

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement

Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université A. MIRA – BEJAIA

Faculté de Technologie

Département de Génie électrique



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie électrique

Option

Réseaux électriques

Thème

Opération optimale des micro-réseaux électriques alimentés en courant alternatif

Présenté par:

AYAD Ali

BALIT Amira

Encadré par :

Mr M.BOUTEBEL

Promotion 2022/2023

TABLE DES MATIÈRES

Bibliographie	1
<i>Dédicaces</i>	
<i>Dédicaces</i>	
Table des figures	
1 Généralités sur les micro grids.	4
1.1 Introduction	5
1.2 Qu'est-ce qu'un micro-réseau ou microgrid?	5
1.3 Modes de connexion	6
1.3.1 Mode autonome	6
1.3.2 Mode connecté	6
1.3.3 Mode connecté réseau avec option Islandable	7
1.4 Architecture fonctionnelle des micro-réseaux	7
1.4.1 Micro-réseaux AC	8
1.4.2 Micro-réseaux DC	9
1.5 Conclusion	11
2 Modélisation des micro-réseaux autonomes	12
2.1 Introduction	13
2.2 MODÉLISATION DU MICRO-RÉSEAU EN MODE AUTONOME	13
2.2.1 Modélisation du VSI et de ses contrôleurs	14
2.2.2 Contrôleur de puissance	14
2.2.3 Contrôleur de tension	17
2.2.4 Contrôleur de courant	17
2.2.5 Filtre LC et inductance de couplage	19
2.2.6 Modèle complet de l'onduleur	19
2.2.7 Modèle de la ligne de transport	19
2.2.8 Modèle de la charge RL	20
2.3 Conclusion	21

3	Méthodes d'optimisation	22
3.1	Introduction	23
3.2	Formulation du problème	24
3.2.1	Fonction objectif	24
3.2.2	Contraintes du problème	25
3.2.3	Problème d'optimisation	26
3.3	Méthodes d'optimisation déterministe	26
3.4	Méthodes d'optimisation stochastique	26
3.5	Algorithme génétique	27
3.5.1	Aperçu générale	27
3.5.2	Comment fonctionne l'algorithme génétique	29
3.6	Optimisation de l'essaim de particules	29
3.6.1	Avantages de PSO	30
3.6.2	Algorithme PSO	30
3.7	Mise en oeuvre de PSO	32
3.8	Conclusion	32
4	SIMULATION DE CAS PRATIQUES	34
4.1	Introduction	35
4.2	Modèle de Micro-réseau Électrique	36
4.3	Simulation globale avec MATLAB	37
4.4	Méthodologie de Simulation	37
4.5	Résultat de simulation	39
4.5.1	Résultats de la Simulation 1	39
4.5.2	Résultats de la Simulation 2	40
4.6	Interprétation des Effets de l'Augmentation du Gain de Statisme Mp	51
4.6.1	Effets sur la Fréquence	51
4.6.2	Effets Iconv2	52
4.6.3	Effets sur la Pconv	52
4.7	Interprétation des Effets de l'Augmentation du Gain de Statisme Mq	52
4.7.1	Impact de Mq sur la Fréquence	52
4.7.2	Effets sur la Pconv	52
4.7.3	Effets sur Iconv	52
4.7.4	Effets sur Qconv	53
4.8	Impact de Kic sur les Paramètres F, Iconv, Pconv et Qconv et Variation du Courant du Convertisseur 1	53
4.9	Interprétation des Effets de l'Augmentation de K_{pu} , K_{ic} et k_{pc}	53
4.10	Conclusion	53
	Bibliographie	55

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude à notre encadrant de mémoire, M. BOUTEBEL MOHAMED. Nous le remercions chaleureusement pour son encadrement, son orientation, son aide précieuse et ses conseils avisés qui ont largement contribué à la réussite de ce travail. Sa patience, sa disponibilité et son soutien constant ont nourri notre réflexion et ont été d'une valeur inestimable.

Nous souhaitons également exprimer notre reconnaissance envers nos très chers parents, ainsi que nos frères et sœurs. Leur soutien moral et intellectuel indéfectible a été une source d'encouragement et de motivation tout au long de ce parcours. Leur présence et leurs encouragements inconditionnels ont constitué une aide considérable pour nous, et nous leur sommes extrêmement reconnaissants.

Enfin, nous tenons à adresser nos remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire. Leurs conseils, leurs discussions et leur appui ont enrichi notre travail et ont été grandement appréciés.

Nous sommes également reconnaissants envers l'ensemble du corps professoral et du personnel de notre institution pour leur engagement et leur soutien dans notre formation académique. Leur expertise et leur dévouement ont contribué à notre développement personnel et intellectuel.

À tous, nous exprimons notre profonde gratitude et notre reconnaissance sincère pour leur précieuse contribution à la réalisation de ce mémoire.

DÉDICACES

Je dédie humblement ce travail à mes parents, qui ont été un soutien précieux tout au long de mes années d'études. À mes chers sœurs, ainsi qu'à toute ma famille, je vous suis reconnaissant pour votre amour et votre encouragement constant. Je souhaite également exprimer ma gratitude à mes chers amis Walid, Aissa, Seddik et Missi Pssa, pour leur amitié sincère et leur soutien inconditionnel.

Je tiens à adresser mes remerciements à ma binôme BALIT Amira et à sa famille, qui ont partagé cette expérience de recherche avec moi. Leur collaboration et leur engagement ont été essentiels à la réalisation de ce travail.

Je souhaite également exprimer ma reconnaissance envers tous mes collègues de la promotion 2022-2023, avec qui j'ai partagé de précieux moments d'apprentissage et d'échanges.

Enfin, je dédie cette réalisation à tous ceux qui m'aiment et m'ont encouragé, en particulier à Yanis, Samir, Mayasse. pour leur présence bienveillante et leur soutien constant.

Merci du fond du cœur à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce modeste travail.

AYAD Ali

DÉDICACES

Je souhaite dédier ce travail à ma chère famille, composée de ma merveilleuse maman et de mon incroyable papa, ainsi qu'à mes trois frères Youcef, Karim et Dido, qui ont toujours été là pour moi. Votre amour, votre soutien inconditionnel et vos encouragements m'ont permis de me surpasser et de réaliser mes rêves. Vous êtes mes plus grands supporters, et je vous suis infiniment reconnaissant pour tout ce que vous avez fait pour moi.

Je souhaite également dédier cette mémoire à mon binôme, Ali, qui a été un partenaire exceptionnel tout au long de ce parcours. Tes compétences, ton dévouement et ton amitié ont fait de notre collaboration une expérience enrichissante et mémorable. Nous avons traversé des hauts et des bas, mais ensemble, nous avons surmonté chaque défi avec succès. Merci d'avoir été à mes côtés.

Enfin, je souhaite exprimer ma gratitude envers mes chers amis, Fadila, Maya et Milida, ceux qui sont toujours présents pour moi, qui ont partagé des moments inoubliables et qui ont été mon soutien moral pendant cette période de ma vie. Votre présence, votre soutien et votre amitié sont des trésors inestimables.

Et je n'ai jamais oublié ma meilleure personne Ha9o, Ta présence illumine ma vie, comme une étoile dans l'obscurité. Merci d'être toujours là, avec ton amour et ta bienveillance infinis.

BALIT Amira

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES FIGURES

1.1	Architecture type d'un micro-réseau AC	8
1.2	d'un micro-réseau alimenter en DC	10
2.1	Micro-réseau en mode autonome.	13
2.2	Schéma fonctionnel du contrôleur de puissance.	15
2.3	Caractéristiques de statisme (F versus P) et (V versus Q)	16
2.4	Transformation du cadre de référence.	16
2.5	Régulateur de tension en mode autonome	17
2.6	Contrôleur de courant en mode autonome	18
3.1	Principe de fonctionnement d'un AG	28
4.1	Circuit équivalent et structure de contrôle du micro-réseau	36
4.2	Montage global de simulation	38
4.3	Variation de la fréquence.	39
4.4	Variation des courantes des convertisseurs	39
4.5	Variation des puissance actives des convertisseurs.	39
4.6	Variation de la puissance réactive des convertisseurs.	39
4.7	Comparaison des variations de Mp sur la fréquence.	40
4.8	Comparaison des variations de Mp sur les courants des convertisseurs.	40
4.9	Comparaison des variations de Mp sur les puissances actives.	41
4.10	Comparaison des variations de Mp sur les puissances réactives.	41
4.11	Comparaison des variations de Mp sur la fréquence.	42
4.12	Comparaison des variations de Mp sur les courants des convertisseurs.	42
4.13	Comparaison des variations de Mp sur les puissances actives.	43
4.14	Comparaison des variations de Mp sur les puissances réactives.	43

4.15	Comparaison des variations de M_p sur la fréquence.	44
4.16	Comparaison des variations de K_{pu} sur les courants des convertisseurs. . .	44
4.17	Comparaison des variations de K_{pu} sur les puissances actives.	45
4.18	Comparaison des variations de K_{pu} sur les puissances réactives.	45
4.19	Comparaison des variations de K_{iu} sur la fréquence.	46
4.20	Comparaison des variations de K_{iu} sur les courants des convertisseurs. . . .	46
4.21	Comparaison des variations de K_{iu} sur les puissances actives.	47
4.22	Comparaison des variations de K_{iu} sur les puissances réactives.	47
4.23	Comparaison des variations de K_{pc} sur la fréquence.	48
4.24	Comparaison des variations de K_{pc} sur les courants des convertisseurs. . . .	48
4.25	Comparaison des variations de K_{pc} sur les puissances actives.	49
4.26	Comparaison des variations de K_{pc} sur les puissances réactives.	49
4.27	Comparaison des variations de K_{ic} sur la fréquence.	50
4.28	Comparaison des variations de K_{ic} sur les courants des convertisseurs. . . .	50
4.29	Comparaison des variations de K_{ic} sur les puissances actives.	51
4.30	Comparaison des variations de K_{ic} sur les puissances réactives.	51

Liste des Symboles

- **AC** : Courant Alternatif
- **DC** : Courant Continu
- **BESS** : Système de Stockage d'Énergie par Batterie
- **AC-AC** : Convertisseur de Courant Alternatif à Courant Alternatif
- **BUS** : Bus DC (Courant Continu)
- **V** : Tension
- **A** : Courant
- **VDC** : Tension en Courant Continu
- **BMS** : Système de Gestion de Batterie (Battery Management System)
- **Paut** : Puissance en Mode Autonome
- **Qaut** : Puissance Réactive en Mode Autonome
- **Pconn** : Puissance en Mode Connecté
- **Qconn** : Puissance Réactive en Mode Connecté
- **Pisl** : Puissance en Mode Islandable
- **Qisl** : Puissance Réactive en Mode Islandable
- **Vsolar** : Tension d'un Panneau Solaire
- **Vwind** : Tension d'une Éolienne
- **Mp** : Gain de statisme de la puissance active.
- **Mq** : Gain de statisme de la puissance réactive.
- **Kpu** : Coefficient de statisme de la puissance active et réactive.
- **Kic** : Coefficient de statisme de la puissance réactive.
- **VSI** : Onduleur de tension.
- **LC** : Filtre LC.
- **Rf** : Résistance du filtre LC.
- **Lf** : Inductance du filtre LC.
- **Cf** : Capacité du filtre LC.
- **Kpv** : Paramètre du régulateur de tension PI.
- **Kiv** : Paramètre du régulateur de tension PI.
- **Kpc** : Paramètre du régulateur de courant PI.

- **Kic** : Paramètre du régulateur de courant PI.
- **rlinei** : Résistance de la ligne de transport.
- **Llinei** : Inductance de la ligne de transport.
- **rloadi** : Résistance de la charge RL.
- **Lloadi** : Inductance de la charge RL.
- k_p^d : Gain proportionnel de la composante de puissance active du contrôleur.
- k_i^d : Gain intégral de la composante de puissance active du contrôleur.
- k_p^q : Gain proportionnel de la composante de puissance réactive du contrôleur.
- k_i^q : Gain intégral de la composante de puissance réactive du contrôleur.
- l_f : Inductance du filtre.
- C_f : Capacité du filtre.
- **Rd** : Résistance du dispositif.
- **A- Optimisation basée sur le modèle linéaire** : Section de l'optimisation basée sur le modèle linéaire.
- $\text{Re}\alpha$: Partie réelle de la valeur propre α .
- $l(\lambda_i)$: Valeur propre λ_i .
- **J_{linear-model}** : Fonction objectif basée sur le modèle linéaire.
- **J_{nonlinear-model}** : Fonction objectif basée sur le modèle non-linéaire.
- **P_{measured}** : Puissance mesurée.
- **P_{reference}** : Puissance de référence.
- **B- Optimisation basée sur le modèle non-linéaire** : Section de l'optimisation basée sur le modèle non-linéaire.
- **IAE** : Intégrale de l'erreur absolue.
- **ITAE** : Intégrale de l'erreur absolue par le temps.
- **ISE** : Intégrale du carré de l'erreur.
- **ITSE** : Intégrale du carré de l'erreur par le temps.
- **Kpv** : Gain proportionnel de la composante de puissance active en mode autonome.
- **Kiv** : Gain intégral de la composante de puissance active en mode autonome.
- **Kpc** : Gain proportionnel de la composante de puissance réactive en mode autonome.
- **Kic** : Gain intégral de la composante de puissance réactive en mode autonome.
- **mp** : Paramètre m en mode autonome.

- \mathbf{nq} : Paramètre n en mode autonome.
- $\mathbf{F}_{\text{objectif}}$: Fonction objectif du problème d'optimisation global.
- $\omega(\mathbf{t})$: Poids d'inertie à l'instant t .
- α : Constante de décroissance du poids d'inertie.
- \mathbf{vn}^i : Vitesse de la particule i à l'itération n .
- \mathbf{xn}^i : Position de la particule i à l'itération n .
- \mathbf{X}_{\min} : Meilleure position globale.
- \mathbf{J}_{\min} : Meilleure valeur de la fonction objectif globale.
- \mathbf{J}^{**} : Valeur optimale de la fonction objectif.
- \mathbf{X}^{**} : Position optimale.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'évolution rapide du secteur de l'énergie a conduit à la recherche de solutions plus efficaces et durables pour la production et la distribution d'électricité. Dans ce contexte, les micro-réseaux électriques ont émergé comme une alternative prometteuse, offrant la possibilité de créer des systèmes énergétiques décentralisés et résilients. Les micro-réseaux regroupent différentes sources d'énergie renouvelable, des dispositifs de stockage et des charges, formant ainsi un réseau électrique local et autonome.

Le présent mémoire se concentre sur les opérations optimales des micro-réseaux alimentés en courant alternatif. L'objectif est d'explorer les différentes facettes des micro-réseaux, de leur modélisation à leur optimisation, en passant par la simulation et l'évaluation des performances.

Le premier chapitre offre un aperçu des généralités sur les micro-réseaux électriques. Nous examinons leur importance croissante dans le contexte de la transition énergétique et présentons les principes fondamentaux des micro-réseaux, leur architecture et leurs caractéristiques distinctives. Nous comprenons ainsi l'importance de ces systèmes pour la production d'énergie décentralisée, la réduction des émissions de carbone et la résilience face aux pannes du réseau électrique centralisé.

Dans le deuxième chapitre, nous abordons la modélisation d'un micro-réseau autonome alimenté en courant alternatif. Nous nous intéressons spécifiquement à la modélisation d'un système d'onduleur, qui joue un rôle essentiel dans la conversion et la distribution de l'énergie électrique au sein du micro-réseau. Nous explorons les différents sous-systèmes impliqués dans cette modélisation et analysons les équations différentielles régissant le fonctionnement du micro-réseau.

Le troisième chapitre se concentre sur les méthodes d'optimisation utilisées pour trouver les valeurs optimales des paramètres des régulateurs et du coefficients de statisme du micro-réseau. Nous examinons les approches d'optimisation déterministe et stochastique,

en mettant en évidence les avantages et les limites de chaque méthode. Nous présentons plus particulièrement deux algorithmes d'optimisation, à savoir l'algorithme génétique et le PSO (Particle Swarm Optimization), et expliquons comment ils peuvent être appliqués pour atteindre une meilleure performance énergétique optimale dans un micro-réseau.

Enfin, dans le quatrième chapitre, nous procédons à la simulation d'un système de micro-réseau utilisant un onduleur contrôleur VSI (Voltage Source Inverter). Nous utilisons MATLAB/Simulink pour modéliser et simuler le comportement du micro-réseau, en prenant en compte les paramètres optimaux déterminés précédemment. Cette simulation nous permet d'évaluer les performances du micro-réseau dans des conditions réelles, en analysant des aspects tels que la stabilité du réseau, l'équilibre de charge et l'efficacité énergétique.

En résumé, ce mémoire explore les opérations optimales des micro-réseaux alimentés en courant alternatif. À travers une modélisation précise, des méthodes d'optimisation avancées et des simulations rigoureuses, nous cherchons à optimiser la performance énergétique des micro-réseaux, contribuant ainsi à la réalisation d'un système électrique plus durable, résilient et efficace.

CHAPITRE 1

GÉNÉRALITÉS SUR LES MICRO GRIDS.

1.1 Introduction

Au cours des deux dernières décennies, la construction des réseaux électriques a connu des modifications significatives, principalement en raison de défis tels que la croissance de la demande énergétique, les impératifs de réduction des émissions de CO₂ imposés par les politiques environnementales et les contraintes économiques du marché.[8]

Cette évolution a favorisé le développement de systèmes de production d'énergie renouvelable capables de générer de l'électricité de manière autonome en utilisant une ou plusieurs sources d'énergie renouvelable. Les systèmes hybrides d'énergie renouvelable ont ainsi émergé, mettant en oeuvre diverses techniques de contrôle pour assurer un transfert d'énergie efficace. [20, 12]

Parmi ces systèmes hybrides, les micro-réseaux ont suscité un intérêt particulier au cours des dernières décennies. Ils offrent la possibilité de combiner des sources d'énergie renouvelable avec des systèmes de stockage de capacité limitée. Les micro-réseaux peuvent fonctionner à la fois de manière autonome, en s'affranchissant du réseau électrique principal, et en mode connecté au réseau, permettant ainsi une flexibilité accrue. [9]

Un aspect clé des micro-réseaux réside dans leur contrôle intelligent, qui assure un fonctionnement optimal du système. Grâce à des algorithmes sophistiqués et à une gestion intelligente des flux d'énergie, les micro-réseaux peuvent optimiser la production, la distribution et la consommation d'électricité, en maximisant l'utilisation des sources renouvelables disponibles et en minimisant les pertes d'énergie.[15]

Dans ce chapitre, nous entreprendrons une étude approfondie des micro-réseaux, en explorant leurs principes fondamentaux

1.2 Qu'est-ce qu'un micro-réseau ou microgrid ?

Un micro-réseau est un petit réseau électrique conçu pour alimenter un nombre restreint de consommateurs tels que des quartiers, des zones industrielles, des villages, etc. Il se compose de plusieurs charges interconnectées, de sources de production décentralisées qui sont généralement basées sur des ressources énergétiques renouvelables, de dispositifs de stockage, ainsi que de systèmes de surveillance et de gestion de la demande. Il peut être connecté au réseau principal ou fonctionner de manière autonome. La capacité d'intégrer divers types de générateurs et de ressources d'énergie distribuée, tels que les énergies renouvelables, les systèmes de stockage et les micro-turbines, améliore la fiabilité et l'efficacité de l'ensemble du système.

L'objectif principal du développement des micro-réseaux est d'atteindre un équilibre entre la production et la consommation en intégrant des systèmes de contrôle et de stockage qui rendent le système plus stable.

De plus, les micro-réseaux offrent des avantages pour répondre aux besoins en électricité sur site des clients. Ils peuvent fournir une alimentation de secours, améliorer la fiabilité locale, réduire les pertes de puissance et réguler la tension locale. Sur le plan environnemental, les micro-réseaux contribuent à réduire la pollution et les impacts sur le climat en utilisant des technologies à faible émission de carbone [3].

1.3 Modes de connexion

1.3.1 Mode autonome

Un micro-réseau autonome désigne une interface de puissance utilisée pour transporter l'énergie électrique produite par une ou plusieurs sources autonomes telles que le photovoltaïque, l'éolien, la pile à combustible, ou un générateur diesel, vers le point d'interconnexion des consommateurs. Le terme "autonome" fait référence aux applications qui ne sont pas connectées au réseau électrique ou qui fonctionnent de manière autonome. La structure d'un micro-réseau autonome varie en fonction des contraintes spécifiques de l'application.

Cependant, quatre éléments sont généralement utilisés :

1. Les sources d'énergie (renouvelables, batteries, générateur diesel, etc.)
2. Les convertisseurs de puissance (permettant le contrôle et la gestion du système)
3. filtres d'interconnexion (assurant la transmission d'une énergie de qualité)
4. charges (statiques ou dynamiques).

Les potentialités d'un micro-réseau autonome sont évaluées selon trois critères principaux :

1. L'autonomie
2. La qualité de l'énergie transmise
3. La stabilité.

En effet, l'interface de puissance autonome doit garantir la continuité du service en assurant la qualité de l'énergie disponible, la stabilité du réseau et sa résilience face aux perturbations provenant des charges. Dans la suite de cette partie, nous allons approfondir ces trois critères [13].

1.3.2 Mode connecté

Les micro-réseaux connectés au réseau sont directement reliés au réseau local de distribution d'électricité. Ils offrent la possibilité d'être autosuffisants en énergie, tout en pouvant également recevoir ou fournir de l'électricité au réseau électrique local.

Cependant, l'un des défis majeurs des micro-réseaux connectés au réseau réside dans le fait qu'en cas de panne du réseau électrique principal, le micro-réseau local peut également être affecté. Afin de pallier ce risque, des mesures supplémentaires peuvent être mises en place dans le système pour permettre une transition automatique vers le mode d'exploitation en îlotage (ou autonomie) et la gestion de la charge afin de garantir que les demandes en électricité des charges connectées ne dépassent pas les capacités de production du micro-réseau.

Ces considérations visent à assurer la stabilité et la continuité de l'alimentation électrique dans le micro-réseau, même en cas de défaillance du réseau électrique principal. Des mécanismes de contrôle et de gestion intelligents peuvent être mis en oeuvre pour détecter les interruptions de l'alimentation et activer automatiquement les sources d'énergie locales, telles que les générateurs ou les systèmes de stockage d'énergie, pour maintenir les opérations du micro-réseau de manière fiable.

En somme, les micro-réseaux connectés au réseau offrent une solution prometteuse pour une alimentation électrique résiliente et durable, en combinant les avantages de l'autoconsommation d'énergie et de la connexion au réseau électrique local, tout en gérant efficacement les interruptions potentielles du réseau principal [1].

1.3.3 Mode connecté réseau avec option Islandable

Certains micro-réseaux, qui fonctionnent généralement de manière parallèle au réseau électrique local, ont la capacité de se déconnecter de l'alimentation provenant du réseau principal et de fournir de manière autonome l'infrastructure électrique requise. Pour cela, il est nécessaire d'avoir des sources de production d'énergie capables de fonctionner indépendamment du réseau, telles qu'une turbine à gaz conçue pour le mode d'îlotage. Il peut être nécessaire d'ajouter une fonction de démarrage à froid, permettant au moteur de démarrer le micro-réseau sans dépendre d'une source d'énergie externe comme le réseau électrique. Cette capacité de démarrage autonome garantit la disponibilité de l'énergie électrique dans le micro-réseau, même en l'absence d'une alimentation externe stable [1].

1.4 Architecture fonctionnelle des micro-réseaux

Les micro-réseaux peuvent être divisés en deux groupes principaux : les micro-réseaux AC (courant alternatif) et les micro-réseaux DC (courant continu), en fonction de leur configuration de fonctionnement. Voici une brève description de chaque type, ainsi que leurs avantages et inconvénients respectifs :

1.4.1 Micro-réseaux AC

Les micro-réseaux AC permettent de connecter les différentes sources de production d'énergie et les charges du réseau à l'aide d'un système de bus AC.

En général, les micro-réseaux AC se composent de sources de production d'énergie distribuées, telles que les énergies renouvelables, ainsi que de sources de production d'énergie conventionnelles, comme les générateurs à moteur. Ces générateurs distribués sont connectés via un système de bus AC à un dispositif de stockage d'énergie, tel qu'un système de stockage d'énergie par batterie (BESS). Les générateurs renouvelables, tels que les panneaux solaires photovoltaïques et les éoliennes, produisent une sortie en courant continu (DC). Cette sortie peut être convertie en courant alternatif (AC) à l'aide de convertisseurs électroniques de puissance (voir figure 1.1 [14]).

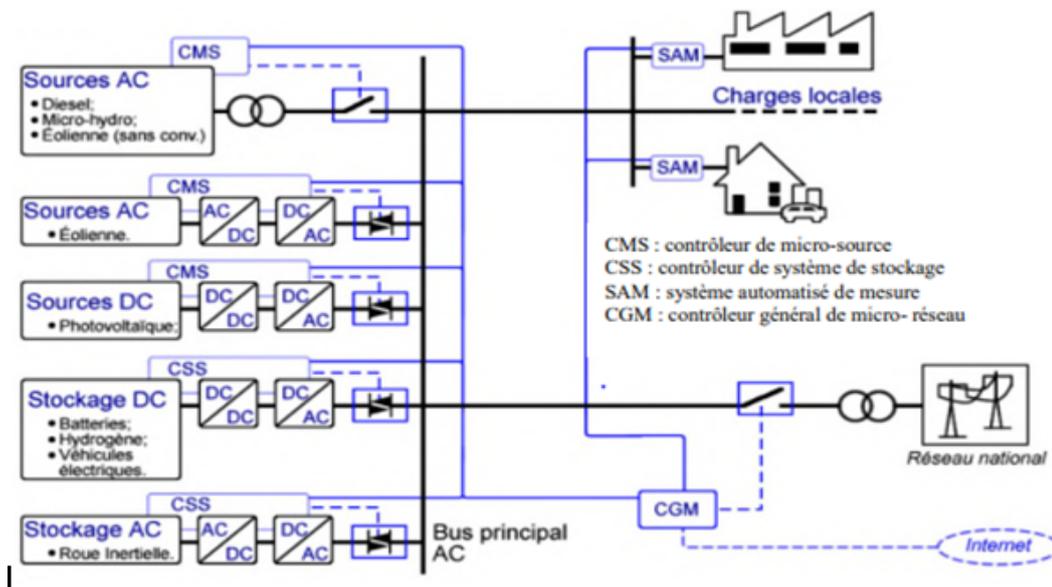


FIGURE 1.1 – Architecture type d'un micro-réseau AC

Avantages des micro-réseaux AC

1. La capacité d'intégration avec le réseau électrique conventionnel ou en mode îloté les rend polyvalents
2. Compatibilité avec les équipements AC tels que les charges AC comme les moteurs. Cet équipement peut être alimenté facilement avec le courant alternatif fourni par le micro-réseau
3. Aucune exigence d'onduleur pour les charges CA
4. Rentabilité dans les systèmes de protection de l'alimentation
5. Disponibilité de charge plus élevée pour les charges AC [3]

Inconvénients des micro-réseaux AC

1. Efficacité de conversion inférieure
2. Convertisseurs coûteux (tels que les convertisseurs DC-AC)
3. Contrôlabilité difficile en raison des facteurs de fréquence, de régulation de tension et de compensation de déséquilibre
4. Une faible fiabilité de l'alimentation électrique peut entraver les performances des équipements qui nécessitent une alimentation électrique adéquate pour les besoins de haute performance
5. Efficacité de transmission inférieure à celle de leurs homologues CC [3]

1.4.2 Micro-réseaux DC

Le principe de fonctionnement des micro-réseaux DC est assez similaire à celui de leurs homologues AC. La principale différence réside dans l'utilisation d'un réseau de bus DC pour l'interconnexion des générateurs distribués et des charges du réseau, au lieu du bus AC. La tension de fonctionnement de ces bus DC varie généralement entre 350 et 400 volts.

Le bus DC principal peut être connecté à d'autres bus basse tension pour répondre aux exigences des charges électroniques à basse tension. De même, les micro-réseaux AC utilisent des convertisseurs AC-AC à gain de tension élevé pour permettre la connexion de sources d'alimentation basse tension, telles que les modules solaires (généralement de 20 à 45 volts), en les alimentant via le bus DC haute tension. Ces convertisseurs peuvent être classés en fonction de leur capacité à augmenter la tension et la puissance [14].

Avantages des micro-réseaux DC

1. Une efficacité de conversion plus élevée en fait une option idéale pour faire fonctionner des machines électriques hautes performances
2. Systèmes de convertisseurs à moindre coût qui peuvent fournir des avantages de coûts supplémentaires en plus du facteur de réduction des coûts des énergies renouvelables
3. Efficacité de transmission supérieure grâce à l'absence de courant réactif
4. Meilleure fiabilité de l'alimentation même dans les endroits éloignés
5. Câblage relativement petit en raison de la haute tension à faible ampérage
6. Système de contrôlabilité pratique qui suffit sans entraîner de complexités telles que la synchronisation, les harmoniques, le contrôle de la puissance réactive et le contrôle de la fréquence [3]

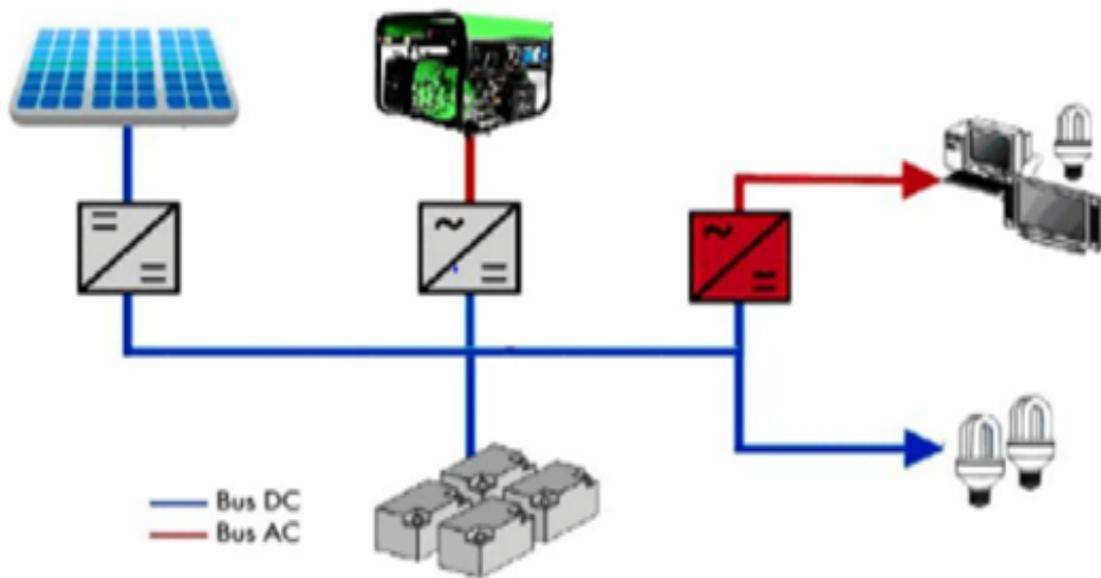


FIGURE 1.2 – d'un micro-réseau alimenter en DC

Inconvénients des micro-réseaux DC

1. Les systèmes de protection de l'alimentation immatures pour les micro-réseaux CC peuvent être un facteur de risque, en particulier pour les sites qui impliquent des charges électriques sensibles
2. L'investissement initial plus élevé peut devenir un obstacle à leur mise en œuvre
3. Moins de notoriété du marché avec les micro-réseaux DC
4. Compatibilité moindre avec les charges AC, proportionnelle au nombre de charges AC
5. Plus grande probabilité de problèmes de chute de tension lorsqu'aucune source d'alimentation réactive n'est présente, en particulier pour les grands systèmes
6. Complexité et coûts accrus lors de la tentative de conversion d'un système AC existant en DC [3]

1.5 Conclusion

Ce chapitre explore les notions fondamentales des micro-réseaux en mettant en lumière les variantes AC, DC et hybrides. Il examine également deux modes de fonctionnement spécifiques : les micro-réseaux autonomes et les micro-réseaux connectés. Cette analyse renforce notre compréhension de la diversité et de la flexibilité des systèmes énergétiques décentralisés. En comparant les caractéristiques, avantages et défis de chaque mode, nous sommes mieux préparés à évaluer leur pertinence dans divers contextes et à concevoir des stratégies d'implémentation adaptées. Cette base solide servira de point de départ pour les futurs chapitres, qui se pencheront sur des aspects tels que la modélisation, la conception et l'optimisation des micro-réseaux, afin de développer des solutions plus efficaces et durables pour la transition vers des systèmes énergétiques décentralisés et résilients.

CHAPITRE 2

MODÉLISATION DES MICRO-RÉSEAUX AUTONOMES

2.1 Introduction

Dans le cadre de ce chapitre, nous nous intéressons à la modélisation d'un micro-réseau alimenté par un courant alternatif en mode autonome, indépendamment du réseau national.

Notre objectif principal consiste à modéliser la station d'onduleur qui englobe l'ensemble des sous-systèmes requis pour connecter une source d'énergie renouvelable au réseau du micro-réseau.

Afin de réaliser cette tâche, nous examinons les différentes conversions d'énergie effectuées par les sous-systèmes du micro-réseau, qui permettent d'alimenter diverses charges. Il est essentiel de comprendre comment modéliser un système spécifique pour exécuter des commandes précises.

Enfin, nous présenterons les équations différentielles qui gouvernent les composants du micro-réseau, depuis la source jusqu'à la charge. Ces équations joueront un rôle crucial dans notre compréhension globale du fonctionnement du micro-réseau et dans la mise en place de stratégies de contrôle efficaces.

2.2 MODÉLISATION DU MICRO-RÉSEAU EN MODE AUTONOME

Cette section présente le modèle mathématique du micro-réseau autonome composé d'un onduleur de tension (VSI) connecté aux charges par l'intermédiaire d'un filtre LC et d'une inductance de couplage [11].

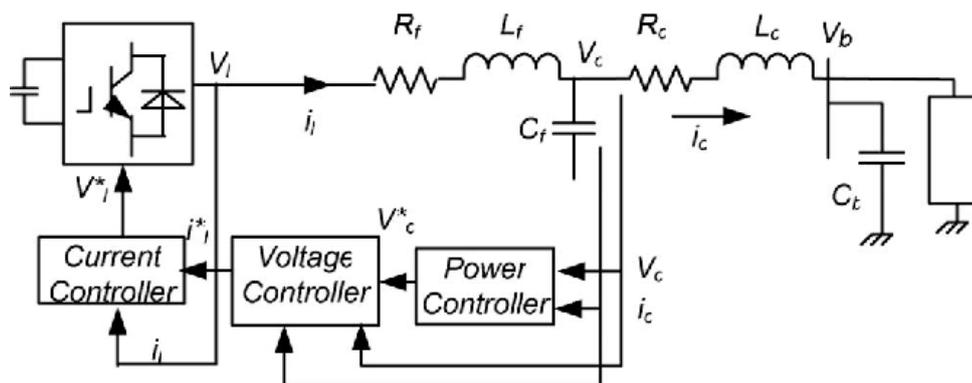


FIGURE 2.1 – Micro-réseau en mode autonome.

[11]

2.2.1 Modélisation du VSI et de ses contrôleurs

Les contrôleurs de puissance, de courant et de tension ont été employés pour réguler l'onduleur du micro-réseau en mode autonome, tel qu'illustré dans la figure ??.

Tout d'abord, les puissances active et réactive sont calculées à partir des mesures de tension et de courant en sortie du VSI.

Une boucle de contrôle de puissance externe permet de définir l'amplitude, la fréquence (et donc la phase) de la composante fondamentale de la tension de sortie de l'onduleur en fonction des caractéristiques de stabilité prédéfinies pour les puissances active et réactive.

Ensuite, des régulateurs de tension et de courant sont conçus pour atténuer les perturbations à haute fréquence et assurer un amortissement adéquat du filtre LC [11, 2].

2.2.2 Contrôleur de puissance

Dans un système électrique conventionnel, les générateurs synchrones partagent toute augmentation de la charge en diminuant la fréquence selon la caractéristique de statisme de leur régulateur.

la fréquence en fonction de la caractéristique de statisme de leur gouverneur.

En mode autonome, l'onduleur émule le comportement d'une machine synchrone.

Par conséquent, l'angle δ peut être contrôlé en régulant la puissance active (P), tandis que la tension de sortie est contrôlable par l'intermédiaire de la puissance réactive (Q).

Le contrôleur de la fréquence contrôle dynamiquement l'angle de puissance, et donc le flux de puissance active. Pour un fonctionnement stable, les puissances active et réactive des onduleurs doivent être correctement contrôlées [19] [4].

Tout d'abord, la tension et le courant de sortie mesurés sont utilisés pour calculer les puissances active et réactive instantanées.

$$P_m = v_{0d}i_{0d} + v_{0q}i_{0q} \quad (2.1)$$

$$Q_m = v_{0q}i_{0d} - v_{0d}i_{0q} \quad (2.2)$$

Deuxièmement, les puissances active et réactive, P_c et Q_c , correspondant aux composants fondamentaux sont obtenus après passage par le filtre passe-bas. Le schéma fonctionnel de la puissance contrôleur est illustré à la Figure 2.2.

$$P_c = \frac{\omega_c}{\omega_c + s} P_m \quad (2.3)$$

$$Q_c = \frac{\omega_c}{\omega_c + s} Q_m \quad (2.4)$$

Enfin, la fréquence ω et l'amplitude de la tension de sortie sur l'axe de référence v_{0d}^* sont :

$$\omega = \omega_n - m_p P_c \tag{2.5}$$

$$\dot{\theta} = \omega \tag{2.6}$$

$$V_{0d}^* = v_n - m_q Q_c \tag{2.7}$$

$$V_{0q}^* = 0 \tag{2.8}$$

où M_p et M_q sont les coefficients de statisme de la puissance active et réactive. Les différentes caractéristiques de statisme montrent que les trois onduleurs peuvent partager la puissance réelle et réactive totale, comme le montre la figure 3.

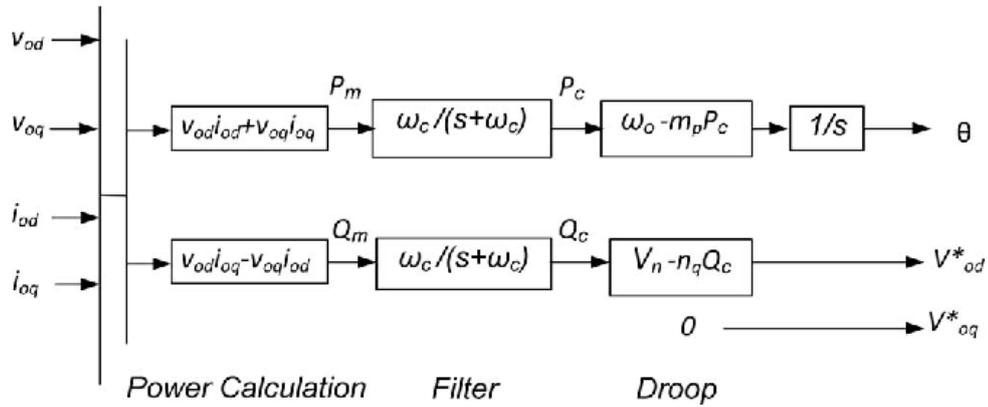


FIGURE 2.2 – Schéma fonctionnel du contrôleur de puissance.

L'origine du référentiel de l'un des onduleurs est pris comme référentiel commun.

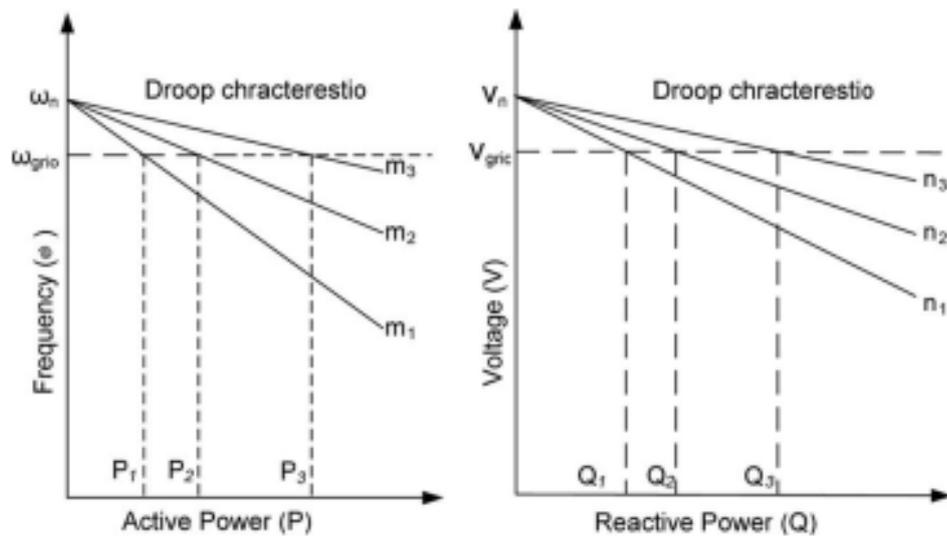


FIGURE 2.3 – Caractéristiques de statisme (F versus P) et (V versus Q)

L'angle δ , illustré à la figure 2.4, représente l'angle entre le référentiel d'un onduleur individuel et le référentiel commun [11].

Cet angle est utilisé pour traduire les variables d'un référentiel d'un onduleur quelconque sur le référentiel commun

$$\delta = \int \omega - \omega_{com} \tag{2.9}$$

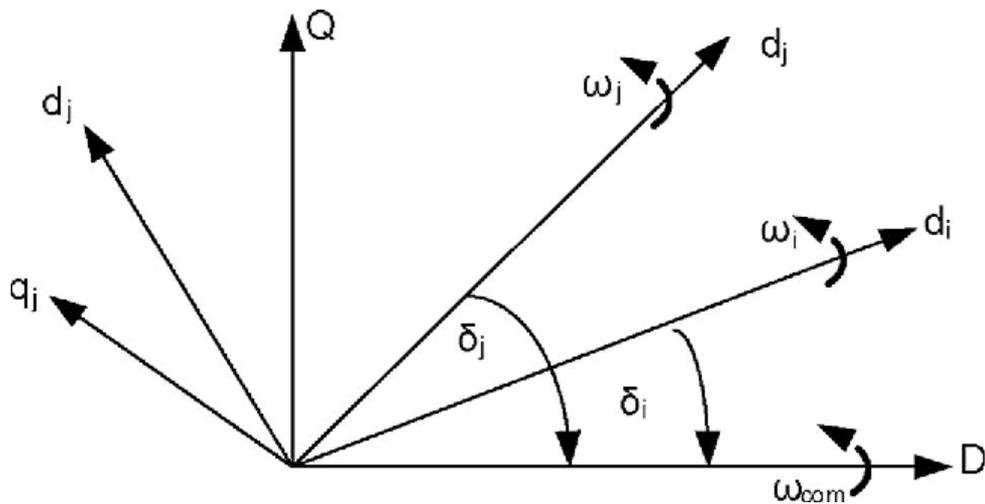


FIGURE 2.4 – Transformation du cadre de référence.

2.2.3 Contrôleur de tension

Le régulateur de tension PI est illustré à la Figure 2.4. Les équations d'état correspondantes sont les suivantes :

$$\dot{\phi}_d = v_{0d}^* - v_{0d} \quad (2.10)$$

$$\dot{\phi}_q = v_{0q}^* - v_{0q} \quad (2.11)$$

Avec les équations algébriques :

$$i_{ld}^* = F i_{0d} - \omega_n C_f v_{0q} + K_{pv}(v_{0d}^* - v_{0d}) \quad (2.12)$$

$$i_{lq}^* = F i_{0q} - \omega_n C_f v_{0d} + K_{pv}(v_{0q}^* - v_{0q}) \quad (2.13)$$

où F est le gain du régulateur de tension en amont et k_{pv} et k_{iv} sont les paramètres du régulateur de tension PI [11].

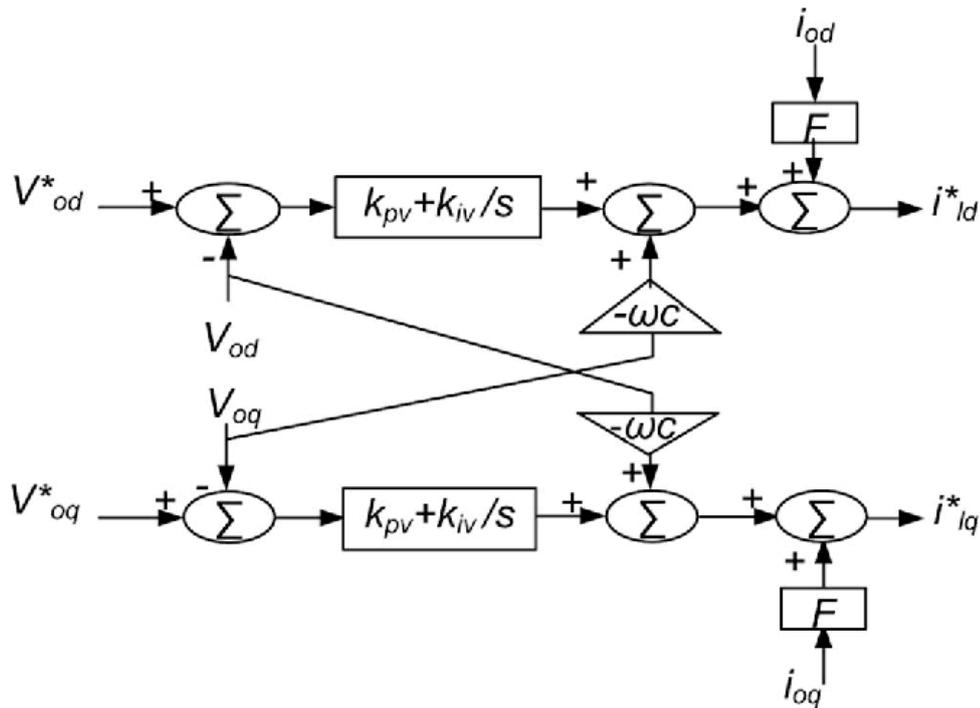


FIGURE 2.5 – Régulateur de tension en mode autonome [11]

2.2.4 Contrôleur de courant

La structure du régulateur de courant PI est illustrée à la figure 2.6. Le modèle d'espace d'état correspondant est le suivant [11].

$$\dot{\gamma}_d = i_{ld}^* - i_{ld} \quad (2.14)$$

$$\dot{\gamma}_q = i_{lq}^* - i_{lq} \quad (2.15)$$

$$v_{ld}^* = -\omega_n L_f \dot{i}_{lq} + k_{pc}(i_{ld}^* - i_{ld}) + k_{ic}\gamma_d \quad (2.16)$$

$$v_{lq}^* = -\omega_n L_f \dot{i}_{ld} + k_{pc}(i_{lq}^* - i_{lq}) + k_{ic}\gamma_q \quad (2.17)$$

Où k_{pc} et k_{ic} sont les paramètres du régulateur de courant PI.

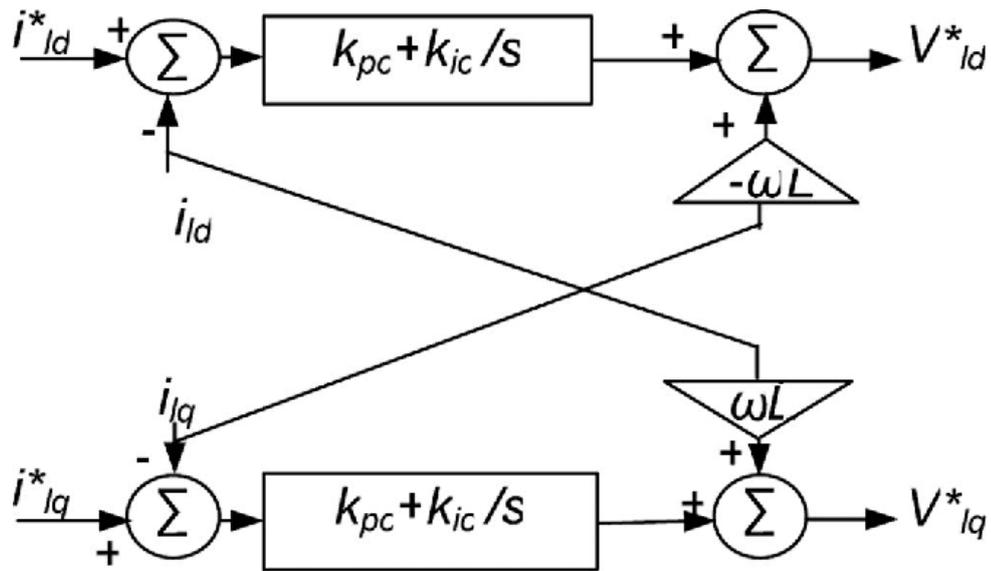


FIGURE 2.6 – Contrôleur de courant en mode autonome [11]

2.2.5 Filtre LC et inductance de couplage

Le filtre LC et le modèle d'inductance de couplage peuvent être décrits comme suit équations d'état, en supposant que l'onduleur produit la tension demandée $v_1 = v_1^*$ [11] :

$$\dot{i}_{ld} = -\frac{R_f}{L_f}i_{ld} - \omega i_{lq} + \frac{1}{L_f}(v_{ld} - v_{0d}) \quad (2.18)$$

$$\dot{i}_{lq} = -\frac{R_f}{L_f}i_{lq} - \omega i_{ld} + \frac{1}{L_f}(v_{lq} - v_{0q}) \quad (2.19)$$

$$\dot{v}_{0d} = \omega v_{0q} + \frac{1}{C_f}(i_{ld} - i_{0d}) \quad (2.20)$$

$$\dot{v}_{0q} = -\omega v_{0d} + \frac{1}{C_f}(i_{lq} - i_{0q}) \quad (2.21)$$

$$\dot{i}_{ad} = \frac{R_c}{L_c}i_{ad} + \omega i_{0q} + \frac{1}{L_c}(v_{ad} - v_{bd}) \quad (2.22)$$

$$\dot{i}_{aq} = \frac{R_c}{L_c}i_{aq} + \omega i_{0d} + \frac{1}{L_c}(v_{aq} - v_{bq}) \quad (2.23)$$

2.2.6 Modèle complet de l'onduleur

Pour construire le modèle complet du système, les variables de sortie de chaque onduleur doivent être converties dans le système de référence commun à l'aide de la transformation suivante :

$$f_{DQ} = T_i f_{dq} \quad (2.24)$$

avec :

$$T_i = \begin{bmatrix} \cos(\delta_i) & -\sin(\delta_i) \\ \sin(\delta_i) & \cos(\delta_i) \end{bmatrix}$$

La tension de bus qui est le signal d'entrée du modèle de l'onduleur doit également être exprimée dans le système de référence commun à l'aide de la transformation inverse [11].

2.2.7 Modèle de la ligne de transport

Les équations d'état du courant de la i ème ligne connectée entre les noeuds j et k peuvent être exprimées dans le référentiel commun de la manière suivante [11] :

$$\dot{i}_{lineDi} = -\frac{r_{linei}}{L_{linei}}i_{lineDi} + \omega i_{lineQi} + \frac{1}{L_{linei}}(v_{bDj} - v_{bDk}) \quad (2.25)$$

$$\dot{i}_{lineQi} = -\frac{r_{linei}}{L_{linei}}i_{lineQi} - \omega i_{lineDi} + \frac{1}{L_{linei}}(v_{bQj} - v_{bQk}) \quad (2.26)$$

2.2.8 Modèle de la charge RL

Les équations d'état de la charge RL connectée au i ème noeud sont les suivantes [11] :

$$\dot{i}_{loadDi} = -\frac{r_{loadi}}{L_{loadi}}i_{loadDi} + \omega i_{loadQi} + \frac{1}{L_{loadi}}v_{bDi} \quad (2.27)$$

$$\dot{i}_{loadQi} = -\frac{r_{loadi}}{L_{loadi}}i_{loadQi} + \omega i_{loadDi} + \frac{1}{L_{loadi}}v_{bQi} \quad (2.28)$$

Les tensions de charge sont également données comme suit :

$$\dot{v}_{bDj} = \omega v_{bQi} \frac{1}{C_f} (i_{oDi} - i_{loadDi} \pm i_{lineDi,j}) \quad (2.29)$$

$$\dot{v}_{bQj} = -\omega v_{bDi} \frac{1}{C_f} (i_{oQi} - i_{loadQi} \pm i_{lineQi,j}) \quad (2.30)$$

Le signe dans (2.17) et (2.18) dépend de la direction du courant dans la ligne.

2.3 Conclusion

Dans ce chapitre, notre objectif était d'approfondir notre compréhension de la modélisation des micro-réseaux autonomes alimentés en courant alternatif. Nous avons examiné en détail les équations différentielles régissant les composants clés, notamment le filtre, les charges et les câbles de liaison. En nous focalisant sur l'interconnexion et l'interaction de ces éléments, nous avons pu mieux appréhender le fonctionnement global du micro-réseau autonome.

Cette exploration de la modélisation des micro-réseaux électriques a été bénéfique pour nous, car elle nous permettra d'aborder les chapitres suivants avec une base solide de connaissances.

CHAPITRE 3

MÉTHODES D'OPTIMISATION

3.1 Introduction

Ce chapitre présente la méthodologie d'optimisation utilisée pour déterminer les valeurs optimales des paramètres des différents régulateurs d'un micro-réseau. L'objectif de ce chapitre est de détailler les différentes méthodes d'optimisation appliquées, en mettant l'accent sur l'optimisation déterministe et stochastique, ainsi que sur deux algorithmes spécifiques : l'algorithme génétique et le PSO (Particle Swarm Optimization).

Dans le contexte de cette étude, nous nous concentrons sur le modèle d'un micro-réseau, qui est un système énergétique intégrant des sources d'énergie renouvelable, des dispositifs de stockage et des charges. L'optimisation des paramètres de ce micro-réseau est cruciale pour atteindre une performance énergétique optimale, telle que la minimisation des coûts d'exploitation ou l'optimisation de la consommation d'énergie ainsi que des performances dynamiques meilleures.

Pour parvenir à cet objectif, nous avons recours à des méthodes d'optimisation avancées qui nous permettent d'explorer efficacement l'espace des solutions et d'identifier les valeurs optimales des paramètres. L'optimisation déterministe est utilisée pour trouver des solutions précises en se basant sur des règles mathématiques rigoureuses. L'optimisation stochastique, quant à elle, repose sur des techniques de recherche aléatoire pour explorer l'espace des solutions de manière plus globale.

Dans ce chapitre, nous commençons par présenter les principes fondamentaux de l'optimisation déterministe. Nous expliquons comment ces méthodes sont adaptées à notre problème d'optimisation des paramètres du micro-réseau et comment elles sont appliquées pour obtenir des valeurs optimales.

Ensuite, nous abordons l'optimisation stochastique et présentons deux algorithmes spécifiques : l'algorithme génétique et le PSO. L'algorithme génétique s'inspire des principes de la théorie de l'évolution pour explorer l'espace des solutions en utilisant des opérations telles que la sélection, le croisement et la mutation. Le PSO s'appuie sur le comportement collectif des particules pour rechercher les régions optimales de l'espace des solutions [11].

Nous détaillons les étapes de mise en oeuvre de ces algorithmes dans le cadre de notre problème d'optimisation des paramètres du micro-réseau. Nous expliquons les paramètres spécifiques qui ont été utilisés, les mécanismes d'adaptation et les stratégies de sélection afin d'obtenir des résultats optimaux.

L'objectif de cette méthodologie d'optimisation est de déterminer les valeurs optimales des paramètres du micro-réseau, telles que la taille du dispositif de stockage, la puissance des panneaux solaires ou les profils de charge des consommateurs. Ces valeurs optimales seront ensuite utilisées dans le chapitre suivant pour la simulation et l'évaluation des performances du micro-réseau.

En résumé, ce chapitre présente la méthodologie d'optimisation utilisée pour trouver les valeurs optimales des paramètres

3.2 Formulation du problème

Pour améliorer la stabilité du micro-réseau, les paramètres du contrôleur, des composants du filtre et des coefficients de statisme de la puissance doivent être optimisés. Le problème de conception est formulé comme suit.

3.2.1 Fonction objectif

En mode connecté au réseau, les paramètres optimisés sont les suivants : k_p^d , k_i^d , k_p^q , k_i^q , l_f , C_f , R_d . Fonctions objectif basées sur les valeurs propres de simulation non linéaire dans le domaine temporel sont proposées comme suit :

A- Optimisation basée sur le modèle linéaire :

Les équations non-linéaire sont linéarisées autour du point de fonctionnement pour aboutir à un système linéaire de la forme :

$$\dot{X} = A_{sys}X + BU \quad (3.1)$$

$$Y = CX + DU \quad (3.2)$$

A partir des valeur propres (λ_i) de la matrice d'état A_{sys} on peut évaluer la stabilité globale du système an adoptant la fonction objectif suivante :

$$Minimiser : J_{linear-model} = \max(Real(\lambda_i)) \quad (3.3)$$

Ici, (λ_i) est la partie réelle de la valeur propre du ième mode. Dans le processus d'optimisation, il vise à minimiser le modèle $J_{linear-model}$ afin de décaler les valeurs propres mal amorties vers la gauche en s avion.

B- Optimisation basée sur le modèle non-linéaire :

On peut utiliser divers critères pour évaluer la stabilité du système, parmi lesquels on peut citer :

$$\text{Intégrale de l'erreur absolue :} \quad IAE = \int_{t_0}^{t_f} |e(t)| dt \quad (3.4)$$

$$\text{Intégrale de l'erreur absolue par le temps :} \quad ITAE = \int_{t_0}^{t_f} t|e(t)| dt \quad (3.5)$$

$$\text{Intégrale du carré de l'erreur :} \quad ISE = \int_{t_0}^{t_f} |e(t)|^2 dt \quad (3.6)$$

$$\text{Intégrale du carré de l'erreur par le temps :} \quad ITSE = \int_{t_0}^{t_f} t|e(t)|^2 dt \quad (3.7)$$

L'erreur peut être $e(t) = (P-P_0)^2 + (Q-Q_0)^2$ du système non linéaire.

En mode autonome, les paramètres optimisés sont k_{pv} , k_{iv} , k_{pc} , k_{ic} , m_p et n_q . La simulation non linéaire dans le domaine temporel fonction objectif donnée en (3.2) est utilisée.

3.2.2 Contraintes du problème

En mode connecté au réseau, les contraintes du problème sont les limites optimisées des paramètres comme suit :

$$K_p^d \min \leq k_p^d \leq k_p^d \max \quad (3.8)$$

$$K_i^d \min \leq k_i^d \leq k_i^d \max \quad (3.9)$$

$$K_q^d \min \leq k_p^q \leq k_p^q \max \quad (3.10)$$

$$K_i^d \min \leq k_i^q \leq k_i^q \max \quad (3.11)$$

$$L_f^m \min \leq L_f \leq L_f^m \max \quad (3.12)$$

$$C_f^m \min \leq C_f \leq C_f^m \max \quad (3.13)$$

$$R_d^m \min \leq R_d \leq R_d^m \max \quad (3.14)$$

En mode autonome, les contraintes du problème sont les suivantes :

$$K_{pv}^m \min \leq k_{pv} \leq k_{pv}^m \max \quad (3.15)$$

$$K_{iv}^m \min \leq k_{iv} \leq k_{iv}^m \max \quad (3.16)$$

$$K_{pc}^m \min \leq k_{pc} \leq k_{pc}^m \max \quad (3.17)$$

$$K_{ic}^m \min \leq k_{ic} \leq k_{ic}^m \max \quad (3.18)$$

$$m_p^m \min \leq m_p \leq m_p^m \max \quad (3.19)$$

$$n_q^m \min \leq n_q \leq n_q^m \max \quad (3.20)$$

3.2.3 Problème d'optimisation

Le problème d'optimisation global peut être formulé comme suit :

$$\text{Minimiser } F_{\text{objectif}}. \quad (3.21)$$

Sous réserve de contraintes associées au mode de fonctionnement comme indiqué dans (2.32)-(2.20). Dans cette étude, PSO est proposé pour résoudre ce problème d'optimisation.

3.3 Méthodes d'optimisation déterministe

L'objectif de l'optimisation déterministe est d'obtenir la meilleure solution globale en fournissant des garanties théoriques que la solution obtenue est effectivement la meilleure solution globale.

Il existe un certain nombre de méthodes d'optimisation déterministes, telles que les méthodes Branch-and-Bound, les méthodes de plan de coupe, les méthodes de décomposition primale-duale, les méthodes d'approximation externe, les méthodes d'approximation interne, les méthodes de différence de convexité, les méthodes de convexité inverse, les méthodes de reformulation-linéarisation, les méthodes Lipschitzian, les méthodes de trajectoire et d'homotopie, les méthodes d'analyse d'intervalle, etc.

Ces méthodes offrent différentes approches pour résoudre des problèmes d'optimisation en fonction de leurs caractéristiques spécifiques. Par exemple, les méthodes Branch-and-Bound sont utilisées pour résoudre des problèmes de programmation entière en explorant systématiquement l'espace de recherche, tandis que les méthodes de plan de coupe ajoutent progressivement des contraintes pour améliorer la solution. Les méthodes de décomposition primale-duale décomposent le problème en sous-problèmes plus petits et les résolvent simultanément, tandis que les méthodes d'approximation externe cherchent à trouver une approximation de la solution optimale.

Ces différentes méthodes d'optimisation déterministes offrent une flexibilité pour résoudre une variété de problèmes d'optimisation dans différents domaines d'application. Le choix de la méthode appropriée dépendra de la nature du problème, des contraintes et des objectifs spécifiques. [5]

3.4 Méthodes d'optimisation stochastique

Tout type de problème peut être résolu à l'aide de techniques d'optimisation stochastique, même si elles ne garantissent pas la meilleure solution globale de manière efficace.

Les méthodes stochastiques ne peuvent fournir une garantie probabiliste de la meilleure solution globale qu'à condition de disposer d'un temps infini.

Cependant, à ce jour, aucun algorithme n'a été développé pour identifier de manière définitive la meilleure solution globale d'un problème d'optimisation général dans un temps fini.

Dans les applications réelles, les techniques d'optimisation stochastique sont plus couramment utilisées que les techniques déterministes, et cela peut s'expliquer pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les méthodes stochastiques ne nécessitent pas une analyse mathématique sophistiquée pour résoudre les problèmes. De plus, par rapport aux méthodes déterministes, les méthodes stochastiques sont souvent mieux adaptées pour traiter des problèmes pratiques à grande échelle. Enfin, grâce aux avancées de la technologie informatique moderne, les méthodes stochastiques sont capables de générer et d'évaluer un grand nombre de solutions en un temps relativement court, ce qui augmente la probabilité de trouver la meilleure solution globale.

De nombreuses techniques d'optimisation stochastique ont été développées pour aborder une large gamme de problèmes complexes à grande échelle. Parmi ces techniques, on trouve l'algorithme génétique, la recherche tabou, l'optimisation par essaims de particules, la recherche de solutions inspirées par la nature, l'optimisation par colonies de fourmis, le recuit simulé, l'escalade, le simplexe descendant, l'algorithme de colonie d'abeilles artificielles, l'intelligence de groupe, l'algorithme d'évolution différentielle, etc. Chaque méthode présente des avantages et des inconvénients spécifiques.

Il est important de choisir la méthode d'optimisation stochastique la mieux adaptée en fonction des caractéristiques du problème à résoudre, des contraintes et des objectifs spécifiques. [10]

3.5 Algorithme génétique

3.5.1 Aperçu générale

L'algorithme génétique est une méthode de résolution de problèmes d'optimisation avec et sans contrainte qui est basée sur la sélection naturelle, le processus qui conduit l'évolution biologique. L'algorithme génétique modifie à plusieurs reprises une population de solutions individuelles. À chaque étape, l'algorithme génétique sélectionne des individus de la population actuelle comme parents et les utilise pour produire les enfants de la génération suivante. Au fil des générations successives, la population « évolue » vers une solution optimale. Vous pouvez appliquer l'algorithme génétique pour résoudre une variété de problèmes d'optimisation qui ne sont pas bien adaptés aux algorithmes d'optimisation standard, y compris les problèmes dans lesquels la fonction objectif est discontinue,

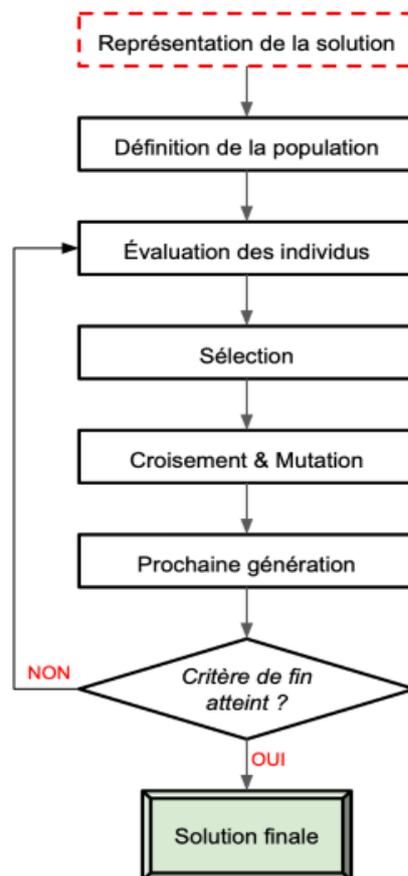


FIGURE 3.1 – Principe de fonctionnement d'un AG

non différentiable, stochastique, ou fortement non linéaire. L'algorithme génétique peut résoudre des problèmes de programmation entière mixte, où certains composants sont limités à des valeurs entières.

Cet organigramme décrit les principales étapes algorithmiques. Pour plus de détails, voir Fonctionnement de l'algorithme génétique [7].

L'algorithme génétique utilise trois principaux types de règles à chaque étape pour créer la génération suivante à partir de la population actuelle :

Les règles de sélection sélectionnent les individus, appelés parents, qui contribuent à la population à la génération suivante. La sélection est généralement stochastique et peut dépendre des scores des individus.

Les règles de croisement combinent deux parents pour former des enfants pour la prochaine génération.

Les règles de mutation appliquent des changements aléatoires aux parents individuels

pour former des enfants.

3.5.2 Comment fonctionne l'algorithme génétique

1. L'algorithme commence par créer une population initiale aléatoire.
2. L'algorithme crée alors une séquence de nouvelles populations. A chaque étape, l'algorithme utilise les individus de la génération actuelle pour créer la population suivante. Pour créer la nouvelle population, l'algorithme effectue les étapes suivantes :
 - a. Note chaque membre de la population actuelle en calculant sa valeur de fitness. Ces valeurs sont appelées scores de fitness bruts.
 - b. Met à l'échelle les scores de fitness bruts pour les convertir en une plage de valeurs plus utilisable. Ces valeurs mises à l'échelle sont appelées valeurs d'attente.
 - c. Sélectionne les membres, appelés parents, en fonction de leurs attentes.
 - d. Certains des individus de la population actuelle qui ont une condition physique inférieure sont choisis comme élites . Ces individus d'élite sont transmis à la population suivante.
 - e. Produit des enfants des parents. Les enfants sont produits soit en apportant des modifications aléatoires à un seul parent - mutation - soit en combinant les entrées vectorielles d'une paire de parents - croisement .
 - f. Remplace la population actuelle par les enfants pour former la prochaine génération.
3. L'algorithme s'arrête lorsqu'un des critères d'arrêt est rempli. Voir Conditions d'arrêt de l'algorithme .
4. L'algorithme prend des étapes modifiées pour les contraintes linéaires et entières. Voir Contraintes d'entier et linéaires .
5. L'algorithme est encore modifié pour les contraintes non linéaires [16]

3.6 Optimisation de l'essaim de particules

L'optimisation des essaims de particules (PSO) est une approche basée sur la population. technique d'optimisation stochastique développée par Kennedy et Eberhart [17] en 1995, inspiré par le comportement social des troupeaux d'oiseaux ou des bancs de poissons.

Le mouvement des particules a été affecté par l'inertie, le meilleur personnel et le meilleur du groupe.

L'inertie est la tendance des particules à se déplacer dans la direction du mouvement d'origine.

Le record personnel est la meilleure estimation de fonction objectif pour cette particule. La meilleure position du groupe est la meilleure solution représentée par l'essaim à un moment donné marcher.

L'interaction de ces composantes génère une direction de mouvement correspondant à chaque particule pour le prochain pas.

3.6.1 Avantages de PSO

Les avantages de PSO par rapport aux autres techniques d'optimisation traditionnelles, sont les suivants [18] :

1. PSO est un algorithme de recherche basé sur la population, il est donc moins susceptible d'être piégé dans des minima locaux.
2. Il utilise des informations sur les gains (fonction objectif) pour guider la recherche dans l'espace du problème.
3. Il est plus souple et plus robuste que les méthodes conventionnelles car elle utilise des règles de transition probabilistes.
4. Elle peut surmonter le problème de la convergence prématurée et de convergence prématurée et améliore la capacité de recherche.
5. La qualité de la solution de l'approche proposée ne dépend pas de la population initiale.
6. L'algorithme garantit la convergence vers la solution optimale à partir de n'importe quel point de l'espace de recherche.

3.6.2 Algorithme PSO

Dans un algorithme PSO, la population est composée de particules qui représentent des solutions candidates. Chaque particule est un vecteur à valeurs réelles à n dimensions, où n est le nombre de paramètres optimisés.

Par conséquent, chaque paramètre optimisé représente une dimension de l'espace du problème. La technique PSO peut être décrite en suivant les étapes suivantes [6] :

Étape 1) (Initialisation) :

1. Réglez le compteur de temps.
2. Générez aléatoirement n particules et attribuez des vitesses initiales aléatoires à ces particules.

3. Pour chaque particule, évaluez la fonction objectif, puis recherchez la meilleure valeur de cette fonction objectif et assignez cette valeur comme la meilleure fonction globale J_{best} et la meilleure particule globale x_{best} .
4. Définissez la valeur initiale du poids d'inertie, qui est un paramètre de contrôle utilisé pour réguler l'impact de la vitesse précédente sur la vitesse actuelle w , comme indiqué dans l'équation (2.34).

Étape 2) (Mise à jour de l'heure) : Mettez à jour le compteur de temps.

Étape 3) (Mise à jour du poids) : Mettez à jour le poids d'inertie en utilisant l'équation suivante :

$$\omega(t) = \alpha\omega(t - 1) \quad (3.22)$$

où α est une constante de décrémentation inférieure à, mais proche de 1.

Étape 4) (Mise à jour de la vitesse) : Mettez à jour la vitesse en utilisant l'équation suivante :

$$\omega_{n+1}^i = \omega v_n^i + c_1 r_1 (p_{\text{best}} - x_n^i) + c_2 r_2 (g_{\text{best}} - x_n^i) \quad (3.23)$$

où c_1 et c_2 sont des constantes positives et r_1 et r_2 sont des nombres aléatoires uniformément distribués dans l'intervalle $[0,1]$. Le deuxième terme représente la partie cognitive de PSO, où la particule modifie sa vitesse en fonction de sa pensée et de sa mémoire, tandis que le troisième terme représente la partie sociale de PSO, où la particule modifie sa vitesse en fonction de l'adaptation socio-psychologique des connaissances.

Étape 5) (Mise à jour de la position) : À partir des vitesses mises à jour, chaque particule modifie sa position en utilisant l'équation suivante :

$$x_{n+1}^i = x_n^i + v_{n+1}^i \quad (3.24)$$

Étape 6) (Mise à jour individuelle optimale) : Chaque particule est évaluée en fonction de sa position mise à jour. Si la fonction de coût de cette particule à ce moment est inférieure au meilleur résultat global J_j^* , alors mettez à jour le meilleur individu comme meilleur global et passez à l'étape 7 ; sinon, passez à l'étape 7.

Étape 7) (Mise à jour du meilleur global) : Recherchez la valeur minimale parmi les meilleurs globaux J_j^* , où \min est l'indice de la particule avec la plus petite valeur de la fonction objectif. Si $J_{\min} > J^{**}$, alors mettez à jour le meilleur global comme $X^{**} = X_{\min}$ et $J^{**} = J_{\min}$, et passez à l'étape 8 ; sinon, passez à l'étape 8.

Étape 8) (Critère d'arrêt) : Le processus de recherche sera terminé si l'une des conditions suivantes est remplie :

1. Le nombre d'itérations depuis le dernier changement de la meilleure solution est supérieur à un nombre prédéfini.

3.7 Mise en oeuvre de PSO

L'approche basée sur PSO proposée a été implémentée à l'aide du code MATLAB. Le diagramme de flux de calcul de l'approche de conception optimale basée sur PSO proposée est présenté à la Figure 13.

Pratiquement, notre expérience montre que les paramètres les plus efficaces sur les performances de PSO sont le poids d'inertie initial et la vitesse maximale autorisée. Il convient de mentionner que ces paramètres doivent être sélectionnés avec soin pour assurer des performances efficaces de PSO. Dans cette étude, les paramètres PSO suivants ont été sélectionnés :

1. Taille de la population = 20 ;
2. Constantes d'accélération : $c_1, c_2 = 2$;
3. Génération ou itération = 100 ;
4. Facteur de poids d'inertie = 1 ;
5. Constante de décroissance (α) = 0.98.

3.8 Conclusion

En somme, ce chapitre a présenté une méthodologie d'optimisation complète pour déterminer les valeurs optimales des paramètres d'un micro-réseau. Nous avons examiné deux approches principales, à savoir l'optimisation déterministe et l'optimisation stochastique, en mettant en évidence les algorithmes génétiques et le PSO (Particle Swarm Optimization). Ces méthodes avancées nous permettent d'explorer efficacement l'espace des solutions, contribuant ainsi à améliorer les performances énergétiques et la gestion du micro-réseau.

En particulier, nous avons mis l'accent sur l'utilisation de l'algorithme PSO. Le PSO s'inspire du comportement collectif des particules pour rechercher les régions optimales de l'espace des solutions. Nous avons expliqué en détail les étapes de mise en oeuvre de cet algorithme dans le cadre de notre problème d'optimisation des paramètres du micro-réseau.

Les valeurs optimales des paramètres identifiées dans ce chapitre joueront un rôle crucial dans la simulation et l'évaluation des performances du micro-réseau dans le chapitre suivant. Grâce à ces valeurs optimales, nous pourrions analyser les impacts sur la consommation d'énergie, la production d'énergie renouvelable et les coûts d'exploitation du micro-réseau. Cela nous permettra de mieux comprendre l'efficacité et la viabilité du micro-réseau, ainsi que d'identifier d'éventuelles améliorations à apporter.

En conclusion, la méthodologie d'optimisation présentée dans ce chapitre, en mettant en évidence l'algorithme PSO, nous permettent d'obtenir des valeurs optimales des paramètres pour notre micro-réseau. Ces résultats constitueront une base solide pour la poursuite de notre étude dans le chapitre suivant, où nous analyserons en détail les performances du micro-réseau en utilisant ces valeurs optimales.

CHAPITRE 4

SIMULATION DE CAS PRATIQUES

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous nous pencherons sur un aspect essentiel de l'analyse des micro-réseaux autonomes : la simulation à l'aide de MATLAB Simulink. La simulation joue un rôle crucial dans l'évaluation des performances et la compréhension du comportement d'un système, en nous permettant d'obtenir des résultats proches de la réalité.

Nous présenterons un modèle de simulation développé dans MATLAB Simulink pour un micro-réseau autonome alimenté en courant alternatif. Ce modèle nous permettra d'analyser en détail le fonctionnement du système et d'étudier ses performances dans différentes conditions.

Les simulations seront effectuées à l'aide du logiciel MATLAB Simulink, largement utilisé dans le domaine de l'ingénierie électrique pour modéliser et simuler des systèmes énergétiques complexes. Nous chercherons à comprendre les avantages et les améliorations qu'un micro-réseau autonome peut apporter par rapport aux réseaux traditionnels.

L'objectif de ce chapitre est de fournir une analyse approfondie du comportement du micro-réseau autonome à travers des simulations précises et fiables. Nous étudierons les performances du système en examinant des paramètres tels que la stabilité du réseau, l'équilibre de charge et l'efficacité énergétique.

4.2 Modèle de Micro-réseau Électrique

Pour évaluer l'efficacité et la stabilité du contrôleur proposé, un prototype à échelle réduite a été construit, comme illustré dans la Figure 4.1 ci-dessous :

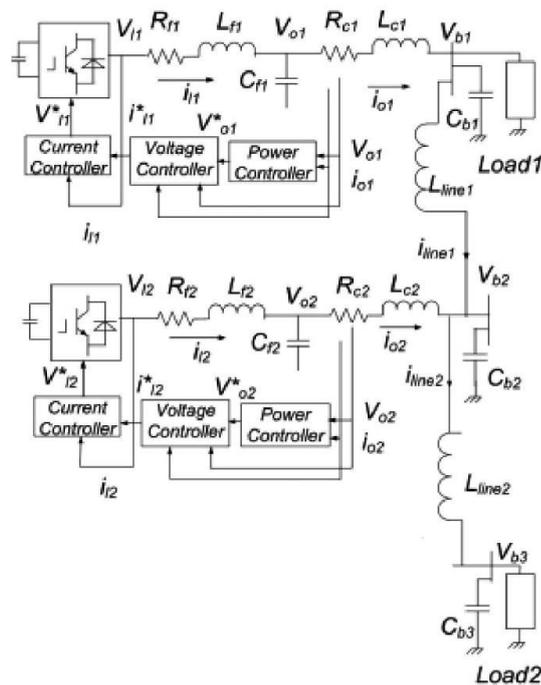


FIGURE 4.1 – Circuit équivalent et structure de contrôle du micro-réseau

Ce dispositif expérimental se compose de deux générateurs à onduleur connectés à deux bancs de charge via un filtre LC en série, reproduisant ainsi avec précision les caractéristiques d'un micro-réseau électrique.

Pour une compréhension approfondie de la configuration électrique et du système de contrôle, nous avons répertorié tous les paramètres essentiels dans le tableau présenté en Annexe 2.

4.3 Simulation globale avec MATLAB

Le schéma de simulation du système global sous MATLAB/SIMULINK est illustré sur la figure 4.2.

4.4 Méthodologie de Simulation

Dans le cadre de notre étude, nous avons élaboré une méthodologie de simulation en trois phases essentielles visant à analyser le comportement d'un micro-réseau électrique.

Simulation 1 : Observation du Comportement sans Perturbation

La première simulation avait pour objectif d'étudier le comportement du système en l'absence de perturbations externes. Cette phase nous a permis d'établir une référence pour évaluer les variations ultérieures. Nous avons configuré le micro-réseau avec des paramètres initiaux stables, collecté les données pertinentes, et analysé son comportement dans des conditions normales.

Simulation 2 : Analyse de l'Impact des Variations des Paramètres de Régulateurs

La deuxième simulation avait pour but d'explorer l'impact des variations des paramètres de régulateurs, tels que M_p , M_q , K_{pu} , K_{iu} , K_{pc} , et K_{ic} , sur le système. Nous avons méthodiquement ajusté ces paramètres pour évaluer leur influence sur les performances du micro-réseau. Pour une analyse approfondie, nous avons choisi de présenter deux variations significatives de chaque paramètre.

Simulation 3 : Optimisation des Paramètres de Régulateurs pour Améliorer la Précision

La troisième simulation s'est concentrée sur l'optimisation des paramètres de régulateurs en utilisant la technique d'optimisation PSO (*Particle Swarm Optimization*) afin d'améliorer la précision globale du modèle du micro-réseau électrique. Cette phase visait à déterminer les valeurs optimales des paramètres de régulation pour maximiser les performances.

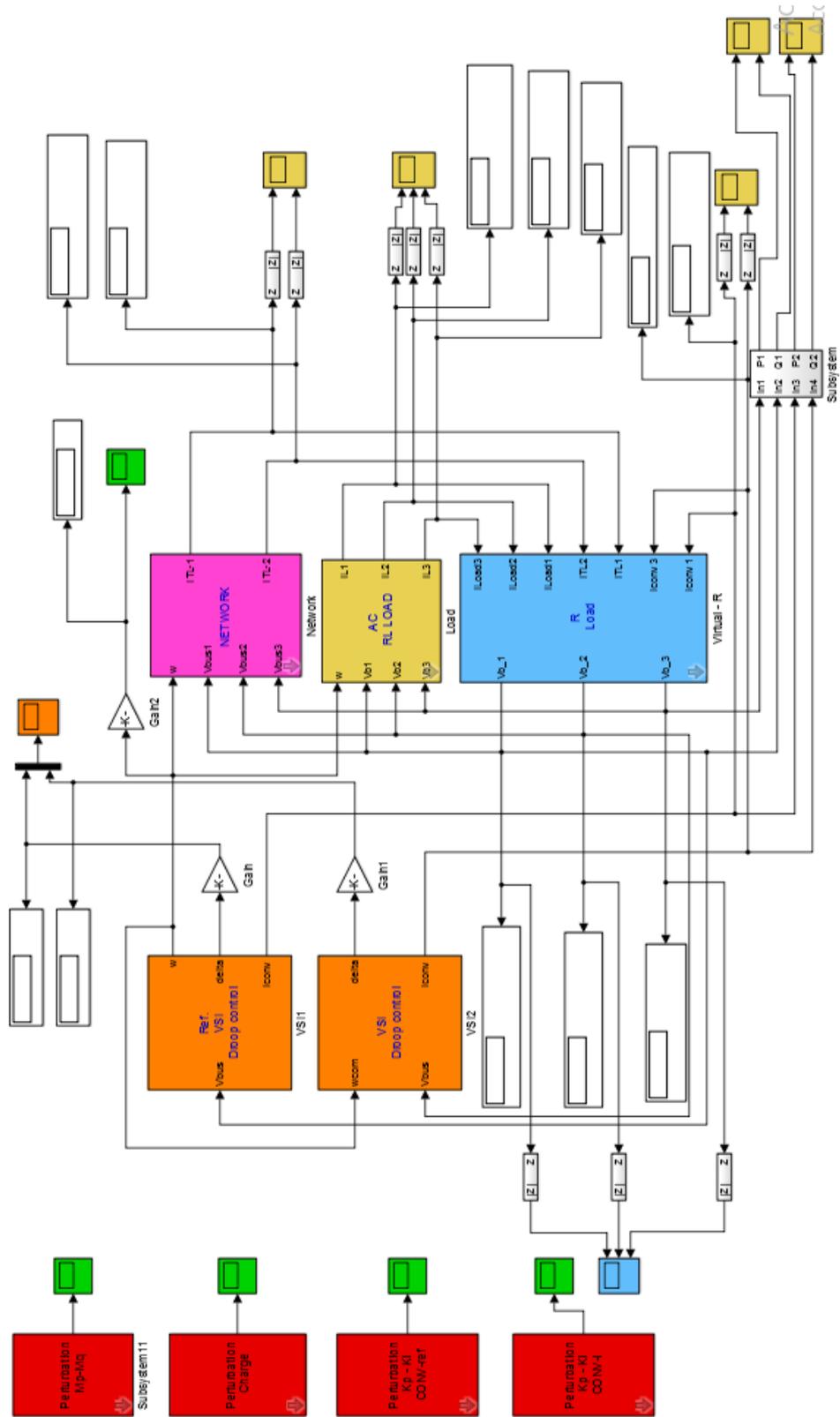


FIGURE 4.2 – Montage global de simulation

4.5 Résultat de simulation

Dans cette section axée sur les résultats, nous exposons les données générées par nos simulations du micro-réseau électrique, exécutées en stricte conformité avec la méthodologie préalablement énoncée.

4.5.1 Résultats de la Simulation 1

Pour les résultats issus de la première simulation évaluant le système en l'absence de perturbations, nous obtenons les données suivantes :

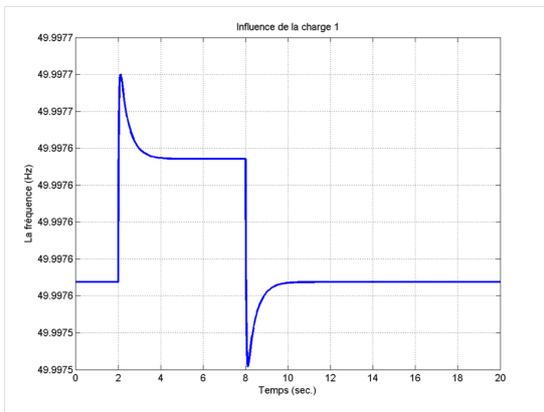


FIGURE 4.3 – Variation de la fréquence.

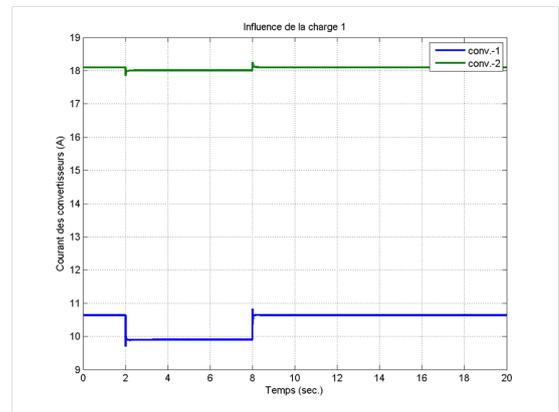


FIGURE 4.4 – Variation des courantes des convertisseurs .

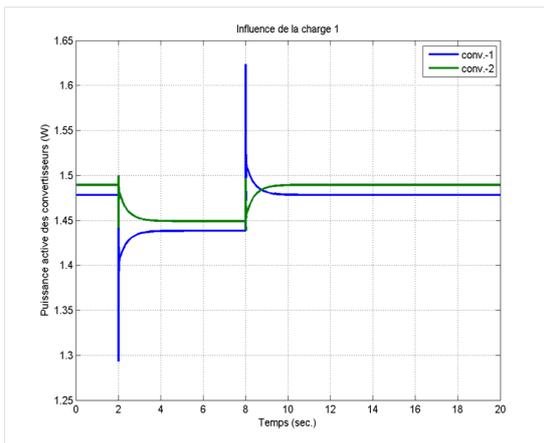


FIGURE 4.5 – Variation des puissance actives des convertisseurs.

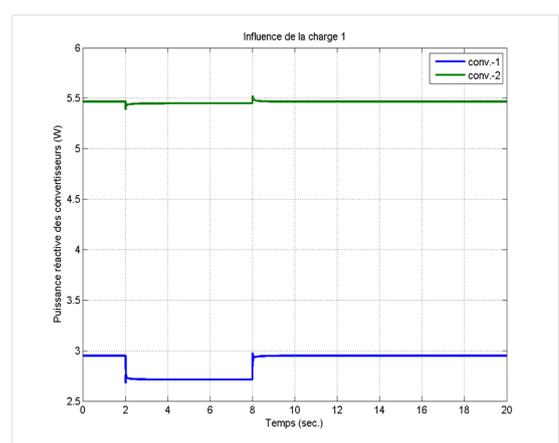
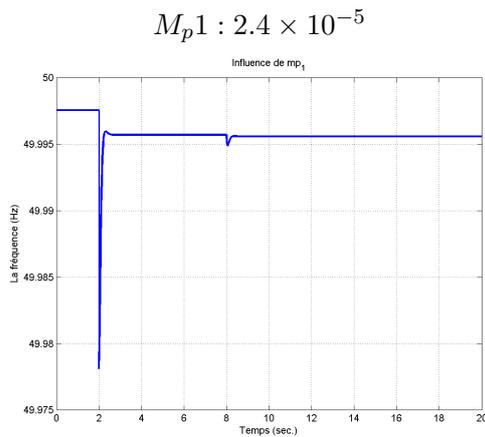


FIGURE 4.6 – Variation de la puissance réactive des convertisseurs.

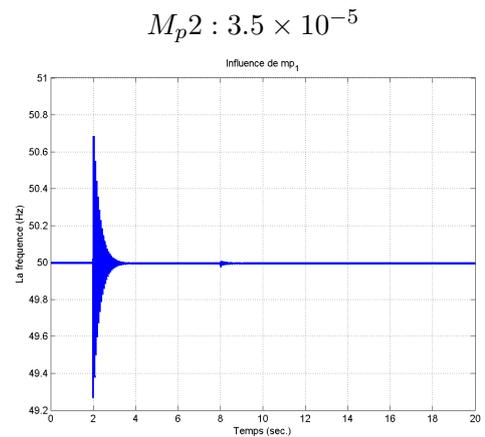
4.5.2 Résultats de la Simulation 2

Dans cette section, nous examinons l'impact des paramètres de régulateurs sur différentes grandeurs, notamment la fréquence (F), le courant de conversion (Iconv), la puissance active de conversion (Pconv) et la puissance réactive de conversion (Qconv). Nous avons varié les paramètres de régulateurs pour étudier leur influence sur ces grandeurs.

Impact de M_p sur F, Iconv, Pconv et Qconv

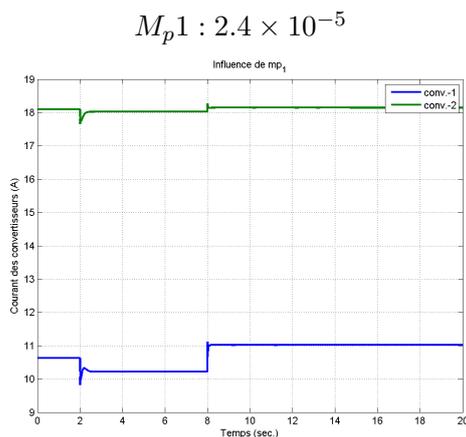


(a) Variation de Mp 1 sur la fréquence.

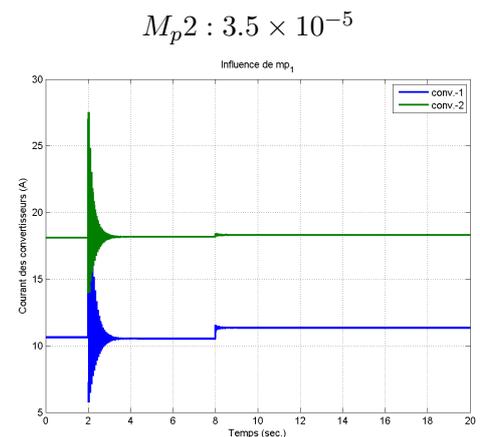


(b) Variation de Mp 2 sur la fréquence.

FIGURE 4.7 – Comparaison des variations de Mp sur la fréquence.

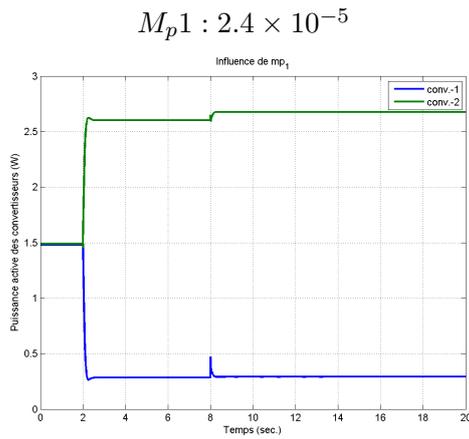


(a) Variation de Mp 1 sur les courants des convertisseurs.

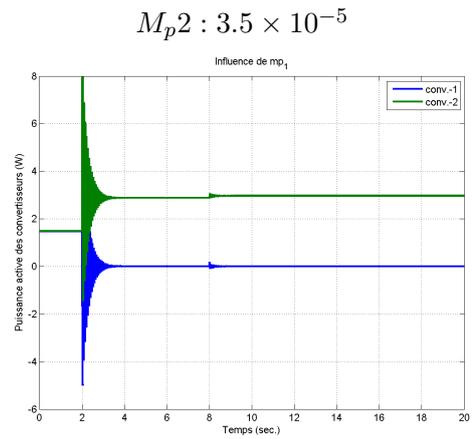


(b) Variation de Mp 2 sur les courants des convertisseurs.

FIGURE 4.8 – Comparaison des variations de Mp sur les courants des convertisseurs.

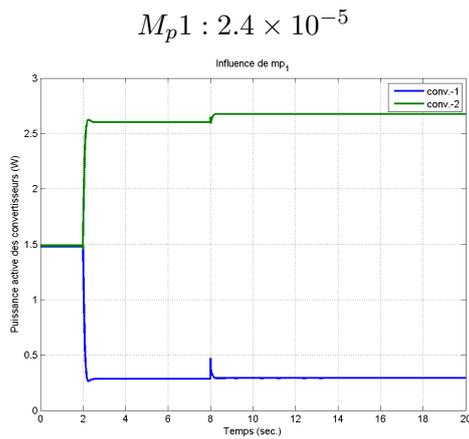


(a) Influence de M_p sur les puissances actives.

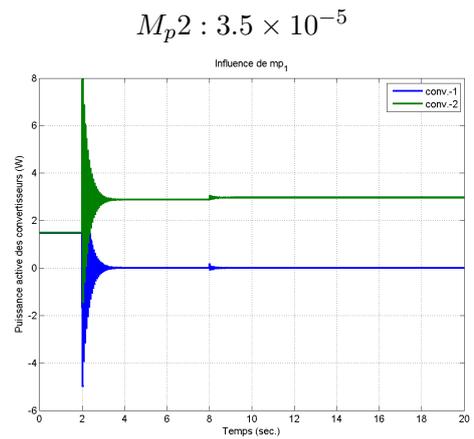


(b) Influence de M_p sur les puissances actives.

FIGURE 4.9 – Comparaison des variations de M_p sur les puissances actives.



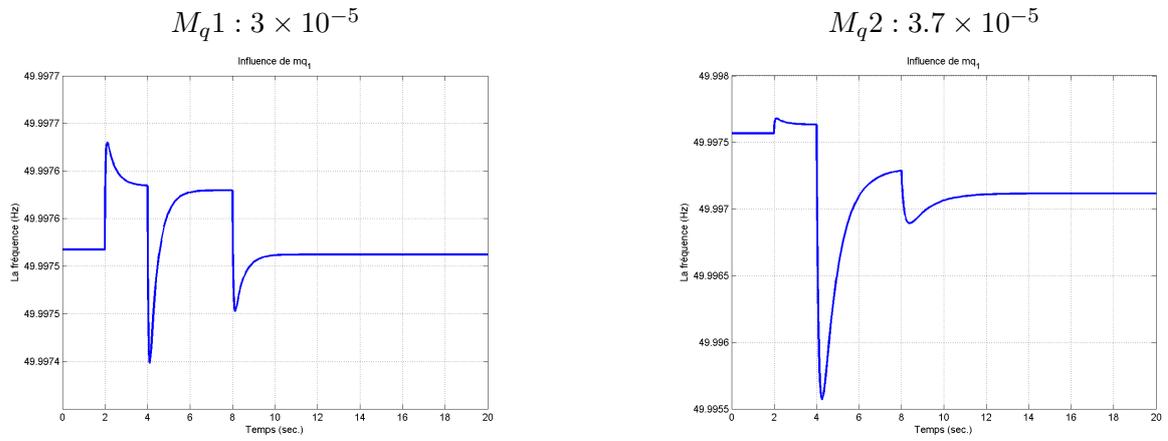
(a) Influence de M_p sur les puissances réactives.



(b) Influence de M_p sur les puissances réactives.

FIGURE 4.10 – Comparaison des variations de M_p sur les puissances réactives.

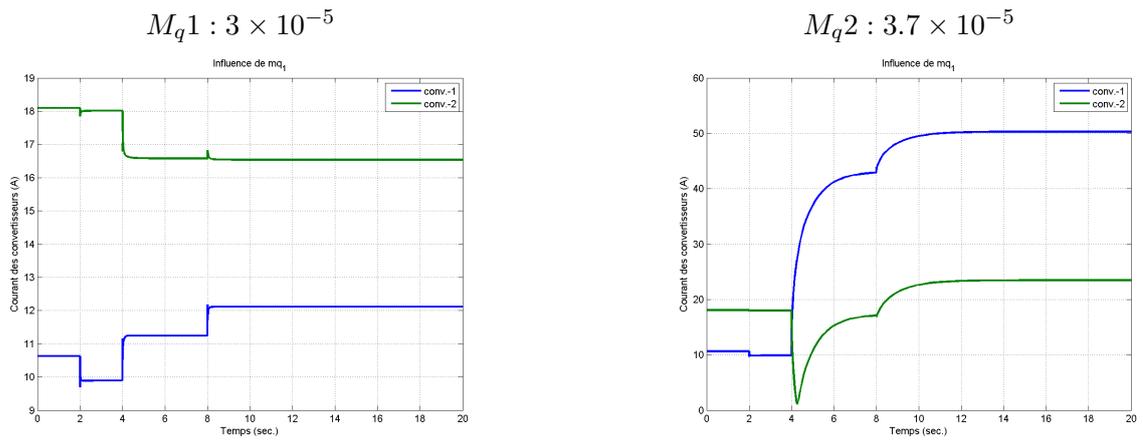
Impact de M_q sur F, Iconv, Pconv et Qconv



(a) Variation de Mp 1 sur la fréquence.

(b) Variation de Mp 2 sur la fréquence.

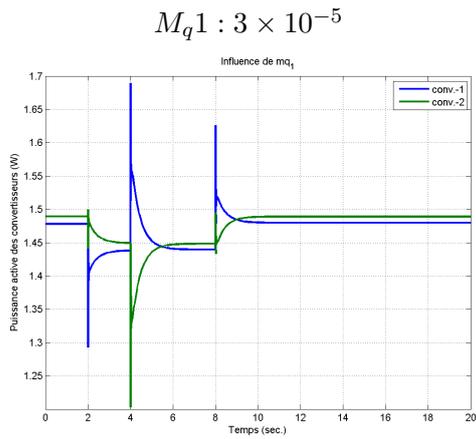
FIGURE 4.11 – Comparaison des variations de Mp sur la fréquence.



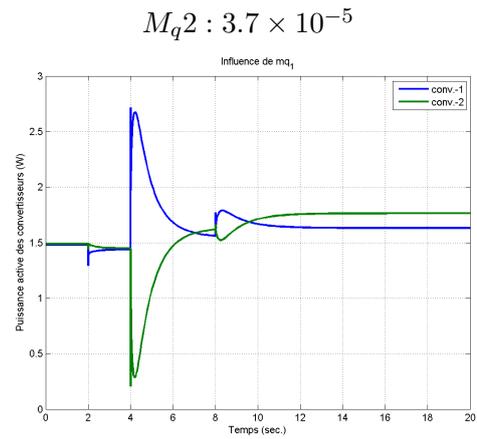
(a) Variation de Mp 1 sur les courants des convertisseurs.

(b) Variation de Mp 2 sur les courants des convertisseurs.

FIGURE 4.12 – Comparaison des variations de Mp sur les courants des convertisseurs.

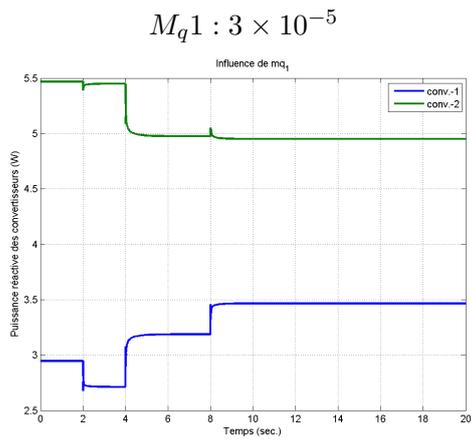


(a) Influence de M_p sur les puissances actives.

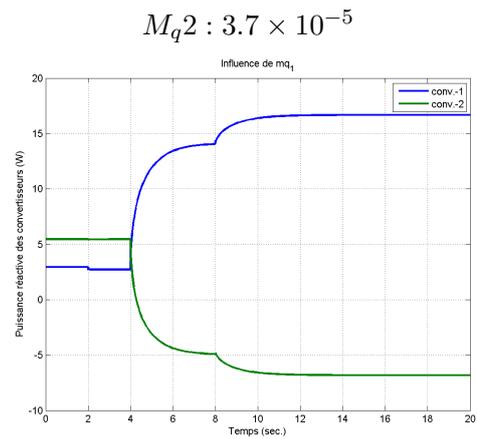


(b) Influence de M_p sur les puissances actives.

FIGURE 4.13 – Comparaison des variations de M_p sur les puissances actives.



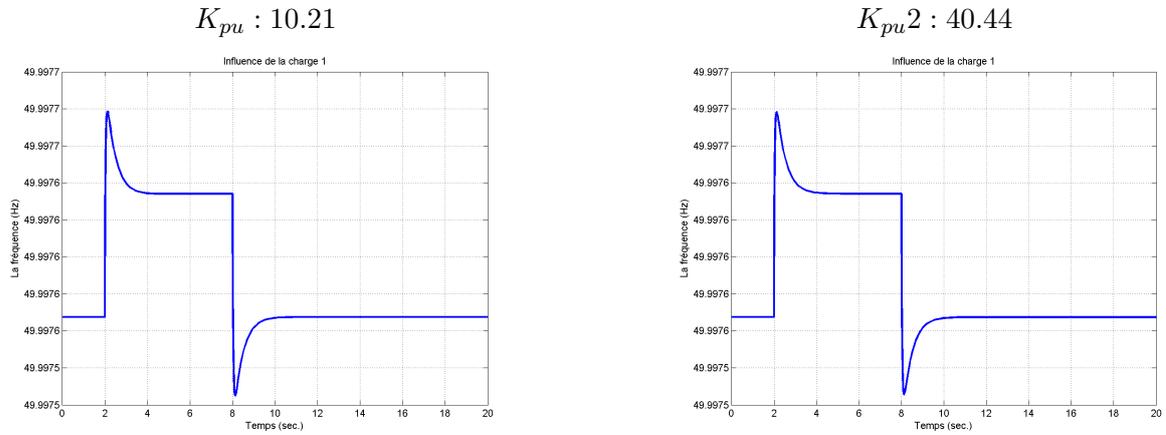
(a) Influence de M_p sur les puissances réactives.



(b) Influence de M_p sur les puissances réactives.

FIGURE 4.14 – Comparaison des variations de M_p sur les puissances réactives.

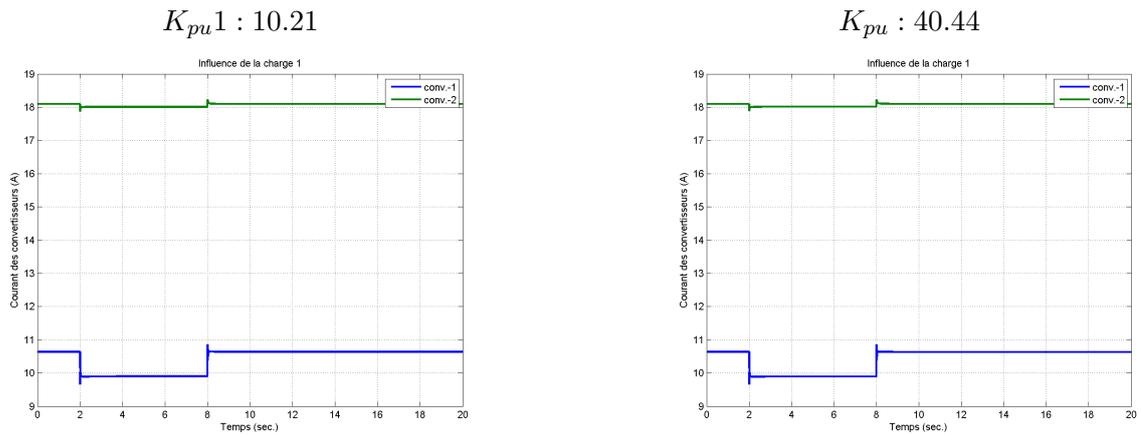
Impact de K_{pu} sur F, Iconv, Pconv et Qconv



(a) Variation de K_{pu} 1 sur la fréquence.

(b) Variation de K_{pu} 2 sur la fréquence.

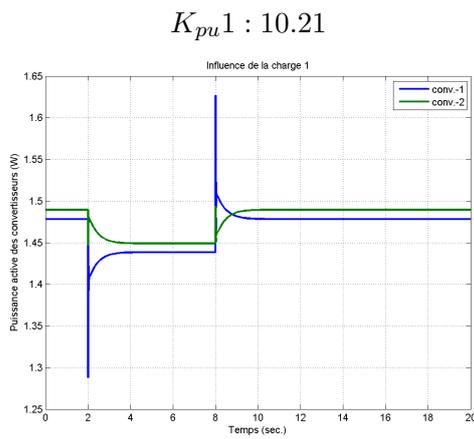
FIGURE 4.15 – Comparaison des variations de Mp sur la fréquence.



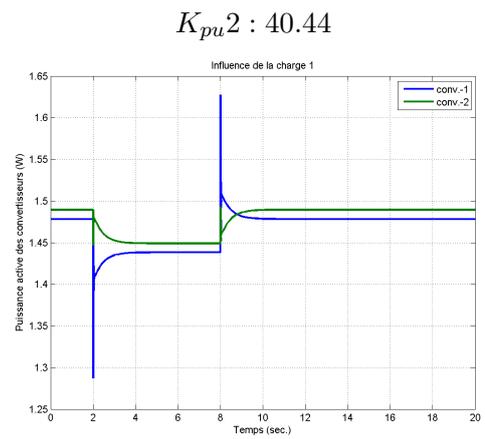
(a) Variation de K_{pu} 1 sur les courants des convertisseurs.

(b) Variation de K_{pu} 2 sur les courants des convertisseurs.

FIGURE 4.16 – Comparaison des variations de K_{pu} sur les courants des convertisseurs.

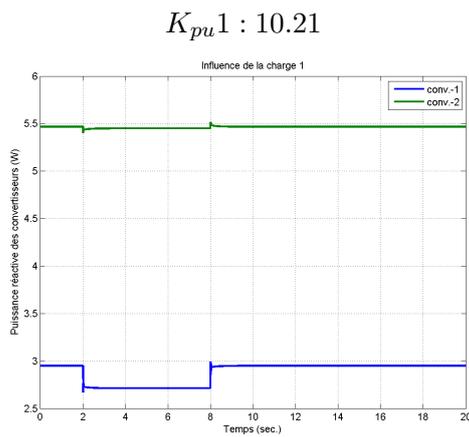


(a) Influence de $K_{pu} 1$ sur les puissances actives.

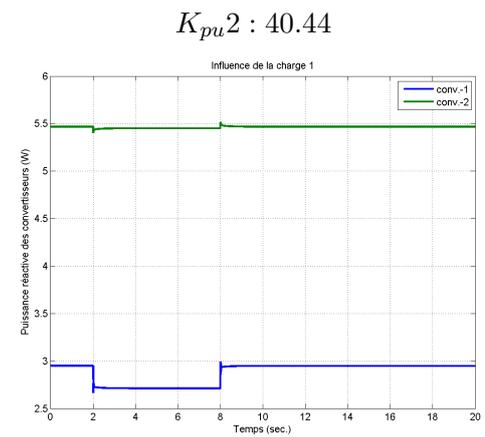


(b) Influence de $K_{pu} 2$ sur les puissances actives.

FIGURE 4.17 – Comparaison des variations de K_{pu} sur les puissances actives.



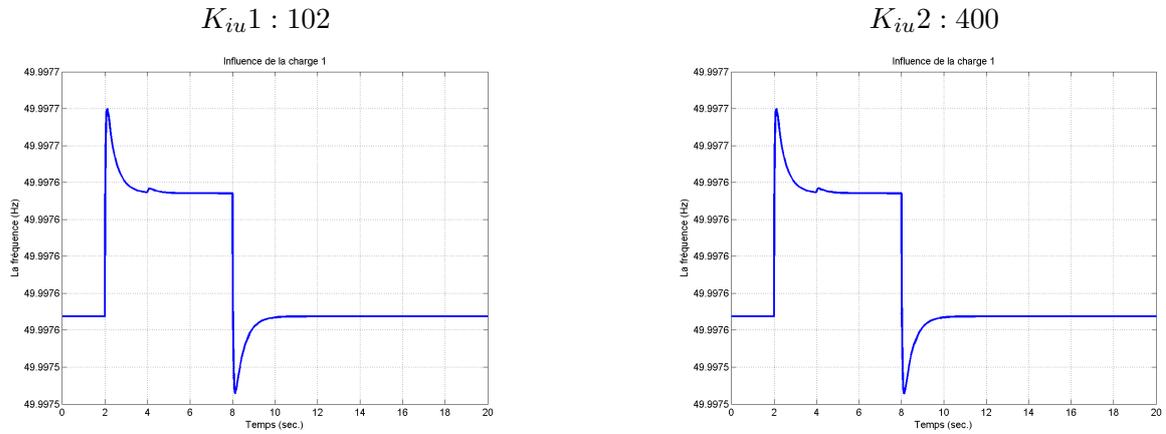
(a) Influence de $K_{pu} 1$ sur les puissances réactives.



(b) Influence de $K_{pu} 2$ sur les puissances réactives.

FIGURE 4.18 – Comparaison des variations de K_{pu} sur les puissances réactives.

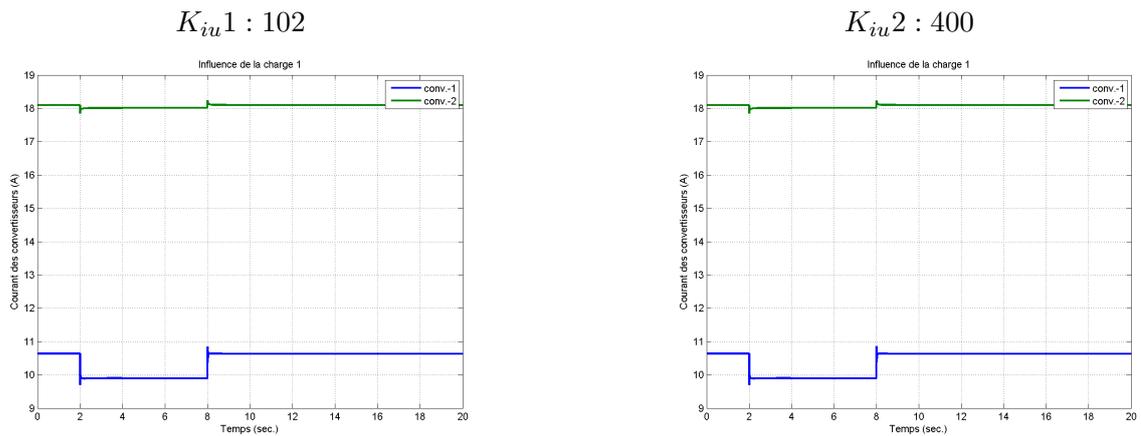
Impact de K_{iu} sur F, Iconv, Pconv et Qconv



(a) Variation de K_{iu} 1 sur la fréquence.

(b) Variation de K_{iu} 2 sur la fréquence.

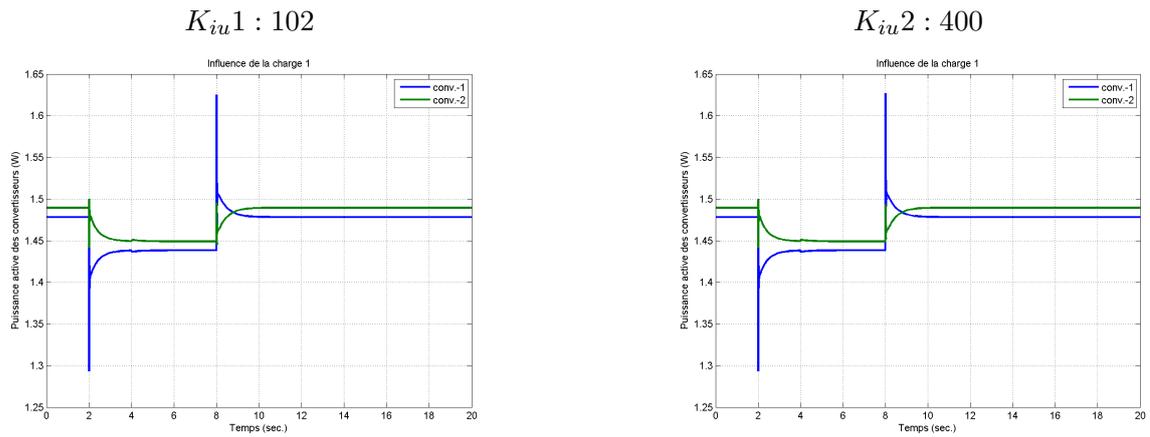
FIGURE 4.19 – Comparaison des variations de K_{iu} sur la fréquence.



(a) Variation de K_{iu} 1 sur les courants des convertisseurs.

(b) Variation de K_{iu} 2 sur les courants des convertisseurs.

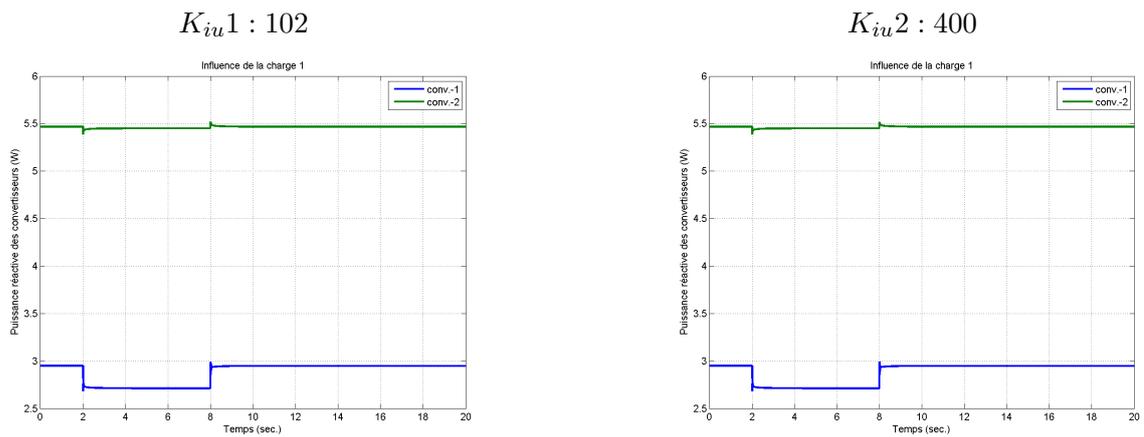
FIGURE 4.20 – Comparaison des variations de K_{iu} sur les courants des convertisseurs.



(a) Influence de $K_{iu} 1$ sur les puissances actives.

(b) Influence de $K_{iu} 2$ sur les puissances actives.

FIGURE 4.21 – Comparaison des variations de K_{iu} sur les puissances actives.

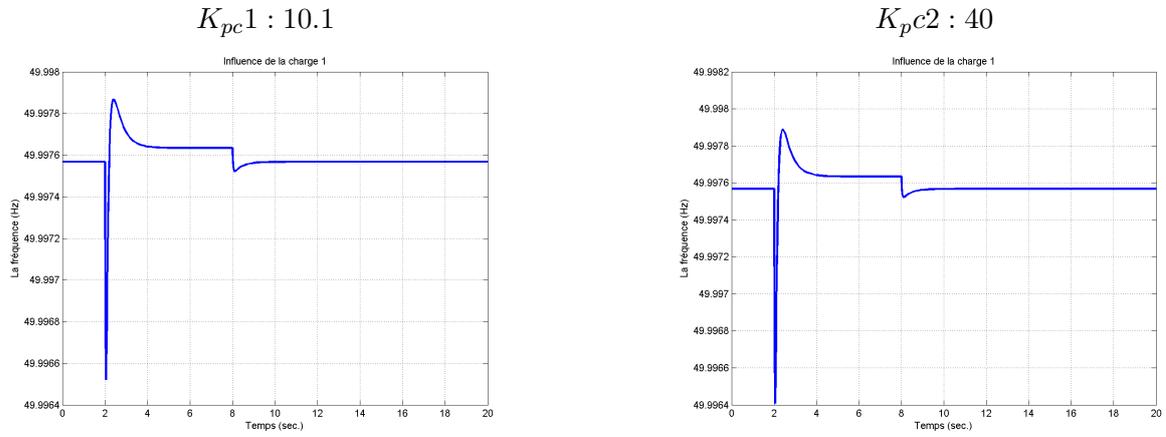


(a) Influence de $K_{iu} 1$ sur les puissances réactives.

(b) Influence de $K_{iu} 2$ sur les puissances réactives.

FIGURE 4.22 – Comparaison des variations de K_{iu} sur les puissances réactives.

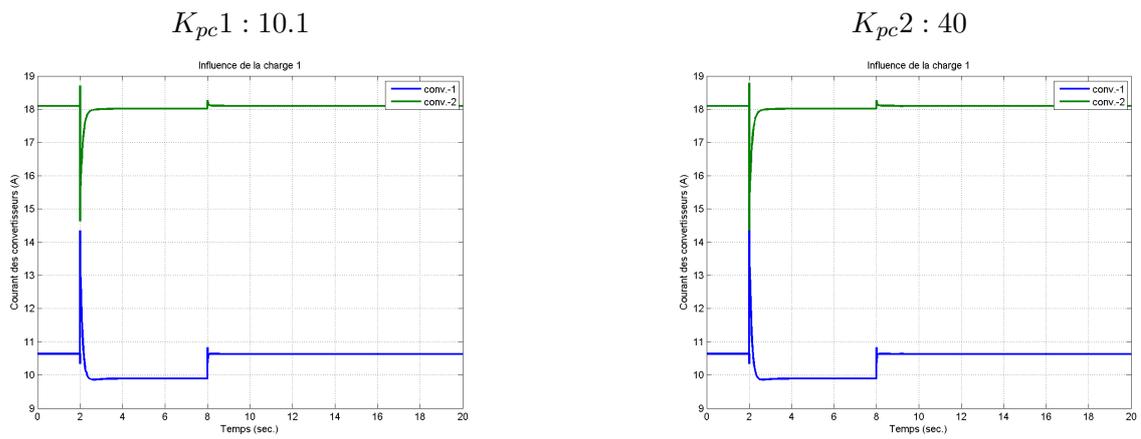
Impact de K_{pc} sur F, Iconv, Pconv et Qconv



(a) Variation de $K_{pc} 1$ sur la fréquence.

(b) Variation de $K_{pc} 2$ sur la fréquence.

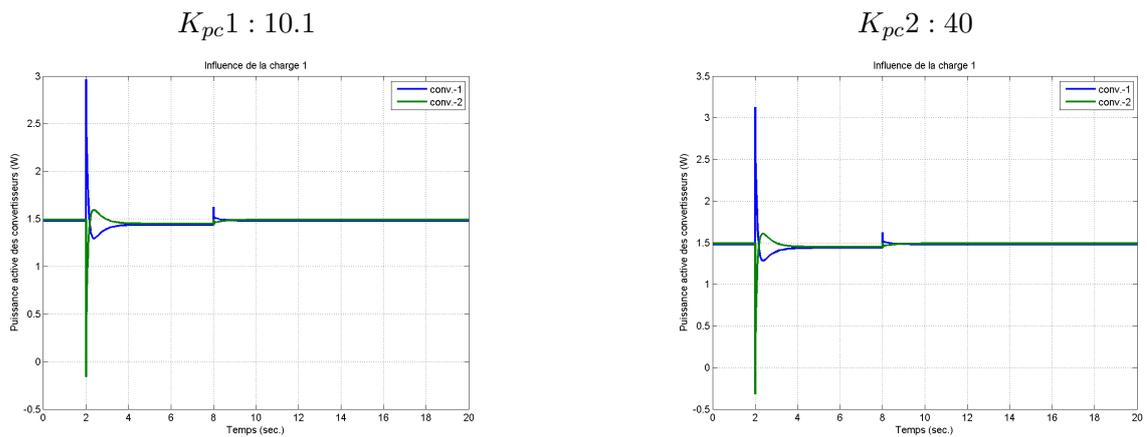
FIGURE 4.23 – Comparaison des variations de K_{pc} sur la fréquence.



(a) Variation de $K_{pc} 1$ sur les courants des convertisseurs.

(b) Variation de $K_{pc} 2$ sur les courants des convertisseurs.

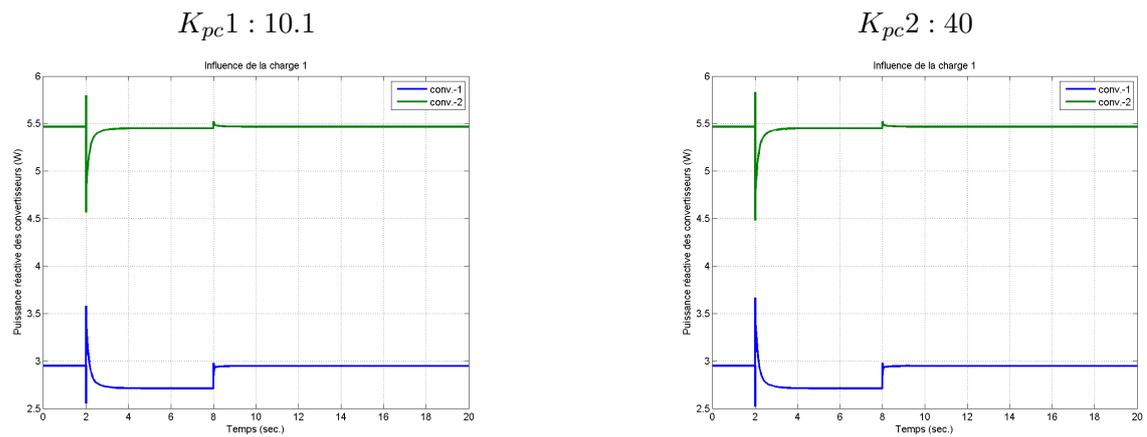
FIGURE 4.24 – Comparaison des variations de K_{pc} sur les courants des convertisseurs.



(a) Influence de K_{pc} 1 sur les puissances actives.

(b) Influence de K_{pc} 2 sur les puissances actives.

FIGURE 4.25 – Comparaison des variations de K_{pc} sur les puissances actives.

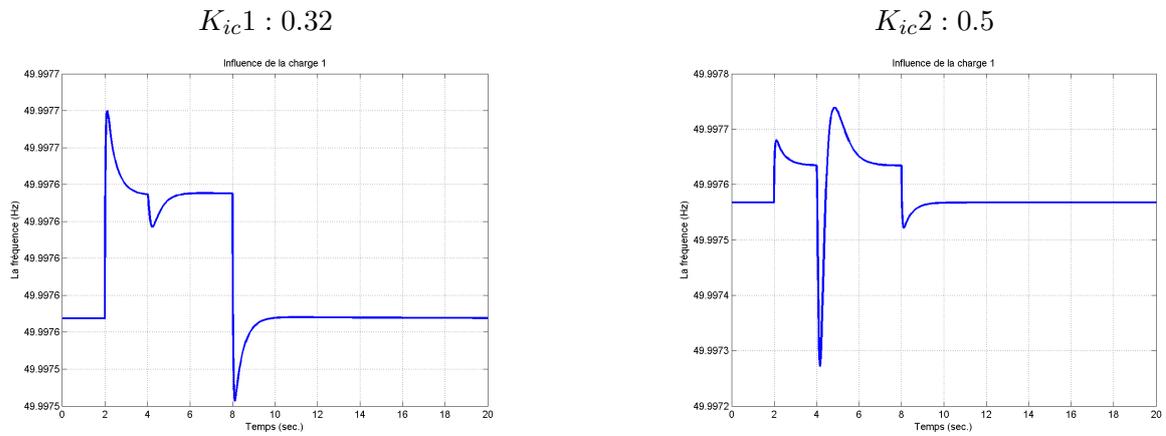


(a) Influence de K_{pc} 1 sur les puissances réactives.

(b) Influence de K_{pc} 2 sur les puissances réactives.

FIGURE 4.26 – Comparaison des variations de K_{pc} sur les puissances réactives.

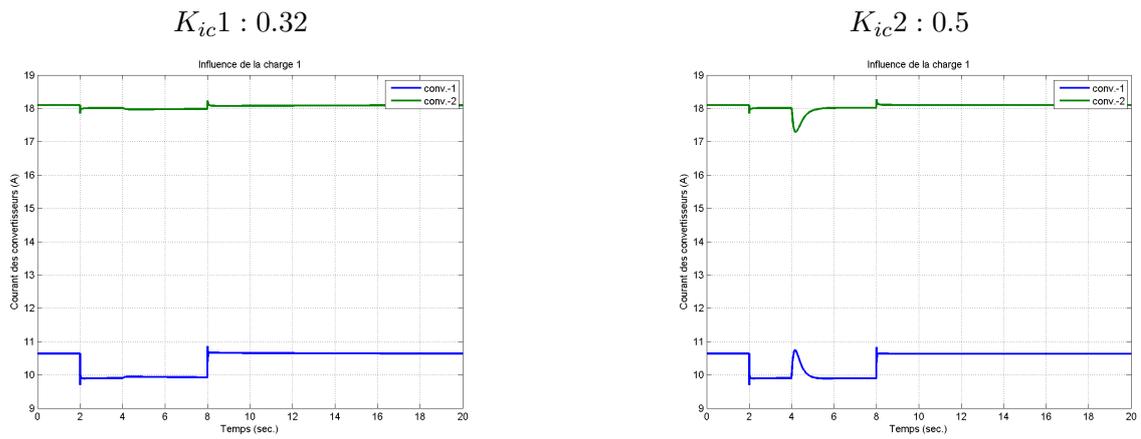
Impact de K_{ic} sur F, Iconv, Pconv et Qconv



(a) Influence de K_{ic} 1 sur la fréquence.

(b) Influence de K_{ic} 2 sur la fréquence.

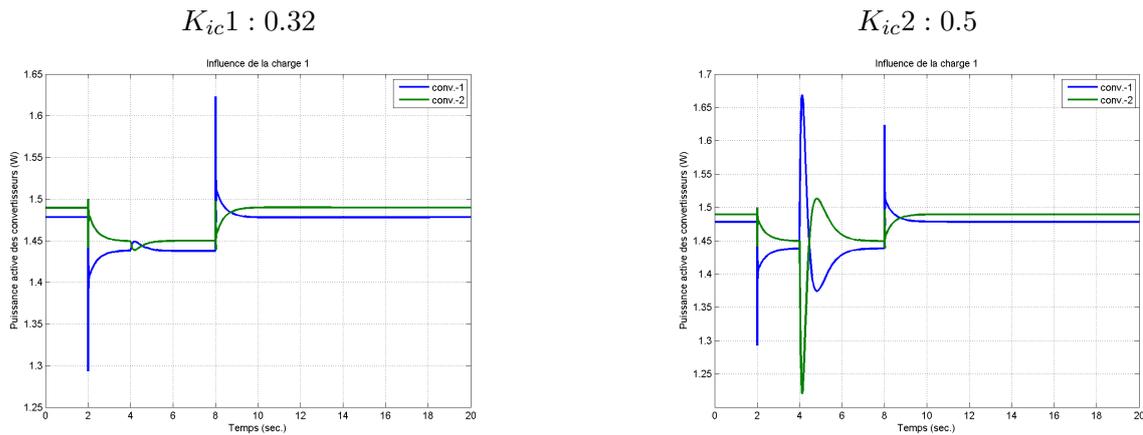
FIGURE 4.27 – Comparaison des variations de K_{ic} sur la fréquence.



(a) Influence de K_{ic} 1 sur les courants des convertisseurs.

(b) Influence de K_{ic} 2 sur les courants des convertisseurs.

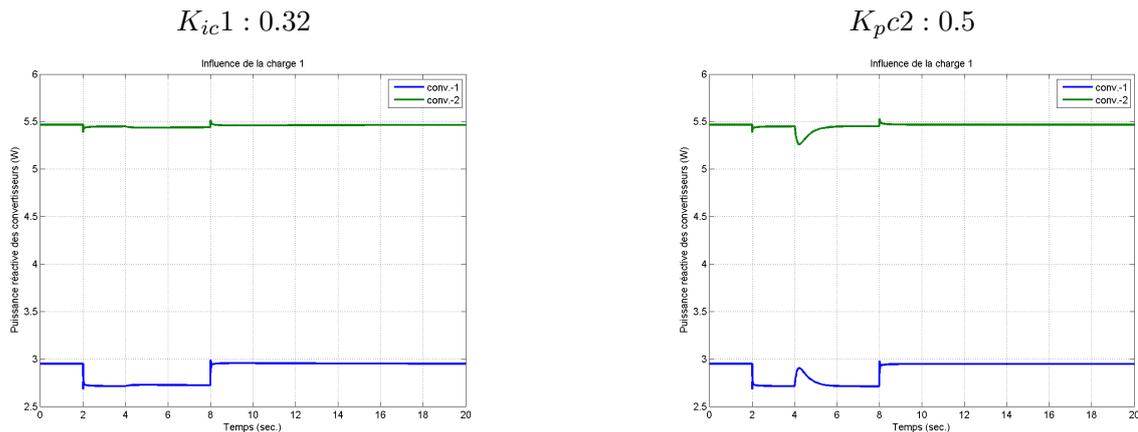
FIGURE 4.28 – Comparaison des variations de K_{ic} sur les courants des convertisseurs.



(a) Influence de K_{ic} 1 sur les puissances actives.

(b) Influence de K_{ic} 2 sur les puissances actives.

FIGURE 4.29 – Comparaison des variations de K_{ic} sur les puissances actives.



(a) Influence de K_{ic} 1 sur les puissances réactives.

(b) Influence de K_{ic} 2 sur les puissances réactives.

FIGURE 4.30 – Comparaison des variations de K_{ic} sur les puissances réactives.

4.6 Interprétation des Effets de l'Augmentation du Gain de Statisme M_p

4.6.1 Effets sur la Fréquence

Après avoir augmenté la valeur de M_p , nous avons observé que le système est devenu amorti. De plus, nous avons constaté une augmentation de 1,4% dans la stabilité globale du système.

4.6.2 Effets Iconv2

Après avoir augmenté le gain de statisme de la puissance réactive (M_q), le signal I_{conv2} a montré une réponse amortie. À l'instant $t = 2$ secondes, I_{conv2} atteint une valeur de 27,5 A. Ensuite, il diminue rapidement pour atteindre $I_{conv2} = 14$ A à $t = 2,1$ secondes. Finalement, le système atteint la stabilité à $t = 3,8$ secondes.

4.6.3 Effets sur la Pconv

L'augmentation du gain de statisme M_p a eu des répercussions significatives sur le comportement de la puissance active du convertisseur 2. À $t = 2$ s, cette puissance a brièvement atteint 8 W, puis a rapidement diminué pour se stabiliser à environ 1,8 W, avant de finalement converger vers 0 W à $t = 3,8$ s.

4.7 Interprétation des Effets de l'Augmentation du Gain de Statisme M_q

4.7.1 Impact de M_q sur la Fréquence

Après avoir augmenté M_q , il est observé que M_q n'a pas d'influence sur la fréquence.

4.7.2 Effets sur la Pconv

L'observation porte spécifiquement sur la puissance du convertisseur 1, où il semble que la qualité M_q ait un léger impact. La puissance passe de 1,47 W à 1,5 W entre $t=0$ s et $t=2$ s, avec un pic plus marqué de 1,67 W à 2,7 W à $t=4$ s.

4.7.3 Effets sur Iconv

L'influence de M_q sur les courants des convertisseurs I_{conv} se révèle significative, et les observations sont les suivantes :

1. Pour le courant I_{conv1} , à $t = 4$ s, on observe une augmentation notable, atteignant 43 A à $t = 8$ s, puis continuant à augmenter jusqu'à finalement atteindre une stabilité à 50 A à $t = 10,15$ s.
2. En contraste, le courant I_{conv2} présente un comportement différent. À $t = 4$ s, on observe une diminution à 0,15 A, suivie d'une augmentation progressive jusqu'à 18 A à $t = 8$ s, puis d'une autre augmentation jusqu'à 32 A à $t = 10$ s, avant de finalement atteindre une stabilisation.

4.7.4 Effets sur Qconv

Après avoir augmenté le gain de statisme de la puissance réactive, des observations intéressantes sont notées concernant la puissance réactive des convertisseurs :

1. Pour le convertisseur 1, à $t = 4$ s, on constate une augmentation de la puissance réactive, atteignant 16,5 VAR, puis elle se stabilise à $t = 10$ s.
2. En revanche, pour le convertisseur 2, une tendance opposée se manifeste. À $t = 4$ s, la puissance réactive diminue jusqu'à -7 VAR, pour ensuite se stabiliser à $t = 10$ s.

4.8 Impact de K_{ic} sur les Paramètres F, Iconv, Pconv et Qconv et Variation du Courant du Convertisseur 1

L'impact de K_{ic} sur les paramètres F, Iconv, Pconv et Qconv est très faible en ce qui concerne les pics minimaux et maximaux des signaux. On peut observer que, en ce qui concerne le courant du convertisseur 1, avant l'augmentation de K_{ic} , il était de 10 A. Après l'augmentation, il est passé à 10,9 A.

4.9 Interprétation des Effets de l'Augmentation de K_{pu} , K_{ic} et k_{pc}

K_{pu} , K_{ic} et k_{pc} n'ont qu'une influence marginale sur les variations de fréquence, de courant, ainsi que sur les puissances active et réactive des convertisseurs.

4.10 Conclusion

En conclusion, ce chapitre met en évidence l'importance cruciale de la simulation dans l'analyse des micro-réseaux autonomes, en particulier avec l'utilisation de MATLAB Simulink. La simulation permet d'explorer en détail le comportement du système, y compris la stabilité du réseau, l'équilibre de charge et l'efficacité énergétique, fournissant ainsi des informations précieuses pour la conception et l'optimisation des micro-réseaux autonomes. Par ailleurs, les ajustements de M_p , M_q et K_{pu} ont des effets mesurables sur les performances du système, tandis que K_{ic} semble avoir un impact négligeable sur les pics de signaux.

Il est donc essentiel de prendre en compte ces ajustements pour optimiser le système en termes de stabilité et de puissance.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans notre travail, nous avons examiné les différents modes de fonctionnement des micro-réseaux électriques, à savoir le courant alternatif, le courant continu et l'hybride alternatif/continu. Nous avons abordé les trois modes de connexion : connecté au réseau public, autonome et islandable. Nous avons également discuté de aspects spécifiques tels que la modélisation, la conception et l'optimisation des micro-réseaux.

De plus, nous avons effectué la modélisation des différents composants d'une station de conversion. Nous avons intégré plusieurs stations de conversion reliées par des lignes électriques pour alimenter des charges. Pour parvenir à un modèle général, nous avons adopté une approche d'interfaçage systématique des différents éléments. En examinant les équations différentielles régissant les composants clés tels que les filtres, les charges, les câbles de liaison et les contrôleurs (puissance, courant, tension), nous avons développé le modèle Simulink.

Pour optimiser les paramètres des différents contrôleurs, nous avons utilisé la méthode heuristique d'optimisation par essaim de particules (PSO). Cela s'explique par la nature particulière de la fonction objectif à minimiser pour améliorer les performances du système en cas de perturbation. Nous avons appliqué cette méthodologie de manière pratique en étudiant un cas comprenant deux convertisseurs de tension et deux charges. Nous avons réalisé plusieurs simulations pour analyser l'impact de chaque paramètre sur le comportement transitoire du système.

En conclusion, la méthodologie d'optimisation présentée dans notre travail, en mettant en évidence l'algorithme PSO, nous permet d'obtenir des valeurs optimales des paramètres pour notre micro-réseau. Ces résultats serviront de base solide pour approfondir l'étude des performances du micro-réseau en utilisant ces valeurs optimales.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Clarke Energy. <https://www.clarke-energy.com>. Consulté le 10 Février 2023.
- [2] W. Al-Saedi, S. W. Lachowicz, D. Habibi, and O. Bass. Power quality enhancement in autonomous microgrid operation using particle swarm optimization. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 42(1) :139–149, 2012.
- [3] S. BENOTMANE and F. MOUALEK. *Étude et simulation des systèmes photovoltaïques connectés à un microgrid*. PhD thesis, Université Aboubakr Belkaïd–Tlemcen, Tlemcen, Algérie, 2016.
- [4] K. D. Brabandere, B. Bolsens, J. V. D. Keybus, A. Woyte, J. Driesen, and R. Belmans. A voltage and frequency droop control method for parallel inverters. *IEEE Trans. Power Electron.*, 22(4) :1107–1115, juil 2008.
- [5] P. Carpentier, G. Cohen, et al. *Décomposition-coordination en optimisation déterministe et stochastique*, volume 114. Springer, 2017.
- [6] S. Ebbesen, P. Kiwitez, and L. Guzzella. A generic particle swarm optimization matlab function. In *2012 American control conference (ACC)*, pages 1519–1524. IEEE, 2012.
- [7] J. A. Gomez, K. Höffner, and P. I. Barton. Dfbalab : a fast and reliable matlab code for dynamic flux balance analysis. *BMC bioinformatics*, 15(1) :1–10, 2014.
- [8] L. M. R. G. R. Gomez. *Intégration de la production éolienne aux réseaux électriques : approches techniques et économiques*. PhD thesis, Université de Grenoble, 2012.
- [9] J. Haixiao, Z. Yi, L. Shaoyuan, and C. Xu. Operational optimization of micro grid control : A brief introduction and an intelligent plug and play control strategy. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 51(9) :1097, 2017.

-
- [10] O. HaJJI. Contribution au développement de méthodes d'optimisation stochastiques. application à la conception des dispositifs électrotechniques. *Mémoire de thèse de Doctorat, Université des sciences et technologies de Lille*, 2003.
- [11] M. Hassan and M. Abido. Optimal design of microgrids in autonomous and grid-connected modes using particle swarm optimization. *IEEE Transactions on power electronics*, 26(3) :755–769, 2010.
- [12] N. Hatziargyriou, H. Asano, R. Iravani, and C. Marnay. Microgrids. *IEEE Power Energy Mag.*, 5(4) :78–94, Jul./Aug. 2007.
- [13] A. Houari. Contribution à l'étude de micro-réseaux autonomes alimentés par des sources photovoltaïques. *Université de Lorraine*, 2012.
- [14] J. B. Ihler, L. O. Soares, Y. A. Alves, C. G. Souza, R. A. M. Boloy, et al. Global trends and opportunities in hybrid microgrid systems using renewable energies. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 12(4) :263–273, 2022.
- [15] A. Ipakchi and F. Albuyeh. Grid of the future. *IEEE Power Energy Mag.*, 7(2) :52–62, Mar./Apr. 2009.
- [16] L. Kartobi. *Optimisation de la synthèse des FACTS par les algorithmes : Génétiques et les essais particuliers pour le contrôle des réseaux électriques*. PhD thesis, Ecole Nationale Polytechnique, 2006.
- [17] J. Kennedy and R. Eberhart. Particle swarm optimization. In *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks*, volume 4, pages 1942–1948. IEEE, 1995.
- [18] H. Liu, A. Abraham, and A. E. Hassanien. Scheduling jobs on computational grids using a fuzzy particle swarm optimization algorithm. *Future Generation Computer Systems*, 26(8) :1336–1343, 2010.
- [19] C. K. Sao and P. W. Lehn. Contrôle et gestion de l'alimentation des micro-réseaux alimentés par convertisseur. *Transactions IEEE sur les systèmes d'alimentation*, 23(3) :1088–1098, 2008.
- [20] T. L. Vandoorn, J. C. Vasquez, J. De Kooning, J. M. Guerrero, and L. Vandeveld. Microgrids : Hierarchical control and an overview of the control and reserve management strategies. *IEEE Ind. Electron. Mag.*, 7(4) :42–55, Dec. 2013.

ANNEXE

Les paramètres de simulation	
Paramètre	Valeur
F	50 Hz
Un	311 V
mp	$1.03 * 10^{-5}$
mq	$2.95 * 10^{-4}$
cf	$1500 * 10^{-6}$
Kpv	10.11
Kiv	100
Fv	0.7
Lf	$1.5 * 10^{-3}$
Kpc	10
Kic	0.12
f	0.15
Lf	$1.5 * 10^{-3}$
Cf	$1500 * 10^{-6}$
Rc	0.05
Lc	$0.5 * 10^{-3}$

Figures

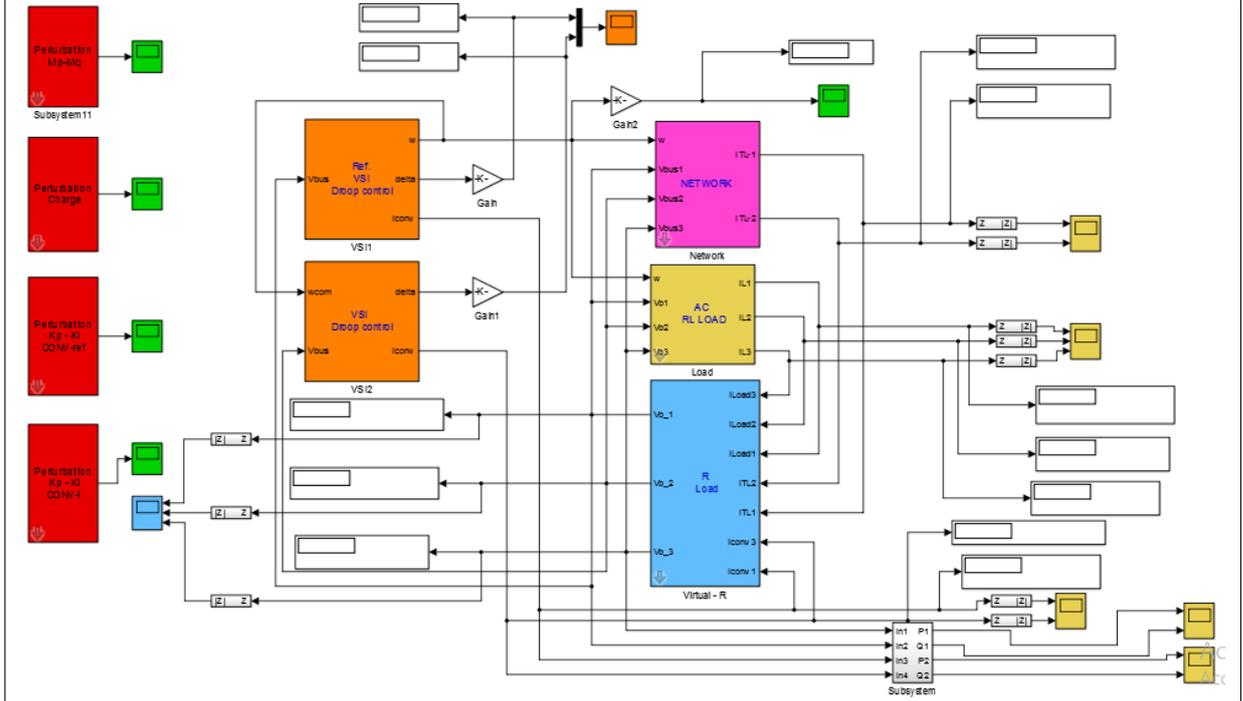


Figure 1 : Le montage global

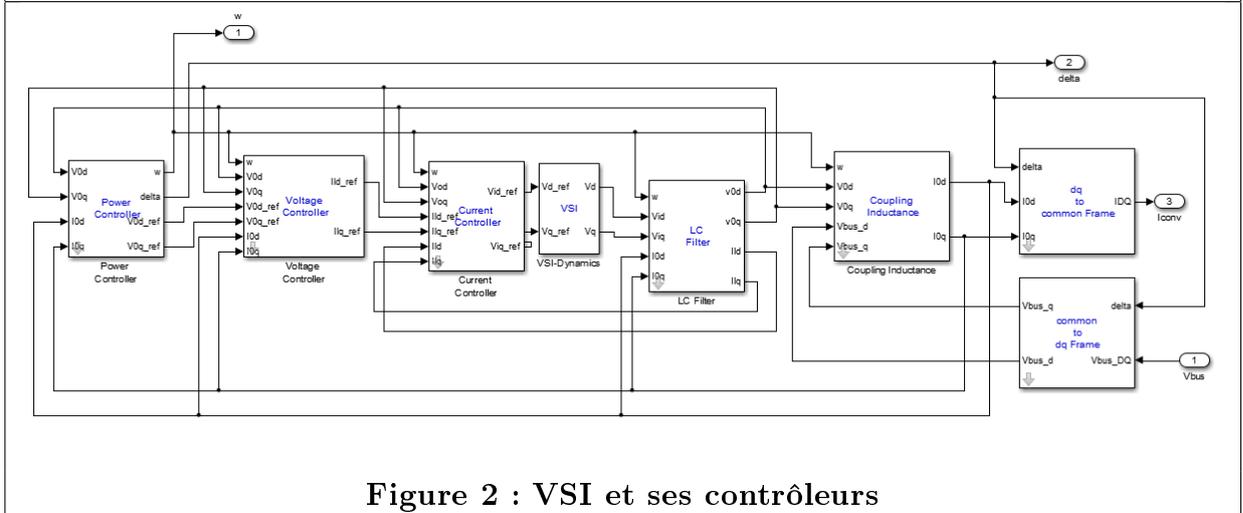


Figure 2 : VSI et ses contrôleurs