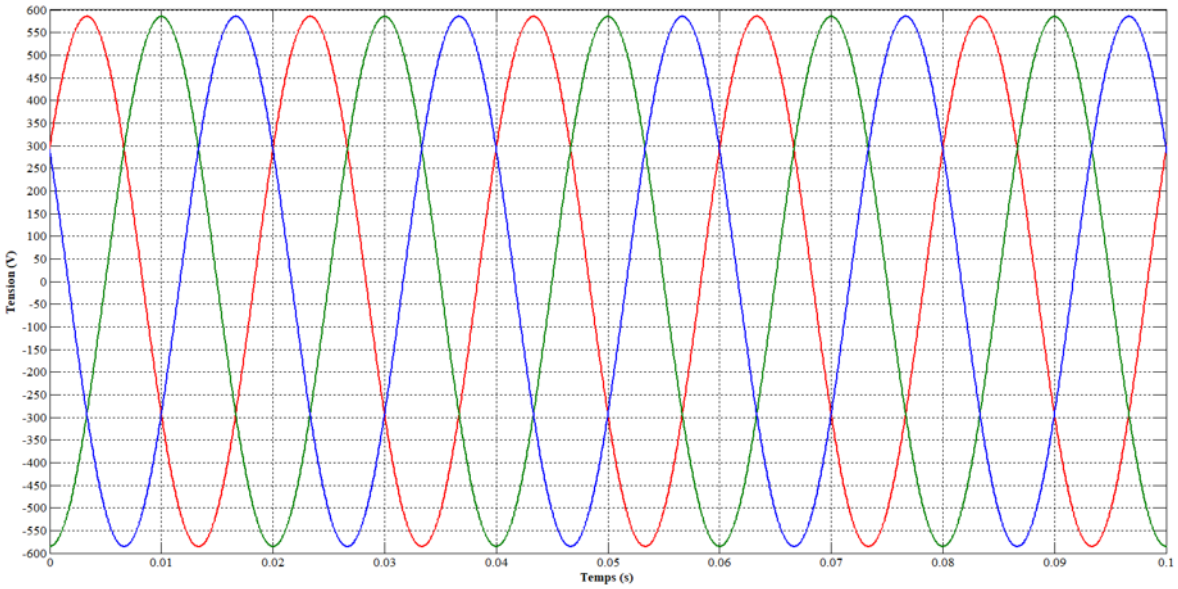


Figure III.20 : Allures des tensions triphasées de la source appliquées à la charge en mode normal

Les tensions triphasées appliquées à la charge sont sinusoïdales, de même amplitude et fréquence, avec un déphasage de 120° entre les phases, et présentent des formes d'onde régulières et symétriques sans distorsion ni déséquilibre, avec une valeur efficace mesurée de 585 V, ce qui confirme un fonctionnement normal, stable et équilibré de la source ainsi qu'une alimentation homogène de la charge.

III.10.1.2. Courants de la charge en mode normal

La figure illustre l'évolution temporelle des courants triphasés en régime de fonctionnement normal. Ces signaux affichent une allure purement sinusoïdale avec une amplitude maximale parfaitement symétrique atteignant 28,14 A pour chaque phase. De plus, on observe un déphasage régulier de 120° entre les ondes et une période constante de 0,02 s (correspondant à une fréquence de 50 Hz). L'absence totale de distorsion harmonique et ce maintien strict de l'équilibre confirment la stabilité du système et l'état sain de l'installation électrique.

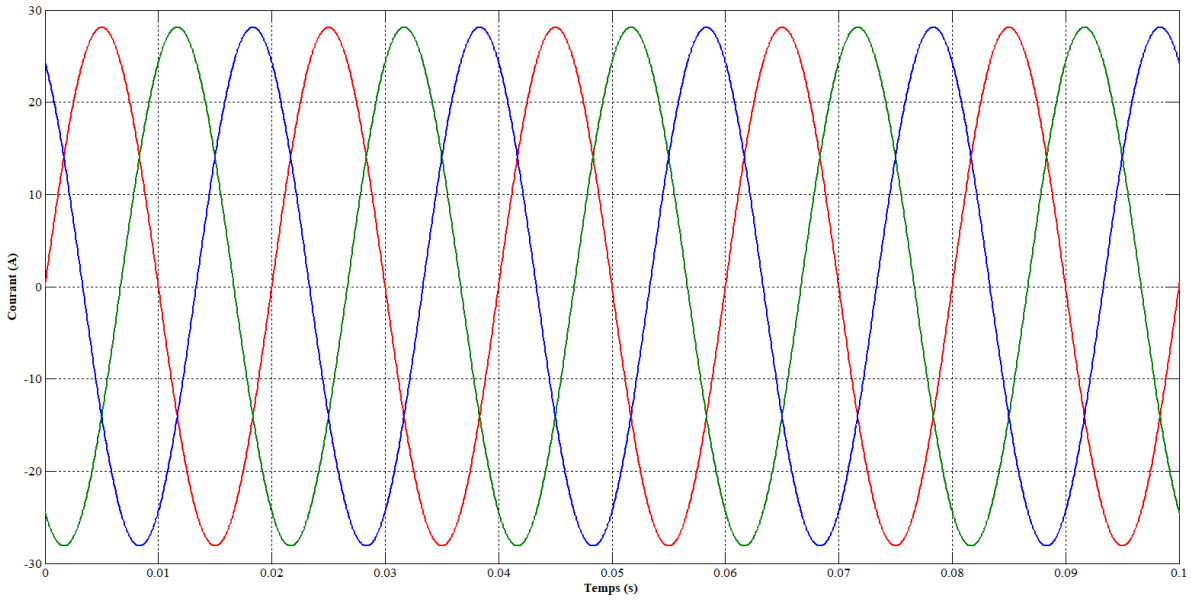


Figure III.21 : Allures des courants triphasés de la charge en mode normal

Dans ce mode, la batterie reste disponible comme source de secours. Elle peut intervenir lorsque la source principale devient insuffisante ou indisponible.

III.10.2. Mode by-pass

Dans le mode by-pass, la charge peut être alimentée directement par la source triphasée à travers une ligne de dérivation. Ce mode permet d'assurer l'alimentation de la charge lorsque la partie onduleur n'est pas utilisée ou lorsqu'une opération de maintenance est nécessaire**[23],[25].**

III.10.2.1. Tensions triphasées en mode by-pass

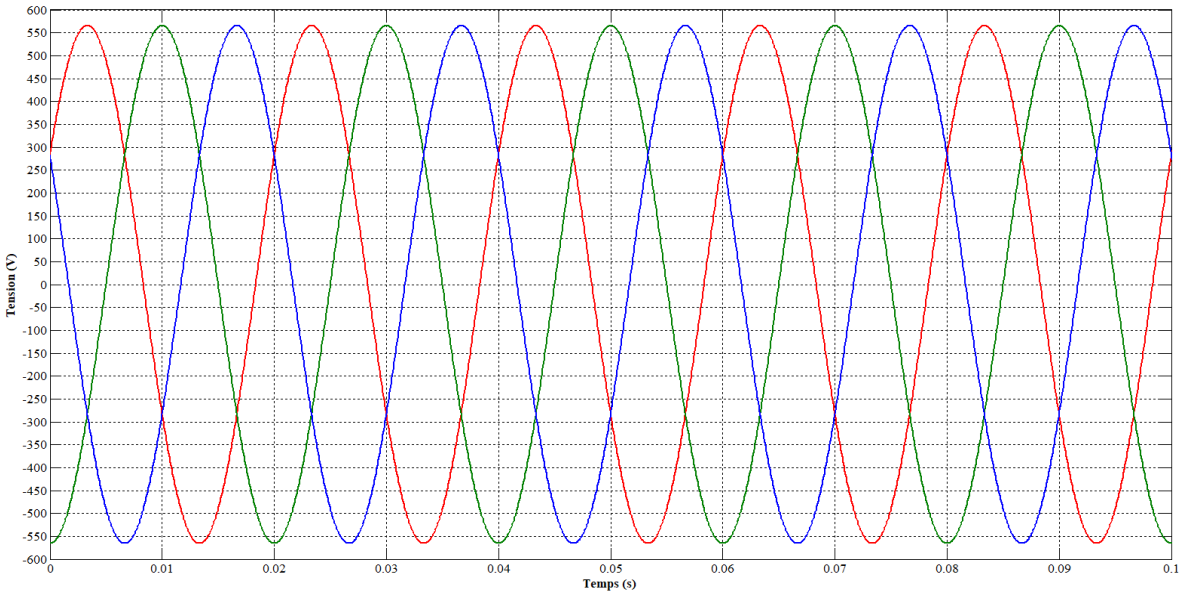


Figure III.22 : Allures des tensions triphasées de la source appliquées à la charge en mode by-pass

Les tensions triphasées appliquées à la charge en mode by-pass correspondent directement aux tensions fournies par la source principale (le réseau). Elles présentent des formes d'onde purement sinusoïdales, stables et symétriques, avec un déphasage régulier de 120° entre les phases et une valeur crête atteignant **565 V**. Puisque la charge est connectée directement à la source sans interférence de l'onduleur, ces tensions conservent leurs caractéristiques nominales (amplitude et fréquence) optimales, garantissant ainsi une alimentation homogène et sécurisée de la charge.

III.10.2.2. Courants de la charge en mode by-pass

En mode by-pass, les courants triphasés circulant dans la charge dépendent directement de la nature de cette dernière, qui est modélisée par une résistance de **11,20 Ω**. Ils affichent une allure purement sinusoïdale et équilibrée, caractérisée par un déphasage mutuel de 120° et une amplitude constante en régime permanent avec une valeur crête maximale mesurée à **20,61 A**. L'absence de distorsions majeures sur ces formes d'onde confirme que le transfert d'énergie de la source vers la charge s'effectue de manière directe et stable, assurant la continuité de service lors des opérations de maintenance ou d'arrêt de l'onduleur.

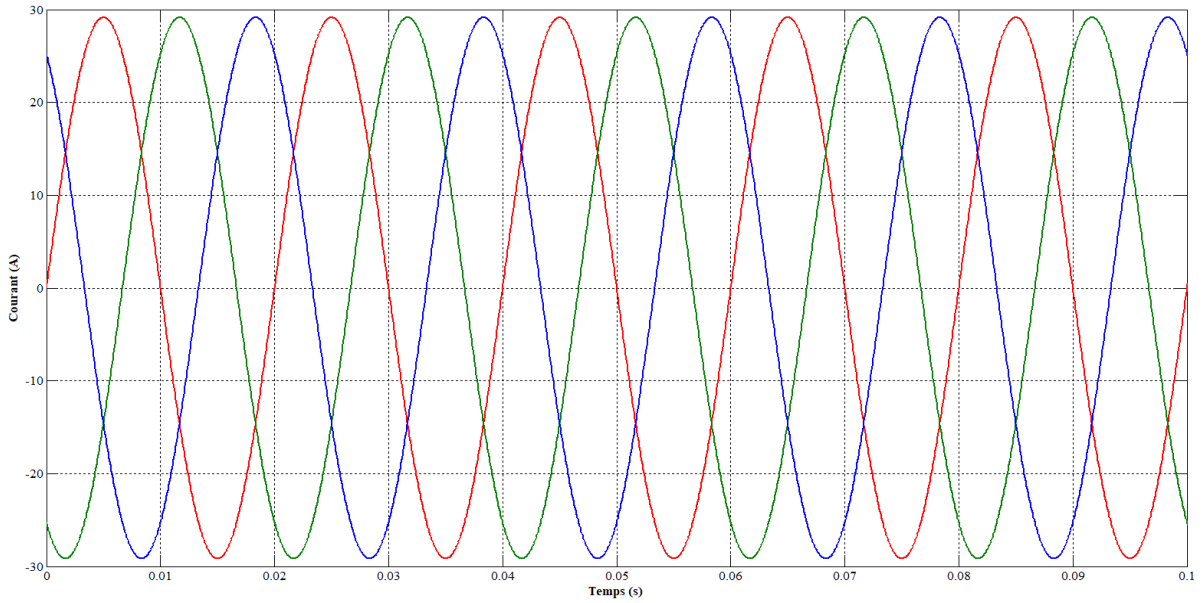


Figure III.23 : Allures des courants triphasés de la charge en mode by-pass

III.10.3. Mode batterie [23],[25]

III.10.3.1. Mode de charge de la batterie

Dans ce mode, lorsque le réseau électrique principal fonctionne normalement, le redresseur (chargeur) convertit la tension alternative en tension continue. Cette énergie est utilisée pour alimenter l'onduleur tout en rechargeant simultanément les accumulateurs afin de reconstituer ou de maintenir leur capacité maximale (autonomie à 99 %).

III.10.3.1.1. Tension de la batterie en mode de charge

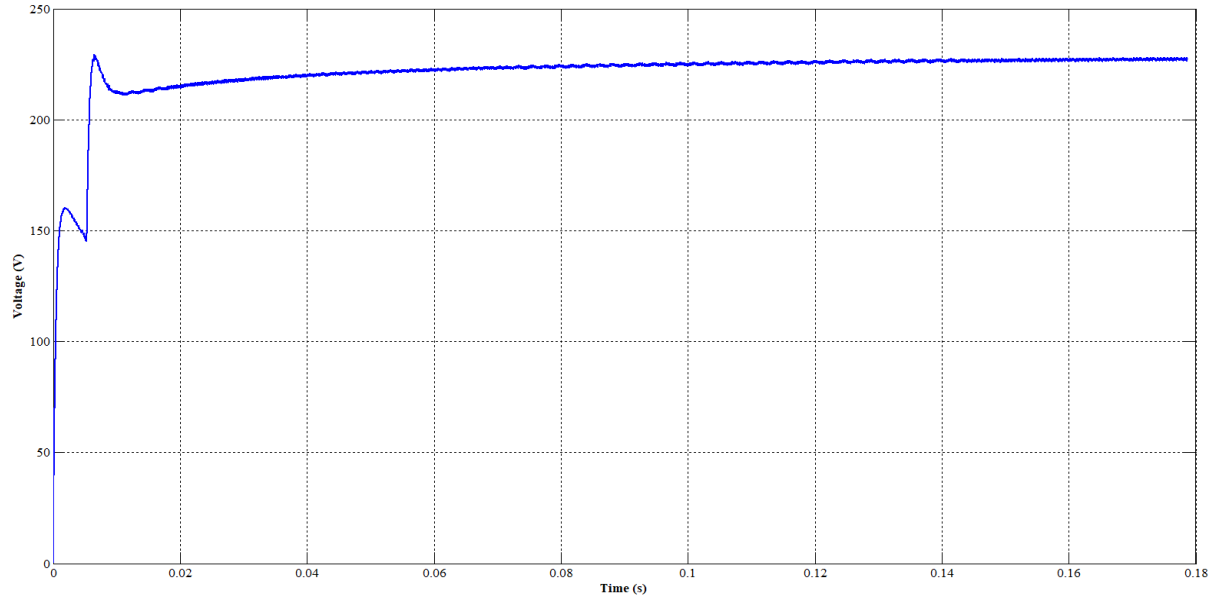


Figure III.24 : Allure de la tension de la batterie en mode de charge.

La courbe illustre l'évolution temporelle de la tension continue aux bornes de la batterie. Après un bref régime transitoire au moment de la connexion, la tension augmente et se stabilise rapidement en régime permanent. Cette tension de maintien, mesurée expérimentalement à **232,6 V** sur l'équipement réel, est strictement régulée par le système. Cette stabilité continue est indispensable pour garantir une recharge optimale et sécurisée des cellules de la batterie sans risque de surcharge.

III.10.3.1.2. Courant de la batterie en mode de charge

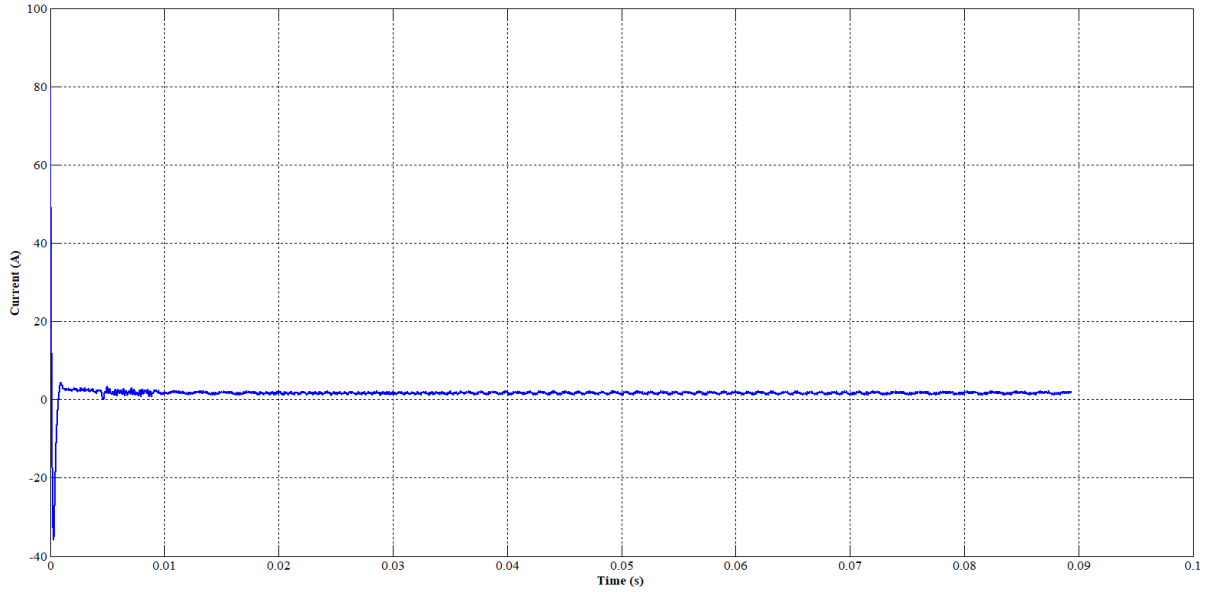


Figure III.25 : Allure du courant de la batterie en mode de charge

L'allure du courant met en évidence la dynamique d'absorption de l'énergie par les accumulateurs. Suite à une oscillation initiale due à la mise sous tension (régime transitoire), le signal se stabilise autour d'une valeur continue constante. La mesure pratique affiche un courant de **-11,5 A** ; le signe négatif indique conventionnellement le sens de circulation du courant de charge (l'énergie "entre" dans la batterie pour y être stockée). Ce régime stable confirme le bon fonctionnement du circuit de charge jusqu'à l'atteinte de la pleine autonomie.

III.10.3.2. Mode batterie (Décharge)

Dans ce mode, en cas de coupure de la source principale, la charge est entièrement alimentée par l'énergie stockée dans les batteries. La batterie fournit une tension continue à l'entrée de l'onduleur, qui la transforme ensuite en tension alternative triphasée pour assurer la continuité de service.

III.10.3.2.1. Tension de la batterie en mode de décharge :

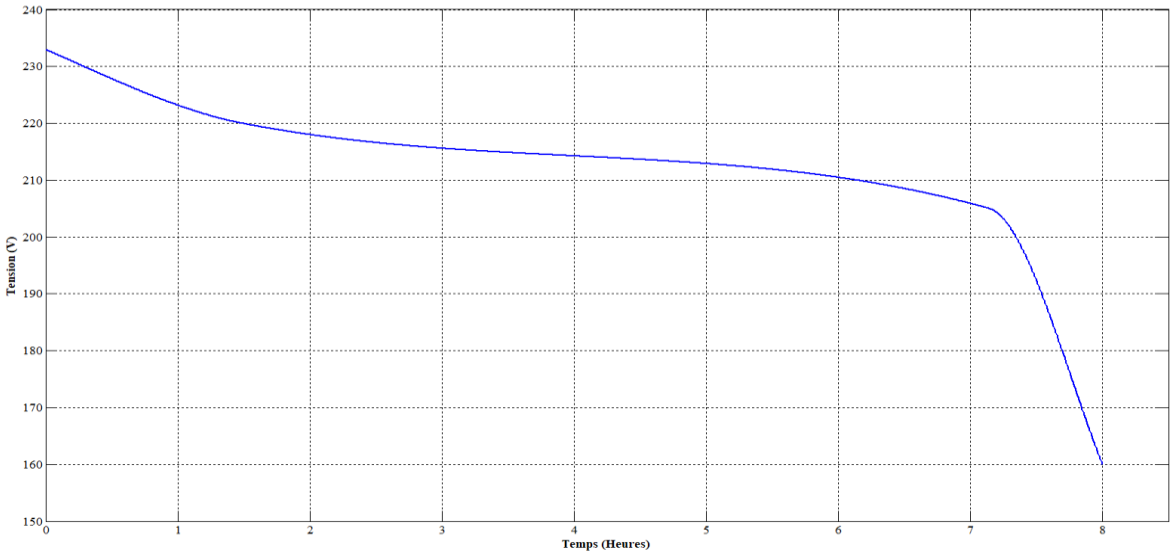


Figure III.26 : Allure de la tension de la batterie en mode de décharge

La courbe illustre l'évolution de la tension continue de la batterie lors de la restitution de l'énergie. Initialement à sa valeur nominale (environ **233 V**), la tension décroît d'abord lentement et de manière régulière pendant la majeure partie de la période d'autonomie. Vers la fin du cycle, on observe une chute de tension abrupte (atteignant **160 V**). Cette allure est caractéristique de la décharge des accumulateurs ; la chute finale indique que la batterie a atteint son seuil minimal de charge, déclenchant généralement l'arrêt de l'onduleur pour protéger les cellules contre une décharge profonde destructrice.

III.10.3.2.2. Courant de la batterie en mode de décharge :

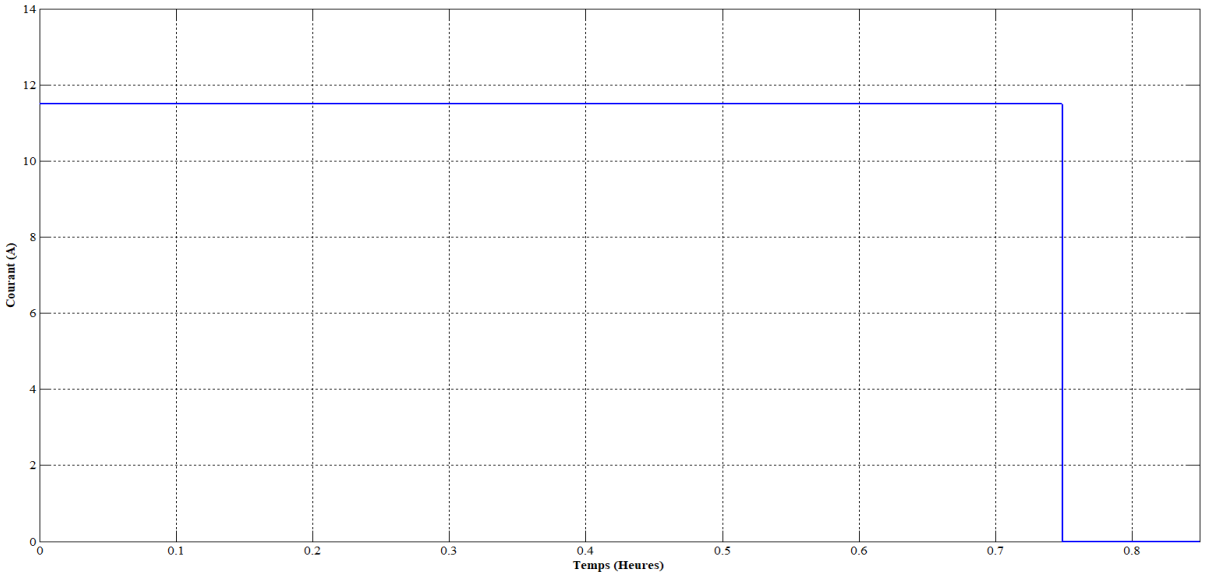


Figure III.27 : Allure du courant de la batterie en mode de décharge.

L'allure du courant met en évidence le fait que la batterie débite un courant constant mesuré à **11,5 A** (en valeur absolue) pour satisfaire les besoins en puissance de la charge. Cette stabilité confirme la bonne régulation de l'onduleur qui tire une énergie constante. À la fin de la période d'autonomie, lorsque la tension de la batterie atteint le seuil critique, le courant chute instantanément à zéro, ce qui correspond à l'intervention du système de protection (coupure automatique) pour stopper la décharge.

III.11.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la modélisation et la simulation d'un système d'alimentation sans interruption (ASI) sous MATLAB/Simulink Le système est composé d'une source triphasée, d'un redresseur triphasé à diodes, d'un bus continu, d'une batterie, d'un onduleur triphasé commandé par la technique MLI, d'un filtre LC et d'une charge triphasée résistive .

Les paramètres configurés dans notre modèle incluent une tension d'alimentation de 400 V entre phases à 50 Hz, un condensateur de bus continu de 2200 µF, une batterie Nickel-Metal-Hydride de 220 V et 8 Ah , ainsi qu'un filtre LC de 4.24 mH et 66.31 µF. De plus, afin d'analyser avec rigueur la robustesse du système face aux variations de charge, la résistance a été ajustée à 12.02 Ω en mode normal et à 11.20 Ω en mode by-pass.

Cette modélisation dynamique permet d'analyser avec précision les différents modes de fonctionnement de l'ASI, notamment le mode normal, le mode by-pass, le mode double conversion et le mode batterie . Les résultats graphiques des tensions et des courants permettent ainsi de valider l'approche théorique et de confirmer l'efficacité de la configuration adoptée pour assurer la continuité de service.

Conclusion générale

L'alimentation Sans Interruption (ASI) constitue aujourd'hui un élément essentiel pour garantir la continuité de service et la qualité de l'énergie électrique dans les installations industrielles sensibles. Son rôle est primordial pour assurer une alimentation fiable des équipements critiques, même en cas de perturbations ou de coupures du réseau électrique, contribuant ainsi à la sécurité et à la stabilité des processus industriels.

Ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques et pratiques sur les systèmes ASI à travers l'étude réalisée au sein de Sonatrach. Le stage effectué a représenté une expérience particulièrement enrichissante, nous offrant l'opportunité de découvrir l'environnement industriel, de comprendre le fonctionnement des installations électriques et d'acquérir des compétences précieuses dans le domaine de l'exploitation et de la maintenance des systèmes d'alimentation sans interruption.

Dans un premier temps, nous avons présenté l'organisme d'accueil Sonatrach ainsi que son réseau électrique, tout en exposant les principes généraux des systèmes ASI, leurs modes de fonctionnement et leurs différents domaines d'application. Une attention particulière a été portée à l'installation ASI mise en œuvre au niveau de l'usine.

Dans un second temps, nous avons étudié les aspects liés à l'exploitation et à la maintenance des ASI, en détaillant les différentes opérations préventives et correctives nécessaires pour garantir leur bon fonctionnement et prolonger leur durée de vie.

Enfin, une simulation réalisée sous MATLAB/Simulink a permis d'évaluer les performances du système ASI en situation de coupure du réseau. Les résultats obtenus ont démontré l'efficacité du dispositif à assurer la continuité d'alimentation des charges critiques, validant ainsi les objectifs fixés au début de cette étude. Au terme de ce travail, nous pouvons conclure que les systèmes ASI représentent une solution fiable et performante pour améliorer la disponibilité des installations industrielles et réduire les risques liés aux interruptions de l'alimentation électrique.

Comme toute étude technique, ce travail ouvre la voie à plusieurs perspectives de développement futures, notamment :

- La mise en œuvre d'une commande en boucle fermée afin de maintenir une tension stable en amplitude et en fréquence malgré les variations de charge.
- La réalisation d'un banc d'essai expérimental permettant de valider les résultats obtenus par simulation.
- Le développement d'un système intelligent de diagnostic et de détection des défauts afin d'identifier rapidement les éléments défaillants en cas de panne.

- Comme perspectives, il serait possible d'étendre ce travail par l'étude de l'intégration des énergies renouvelables ou par l'analyse de stratégies avancées de maintenance. Ces points n'ont pas été traités dans ce mémoire et peuvent faire l'objet de travaux futurs.
- L'étude de nouvelles stratégies de maintenance prédictive basées sur l'analyse des données et l'intelligence artificielle.

Ainsi, cette étude constitue une base solide pour de futurs travaux visant à optimiser davantage les performances, la fiabilité et la disponibilité des systèmes d'alimentation sans interruption dans les environnements industriels.

Références Bibliographiques

[1] Petrofac, « Base de Design – Krechba Phase 1 », 2004, disponible sur UUOO-P-PPTB-OOO-0500.Process.

[2] Petrofac, « Projet de Compression ISG KRECHBA – Base de Design », 2009, Révision 0, disponible sur UU00K PPMD 000 0001B.

[3] Petrofac Training, « Introduction to Krechba 2nd Stage Compression », 2012, Révision 0, disponible sur UU00-P-UUMU-000-1035.

[4] « Schéma unifilaire », disponible sur JB00-B-NNDO-000-0001[F].

[5] « Système 080, le tableau de distribution J-EH-080001 et la liste des charges », JB09-B-NNDO-080-0001.

[6] « Système 081, le tableau de distribution J-EJ-081001 et la liste des charges », JB09-B-NNDO-081-0001.

[7] « Système 082, le tableau de distribution J-EL-082001 et la liste des charges », JB09-B-NNDO-082-0001.

[8] « Système 082, le tableau de distribution J-EL-082002 et la liste des charges », JB09-B-NNDO-082-0002.

[9] « Système 082, le tableau de distribution J-EL-082003 et la liste des charges », JB09-B-NNDO-082-0003.

[10] « Système 082, le tableau de distribution J-EL-082701 et la liste des charges », JB00-K-NNDO-082-0002.

[11] « Système 082, le tableau de distribution J-EL-082004 et la liste des charges », JB09-B-ZKDN-083-1001.

[12] « L'énergie en questions / la consommation d'électricité dans le monde ».

[13] Mabboux. H, « Alimentation Statique Sans Interruption », Techniques de l'Ingénieur, Traité Génie Électrique, 2008, pp. 1–15.

[14] « Alimentation Sans Interruption », Technical Guide UPS-Fr.

[15] « Technical Guide UPS-Fr : Alimentation Sans Interruption », Siège Social et Direction Internationale, 87045 Limoges Cedex, France.

[16] « ASI et solutions d'alimentation des systèmes critiques », Guide Technique Socomec, 2015/2016.

[17] CHLORIDE, « UPS Operating Manual — Display, Control Push-Buttons, Presentation of Menus, Measures, Faults and Warnings », User Manual, sections 5.2–5.16, pages 27–46.

[18] GUTOR Electronic LLC, « Safety Regulations — Uninterruptible Power Supply (UPS), Type: PEW / PDW », GUTOR by Schneider Electric, Document 7RA9020GB, Rev. 03, Wettingen, Switzerland.

[19] « Alimentation Sans Coupure », Sonatrach, Activité Amont, Division Production, Direction Régionale HRM.

[20] « Schémas Gutor UPS », Sonatrach, Direction Amont, Région Ohanet, Direction Maintenance.

[21] GUTOR Electronic LLC, « General System Principle & Description of Components — Uninterruptible Power Supply (UPS), Type: PEW / PDW », Document 7RA9018GB, Rev. 04, Wettingen, Switzerland.

[22] GUTOR Electronic LLC, « Operating & Maintenance Instructions — Uninterruptible Power Supply (UPS), Type: PXW 1030-220/230-EAN-D », GUTOR by Schneider Electric, Document 4A-1110148002/20GB, Rev. 01, Wettingen, Switzerland, 19 December 2012.

[23] The MathWorks Inc., « MATLAB and Simulink », Natick, Massachusetts, United States.

[24] The MathWorks Inc., « Simscape Electrical — User's Guide », documentation officielle pour la modélisation des systèmes de puissance.

[25] Emadi. A, Nasiri. A et Bekiarov. S, « Uninterruptible Power Supplies and Active Filters », CRC Press LLC, Washington, 2005.

[26] Séguier. G, Labrique. F et Delarue. P, « Électronique de puissance : structures, fonctions de base, principales applications », Dunod, 9e édition, Paris, 2011.

[27] Mohan. N, Undeland. T. M et Robbins. W. P, « Power Electronics: Converters, Applications, and Design », 3rd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, 2003.

[28] Holmes. D. G et Lipo. T. A, « Pulse Width Modulation for Power Converters: Principles and Practice », IEEE Press / John Wiley & Sons, 2003.

[29] Rashid. M. H, « Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications », 4th Edition, Pearson, 2014.

[30] Bühler. H, « Réglage de systèmes d'électronique de puissance », Vol. 1 et 2, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 1997.