

الجمهورية الديمقراطية الشعبية الجزائرية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Ecole Supérieure des Sciences Appliquées
d'Alger



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
المدرسة العليا في العلوم التطبيقية بالجزائر

Département du second cycle

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de master

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Traction électrique

Thème :

Les smart grids

Présenté par : MERIOULI Roumaïssa

Encadré (e) par : Dr.A.BENACHOUR

Soutenu publiquement, le : 24/06/2023,

Devant le Jury composé de :

Dr.M.AISSION.....Président (e)
Dr.A.DÉBOUCHAExaminateur (rice)
Dr.A.BENACHOUR.....Encadreur (e)
M.AKLIL.....Co-Encadreur (e)

Binôme N° : 13/PFE. /TR/2023

Remerciements

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

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

Nous souhaitons exprimer nos sincères remerciements à :

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

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

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

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

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

Dédicaces

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

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

Je tiens à exprimer ma gratitude à ma sœur Douaa et à mon frère Mourad pour leur soutien et leur présence précieuse.

À ma chère grand-mère, je dédie mes sincères remerciements pour ses prières et ses douaa. Que Dieu la protège et lui accorde une longue vie.

À ma tante Fatma, je suis reconnaissante pour son encouragement infini et son soutien sans faille.

Je souhaite exprimer ma reconnaissance à mes oncles pour leur encouragement et leur soutien tout au long de ce chemin.

À mes cousins/cousines et à toute ma famille adorable, je vous dédie également ce travail. Votre présence et votre soutien ont été précieux pour moi.

Enfin, à mes amis, que je ne pourrai jamais trouver pareils dans ma vie, je vous adresse toute ma gratitude. Votre amitié, votre soutien et vos encouragements ont été une source d'inspiration et de réconfort constants.

Que cette dédicace soit le témoignage de ma reconnaissance envers vous tous, mes proches, qui avez joué un rôle essentiel dans mon parcours. Votre soutien indéfectible a été le moteur qui m'a poussée à persévérer et à atteindre mes objectifs.

Merci du fond du cœur pour votre amour, vos prières, votre encouragement et votre soutien.

Roumaïssa

Table des matières

CHAPITRE I: les smart grid.....	6
Introduction :.....	6
I.1 Les différents types de réseaux électriques :	6
I.1.1 Réseau électrique classique : [1]	7
I.1.2 Réseau électrique intelligent (Smart Grid) [2]	8
I.2 Comparaison entre les caractéristiques du réseau électrique traditionnelle et intelligent :.....	13
I.2.1 L'intégration des smart grids (réseaux électriques intelligents) :.....	13
I.2.2 Intégration des sources renouvelables dans le réseau Smart Grid :	16
I.3 Conclusion :.....	19

Listes des figures

Figure I-1 Architecture des réseaux électriques classiques.....	7
Figure I-2 les smart grid	8
Figure I-3 les microgrids	9
Figure I-4 conception d'appareil domotique.....	10
Figure I-5 Dispositif de stockage de l'énergie	10
Figure I-6 capteur intelligent	16
Figure I-7 Modèle du réseau Smart Grid en présence des énergies renouvelables	17

CHAPITRE I: LES SMART GRID

Introduction :

La stabilité et l'équilibre du réseau électrique sont essentiels, car il est difficile de stocker l'électricité. Il est donc crucial de maintenir un équilibre entre la production (l'électricité injectée sur le réseau par les producteurs) et la consommation (l'électricité utilisée par les consommateurs). Si cet équilibre est perturbé, des problèmes tels que des variations de fréquence et de tension peuvent endommager les équipements du réseau et des consommateurs. Dans les cas extrêmes, cela peut entraîner des coupures d'électricité partielles ou même un black-out généralisé. Par exemple, des problèmes survenus sur le réseau allemand ont provoqué une coupure de plusieurs heures affectant 15 millions d'Européens.

Afin de maintenir cet équilibre du réseau, il est nécessaire de prévoir avec précision la demande en électricité et de disposer de moyens de production réactifs pour faire face aux fluctuations. Cela implique de mettre en place des capacités d'ajustement rapides et efficaces, en utilisant des moyens de production adaptés à la demande.

Les réseaux électriques actuels sont inéluctablement destinés à connaître une profonde mutation dans les prochaines années. En effet, dans un contexte de développement d'énergies renouvelables intermittentes et probablement diffuses, de développement de nouveaux usages électriques et de nécessité d'optimiser l'efficacité des réseaux, il faudra continuer à assurer le meilleur équilibre possible entre la production et la consommation.

I.1 Les différents types de réseaux électriques :

Les systèmes deviennent de plus en plus complexes, alimentant des charges de plus en plus exigeantes. Les réseaux électriques couvrent la majorité des territoires des pays développés sur le plan électrique. Ils sont omniprésents sur les sites industriels, mais aussi dans les réseaux embarqués tels que les voitures, les avions et les navires, où les générateurs, moteurs, transformateurs et actionneurs électriques sont de plus en plus utilisés.

I.1.1 Réseau électrique classique : [1]

I.1.1.1 Définition :

Le réseau électrique classique est de nature unidirectionnelle. L'électricité est généralement produite dans les centrales électriques par des générateurs électromécaniques. Ces centrales sont principalement alimentées par la force de l'eau courante ou des moteurs thermiques utilisant la combustion chimique ou l'énergie nucléaire. Pour bénéficier des économies d'échelle, les centrales sont généralement de grandes taille et situées loin des zones densément peuplées.

La figure I-1 représente l'architecture typique des réseaux électriques classiques. Il montre la combinaison d'un producteur central d'électricité avec un réseau de transport et un réseau de distribution. La puissance électrique produite est augmentée à une tension plus élevée pour la transmission sur une grille de transmission.

La grille de transmission déplace l'électricité sur de longues distances vers des sous-stations. À l'arrivée à une sous-station, la puissance est réduite de la tension de niveau de transmission à une tension de niveau de distribution

Lorsque la puissance sort de la sous-station, elle entre dans la grille de distribution. Enfin, à l'arrivée à l'emplacement de service, l'alimentation est réduite de la tension de distribution à la ou aux tensions de service requises.

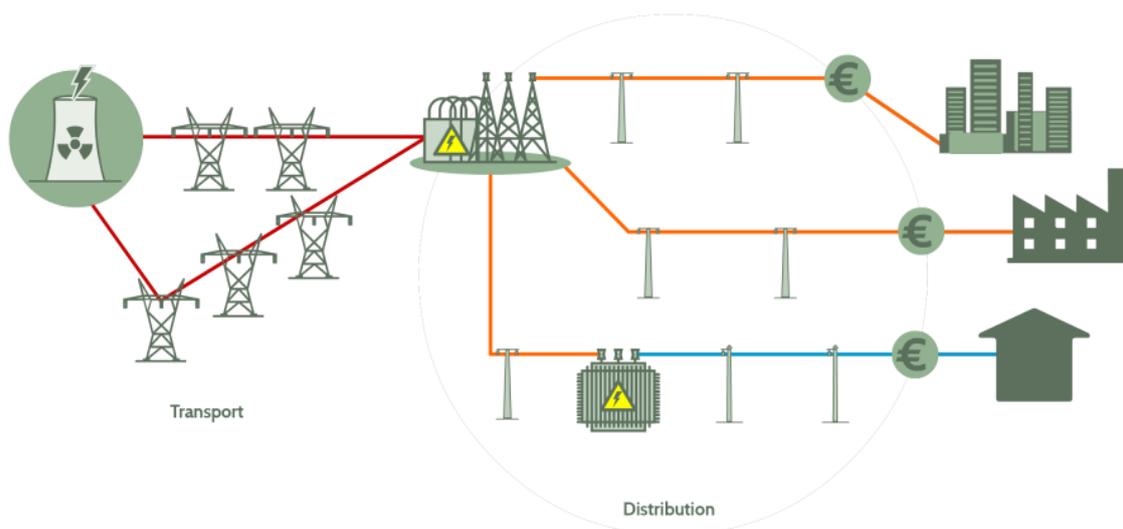


Figure I-1. Architecture des réseaux électriques classiques.

I.1.1.2 Les limites d'un réseau électrique classique : [1]

- Génération centralisée.
- Communication unidirectionnelle.
- Systèmes de protection, de surveillance et de contrôle limités.
- Restauration et réparations manuelles.
- Vérification d'équipement manuelle.
- Contingences limitées du système de contrôle.

I.1.2 Réseau électrique intelligent (Smart Grid) [2]

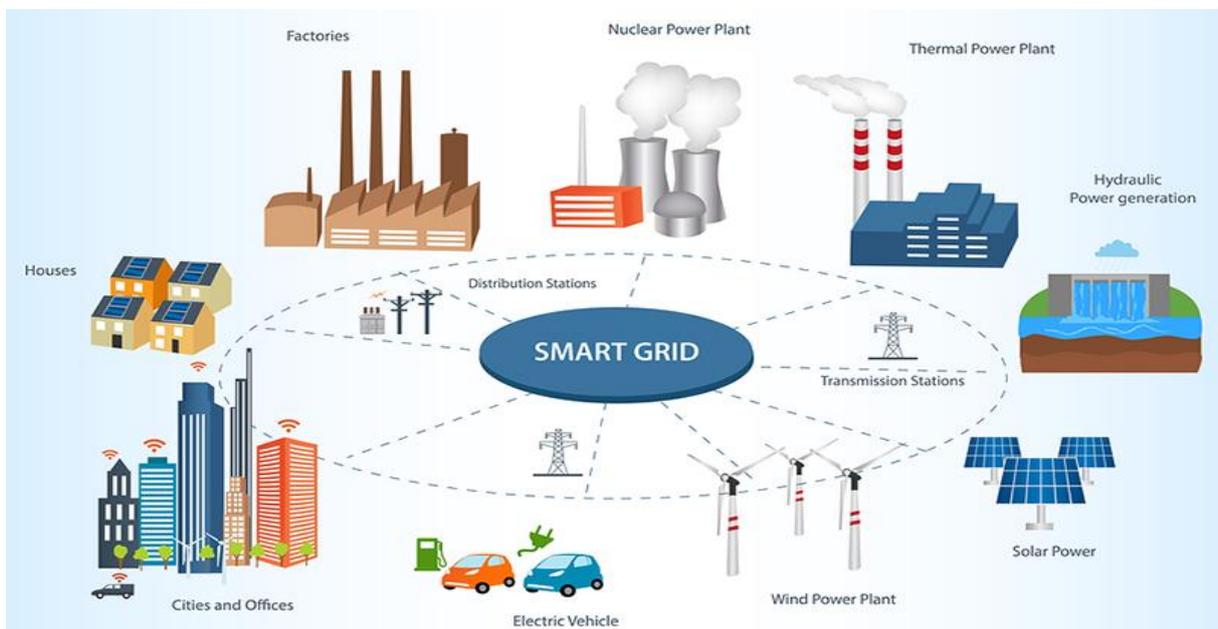


Figure I-2 Les smart grids

Un *smart grid* (ou « Réseau Intelligent») est un réseau électrique qui relie la production, la consommation et le stockage de l'électricité et les coordonne de manière autonome.

Les smart grids permettent non seulement de contrôler les installations de production, mais aussi de connecter ou déconnecter les charges en fonction des besoins. La gestion de la demande (*DSM : Demand Side Management*), par exemple, permet d'ajuster la demande à la production et ainsi de réduire les besoins de stockage en cas d'augmentation de l'injection d'énergies renouvelables intermittentes.

Le concept des smart grids est apparu il y a quelques années dans le secteur de l'électricité, en lien avec les défis posés par les énergies renouvelables et la gestion des pics

croissants de consommation d'électricité. Aujourd'hui, ce concept s'étend à l'ensemble des réseaux énergétiques, y compris le gaz, la chaleur et l'eau.

Les problèmes liés aux réseaux électriques sont bien connus et des groupes de travail se forment dans le but de trouver des solutions efficaces et compétitives. Parmi les différentes études, les éléments suivants sont souvent mentionnés en tant que composants du Smart Grid ou intégrés dans le concept du Smart Grid [2].

La figure I-2 ci-dessus représente le smart grid, illustrant l'interconnexion des différents éléments du réseau électrique pour une coordination autonome et une gestion efficace de l'électricité.

I.1.2.1 Génération distribuée / Microgrids : [3]



Figure I-3 les microgrids

Une optimisation centralisée est très coûteuse en termes de temps et de mémoire. Cependant, pour assurer une optimisation efficace, il est important de la réaliser à tous les niveaux. Les microgrids, représentés dans la figure I-3 ci-dessus, permettent de passer d'une interface centralisée à une interface distribuée. Cela offre des avantages significatifs en termes de temps et de mémoire, tout en garantissant une distribution de l'énergie optimale.

I.1.2.2 Conception d'appareil intelligent (domotique) :



Figure I-4 conception d'appareil domotique

La domotique joue un rôle essentiel en permettant une meilleure connaissance des besoins réels des consommateurs, tout en optimisant la consommation à la fois au niveau local et global. Les appareils intelligents sont une composante clé pour résoudre le problème de l'offre et de la demande. La figure I-4 représente la conception d'un appareil domotique, illustrant l'intégration des technologies intelligentes dans les systèmes de contrôle et de gestion de l'énergie.

I.1.2.3 Dispositif de stockage de l'énergie :

Le stockage de l'énergie couplé à l'optimisation de bout en bout permet de réguler la consommation et d'atténuer les pics de demande.



Figure I-5 Dispositif de stockage de l'énergie

I.1.2.4 Réduction des pertes du réseau T&D par automatisation de la distribution :

La limitation des pertes de surproduction et de transport garantit une meilleure qualité de service de distribution.

I.1.2.5 Contrôle intelligent du prix de consommation :

Le réseau devient de plus en plus intelligent, ce qui nécessite une adaptation des prix de consommation pour refléter les nouveaux comportements de consommation.

La mise en place de ces nouvelles technologies présente de nombreux défis techniques. Afin de parvenir à les intégrer, le Smart Grid doit disposer d'un système de communication bidirectionnel et d'un environnement plug-en-play, où le raccordement d'un appareil au réseau ne nécessite pas l'installation de nouveaux algorithmes ou de nouvelles méthodes de gestion locale. Les composants du réseau doivent être capables de communiquer tout en assurant la sécurité des données transit. Les appareils sont équipés de leurs propres capteurs et algorithmes pour fournir un diagnostic en temps réel de leur état, transformant ainsi les données en informations pouvant être transmises.

L'intégration de toutes ces nouvelles technologies pose des problèmes à la fois sur le plan technique et en termes de méthodes de gestion actuelles. Les méthodes de résolution classiques basées sur des schémas prévisionnels et des capteurs ne suffisent pas à assurer une gestion intelligente en temps réel. Une automatisation plus poussée reste à réaliser au niveau des réseaux de distribution afin de permettre une interaction bidirectionnelle avec les nouveaux consommateurs énergétiques, qui intègrent de plus en plus de points de micro-production.

En plus de ces améliorations techniques, le réseau doit posséder de nombreuses caractéristiques pour garantir la production, la distribution et le transport de l'énergie [4].

I.1.2.6 Les caractéristiques des réseaux intelligents :

1. Self-Healing : Détection automatique des équipements potentiellement défectueux avant qu'ils ne tombent en panne, et reconfiguration du système d'approvisionnement pour assurer la fourniture à tous les clients sans interruption.

2. Flexibilité : Interconnexion rapide et sécurisée de la production distribuée et du stockage d'énergie à tout moment et en tout point. La flexibilité inclut également la capacité du réseau à intégrer de nouvelles technologies.

3. Prédicibilité : L'utilisation des statistiques, de l'apprentissage automatique, des algorithmes adaptatifs, et des modèles prédictifs (par exemple pour les prévisions météorologiques) permet d'anticiper les événements futurs les plus probables et de reconfigurer le système avant qu'ils ne se produisent.

4. Interactivité : Il est essentiel de fournir en temps réel les informations pertinentes concernant l'état du système de manière transparente. Le système de communication entre les différents acteurs du réseau doit faciliter les échanges d'informations en temps réel afin de répondre aux différentes méthodes de résolution.

5. Optimalité : Les opérateurs du réseau et les clients collaborent afin de permettre à tous les participants du système énergétique d'agir de manière plus efficace et économique. Les méthodes de résolution doivent garantir l'obtention d'un résultat optimal, que l'objectif soit économique ou énergétique.

6. Sécurité : Les communications bidirectionnelles doivent être protégées et cryptées afin de prévenir toute manipulation externe des données. Au niveau national, où des dispositifs intelligents et des équipements seront utilisés, il est nécessaire de standardiser des technologies intelligentes pour la surveillance, la mesure, la communication avec les autres échelles du Smart Grid, ainsi que la gestion de l'énergie. L'élaboration de normes compatibles avec différentes technologies et pays est essentielle pour assurer l'interopérabilité, la coordination et la coopération entre les appareils et les réseaux électriques.

Le système actuel et les smart grids sont caractérisés par les différences suivantes: [5]

I.2 Comparaison entre les caractéristiques du réseau électrique traditionnel et intelligent :

Le tableau I-1 représente les caractéristiques intelligent et traditionnelle

Caractéristiques des réseaux électriques traditionnels	Caractéristiques des réseaux électriques Intelligents
Analogique	Numérique
Unidirectionnel	Bidirectionnel
Production centralisée	Production décentralisée
Communicant sur une partie du réseau	Communicant sur l'ensemble du réseau
Un seul acteur économique	Choix du fournisseur
Gestion de l'équilibre du système électrique par l'offre (production)	Gestion de l'équilibre du système électrique par la demande (consommation)
Consommateur	Consomm'acteur

Tableau I-1 Comparaison entre les caractéristiques du réseau électrique traditionnelle et intelligent

I.2.1 L'intégration des smart grids (réseaux électriques intelligents) :

Dans une station de dessalement, l'intégration des smart grids peut apporter plusieurs avantages en termes d'efficacité énergétique, de fiabilité et de gestion des ressources. Voici quelques points clés à prendre en compte lors de l'intégration des smart grids pour une station de dessalement :

I.2.1.1 Surveillance et gestion de la consommation énergétique :

Dans une station de dessalement, l'intégration des smart grids peut apporter plusieurs avantages en termes d'efficacité énergétique, de fiabilité et de gestion des ressources. Voici quelques points clés à prendre en compte lors de l'intégration des smart grids pour une station de dessalement :

Mesure en temps réel : Les smart grids permettent de mesurer et de surveiller en temps réel la consommation d'énergie dans la station de dessalement. Des capteurs et des compteurs intelligents peuvent être installés pour collecter des données précises sur la consommation énergétique à différents niveaux du système.

Analyse des schémas de consommation : Les données recueillies par les smart grids peuvent être analysées pour identifier les schémas de consommation d'énergie spécifiques à la station de dessalement. Cela permet de comprendre les fluctuations de la consommation et d'identifier les goulots d'étranglement ou les opportunités d'optimisation.

Détection des anomalies : Les smart grids peuvent être configurés pour détecter les anomalies de consommation énergétique, telles que les surcharges ou les fuites d'énergie. Ces anomalies peuvent être rapidement identifiées, signalées et résolues, ce qui contribue à minimiser les pertes d'énergie et à améliorer l'efficacité globale de la station de dessalement.

Systèmes de contrôle et d'automatisation : Les smart grids permettent la mise en place de systèmes de contrôle et d'automatisation avancés pour gérer la consommation énergétique de la station de dessalement. Par exemple, des algorithmes intelligents peuvent être utilisés pour ajuster la puissance des équipements en fonction de la demande en eau, optimisant ainsi l'utilisation de l'énergie.

Surveillance des performances énergétiques : Les smart grids permettent de surveiller les performances énergétiques de la station de dessalement, en évaluant des paramètres tels que l'efficacité des pompes, des membranes de dessalement et des équipements de traitement. Ces données peuvent être utilisées pour identifier les domaines nécessitant une amélioration et pour prendre des mesures correctives.

I.2.1.2 Gestion de la demande :

La gestion de la demande par les smart grids dans une station de dessalement vise à optimiser l'utilisation de l'énergie en ajustant la demande en fonction de la disponibilité et du coût de l'électricité. Voici comment les smart grids peuvent contribuer à la gestion de la demande dans une station de dessalement :

Tarifification dynamique : Les smart grids permettent de mettre en place des tarifs d'électricité dynamiques qui varient en fonction de la demande et de l'offre d'énergie. Cela incite les utilisateurs de la station de dessalement à adapter leur consommation d'énergie en fonction des périodes de pointe et des tarifs plus élevés. Par exemple, la tarification peut être plus élevée pendant les heures de forte demande, incitant ainsi les utilisateurs à réduire leur consommation pendant ces périodes.

Contrôle de la charge : Les smart grids permettent de contrôler la demande en énergie en ajustant la charge des équipements de la station de dessalement. Par exemple, certains processus peuvent être programmés pour fonctionner pendant les périodes où l'électricité est moins chère ou lorsque la demande sur le réseau est plus faible. Cela permet de lisser la demande énergétique et de réduire les pics de consommation.

Stockage de l'énergie :

Les smart grids peuvent faciliter l'intégration de solutions de stockage d'énergie, comme les batteries, dans la station de dessalement. Cela permet de stocker l'énergie produite pendant les périodes de faible demande et de l'utiliser lorsque la demande est plus élevée, ce qui améliore l'efficacité énergétique et la stabilité du réseau.

I.2.1.3 Gestion de la distribution de l'eau :

Les smart grids peuvent être utilisés pour surveiller et contrôler la distribution de l'eau dans le système de dessalement. Cela permet d'optimiser la pression de l'eau, de détecter les fuites plus rapidement et de minimiser les pertes, contribuant ainsi à une gestion plus efficace des ressources hydriques.

Détection des fuites : Les smart grids utilisent des capteurs et des systèmes de surveillance avancés pour détecter les fuites d'eau plus rapidement. Ces capteurs peuvent repérer les variations de pression ou de débit anormales qui pourraient indiquer une fuite. Une détection précoce des fuites permet une intervention rapide, minimisant ainsi les pertes d'eau et la détérioration du réseau.

Optimisation de la pression de l'eau : Les smart grids permettent d'optimiser la pression de l'eau dans le réseau de distribution. En surveillant en temps réel la demande et les conditions du réseau, les smart grids peuvent ajuster automatiquement la pression de l'eau pour répondre aux besoins réels. Cela permet de réduire les pertes d'eau liées à une pression excessive tout en garantissant un débit suffisant pour les utilisateurs.

Analyse des données et prise de décision : Les smart grids collectent et analysent de grandes quantités de données sur la distribution de l'eau. Ces données peuvent être utilisées pour identifier les tendances, les schémas de consommation et les problèmes potentiels. Les informations fournies par les smart grids aident les gestionnaires de la station de dessalement à prendre des décisions éclairées pour optimiser la distribution de l'eau et améliorer les performances du réseau.

I.2.1.4 Exemple d'un capteur intelligent :

Un compteur d'eau connecté est un appareil de mesure intelligent de la consommation d'eau. Il est capable de collecter la relève d'eau et de la transmettre automatiquement à un serveur géré par le fournisseur d'eau.



Figure I-6 Capteur intelligent

Ce type de compteur est équipé d'un dispositif de transmission de données pour communiquer de manière régulière et autonome les index collectés. C'est ce que les fournisseurs appellent le télérelève ou la télérelève. Le compteur d'eau connecté est également appelé compteur d'eau communicant. Il existe des dispositifs de transmission de données qui peuvent être installés sur des compteurs classiques pour les rendre communicants. Le dispositif lit le relevé de compteur soi-même et transmet l'index par ondes radio ou GSM.

– Différence avec un compteur d'eau classique :

À la différence d'un compteur classique, les index relevés sont automatiquement transmis au fournisseur. Il n'est ainsi plus nécessaire d'effectuer la relève annuelle par un technicien. Néanmoins, tout comme le compteur d'eau classique, le compteur d'eau connecté mesure la consommation en eau d'un logement ou d'une installation

I.2.2 Intégration des sources renouvelables dans le réseau Smart Grid :

L'optimisation de la production d'énergie renouvelable reposera sur des dispositifs intégrés aux panneaux photovoltaïques et aux générateurs d'énergie éolienne, qui reposeront sur des communications bidirectionnelles avec des passerelles locales et des centres de

surveillance à distance pour atteindre l'efficacité énergétique désirée [6]. Le schéma de la Figure I-7 montre un modèle du réseau électrique intelligent (Smart Grid) incorporant des énergies renouvelables.

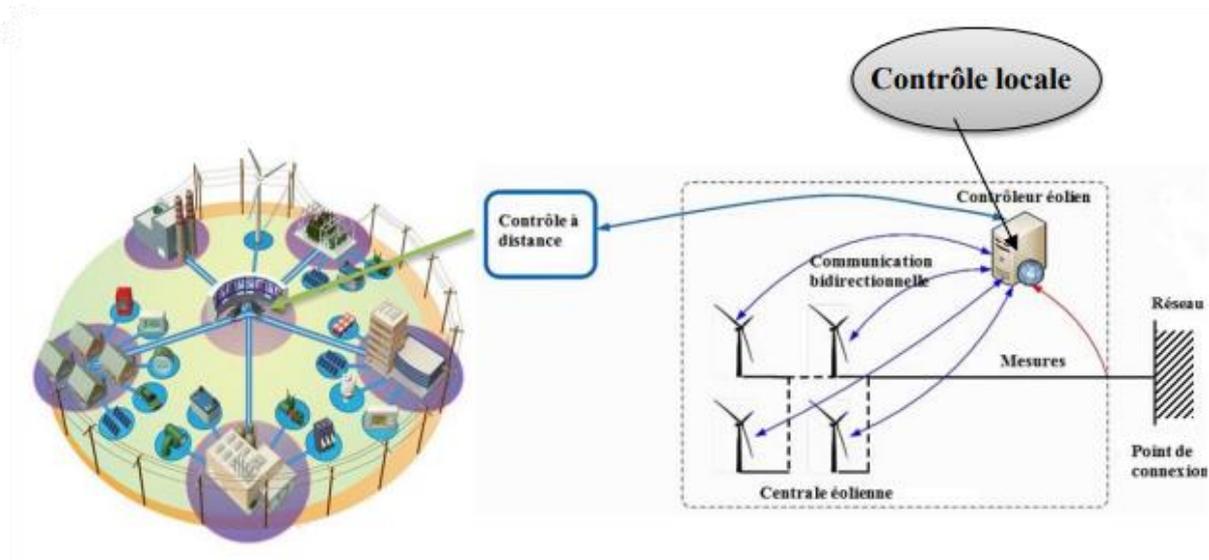


Figure I-7 Modèle du réseau Smart Grid en présence des énergies renouvelables

[6] A cette fin, l'intégration de l'énergie renouvelable devient de plus en plus efficace par l'introduction des réseaux intelligents, alors qu'elle constituait un défi pour les réseaux classiques.

Le Smart Grid permet aux opérateurs du système de fournir le moyen le plus utile d'intégrer les sources renouvelables dans le réseau principal (à titre d'exemple par utilisation des programmes de prévision adéquats). Aussi, l'intégration de ces sources est possible vu:

- La mesure du coût d'investissement.
- Les appareils et dispositifs de mesure sophistiqués reliés par les nouveaux centres de mesure de la vitesse du vent.
- Un matériel robuste intégrant des méthodes intelligentes, plus un système de mesure et outils de sécurité sophistiqués qui peuvent changer le système vers un état adapté en temps réel et action rapide dans le cas de l'échec du système.

En plus, les convertisseurs jouent un rôle clé dans l'interconnexion flexible de différents acteurs du réseau actuel, en permettant un contrôle efficace de la réserve exigeante en puissance réactive, ce qui permet d'améliorer le profil de la tension aux jeux de barres de connexion des sources d'énergie variables. Encore, grâce aux compteurs intelligents, le contrôle de la tension aux différents points de connexion de sources intermittentes devient

permissible, et donc, le Smart Grid devient auto pilotable et peut intervenir rapidement et dynamiquement là où les limites des tensions sont dépassées par l'injection ou l'absence de la puissance demandée, cela est une conséquence des outils de calcul intelligent et flexible caractérisant le Smart Grid, les objectifs attendus de ce développement sont [7]:

- Sécuriser l'utilisation efficace de l'énergie électrique.
- Améliorer la gestion de la consommation.
- Assurer la fiabilité du réseau électrique.
- Faciliter l'intégration des énergies renouvelables à grande échelle.

I.3 Conclusion :

En conclusion, les smart grids représentent une avancée majeure dans la gestion de l'énergie et de la distribution électrique. Ils offrent de nombreux avantages, tels que la surveillance en temps réel de la consommation et de la production d'énergie, la gestion de la demande et de la distribution, ainsi que l'intégration des énergies renouvelables.

Ces systèmes permettent également une meilleure interaction entre les acteurs du réseau, tels que les consommateurs, les producteurs, les distributeurs et les gestionnaires de réseau. Ils favorisent la participation active des consommateurs en leur fournissant des informations détaillées sur leur consommation d'énergie, leur permettant ainsi de prendre des décisions éclairées pour optimiser leur consommation et réduire leurs coûts.

Grâce aux smart grids, il est possible de mettre en œuvre une gestion plus efficace et économique de l'énergie, tout en favorisant une utilisation plus durable des ressources. Ces systèmes contribuent à la transition énergétique en facilitant l'intégration des énergies renouvelables et en réduisant les émissions de gaz à effet de serre.

En résumé, les smart grids ouvrent de nouvelles perspectives pour un système énergétique plus intelligent, plus résilient et plus respectueux de l'environnement. Leur adoption et leur déploiement progressifs sont essentiels pour répondre aux défis énergétiques actuels et futurs.

Références

- [1] [Xi Fang et al, 2011]
- [2] www.enea-consulting.com « Le stockage d'énergie enjeux solutions techniques et opportunité de valorisation » ; Mars 2012.
- [3] Häfner, J, Jacobson, B, “Proactive hybrid HVDC breakers – A key innovation for reliable HVDC grids,” in the International Symposium on Integrating supergrids and microgrids. Bologna: CIGRE,, pp. 1–8, September 2011.
- [4] Alain Obadia ; « Le stockage de l'énergie électrique : une dimension incontournable de la transition énergétique » ; Journal Officiel de la République Française; Juin 2015.
- [5] A. A. Suwannarat, B. B-Jensen, Z. Chen, H. Nielsen, J. Hjerrild, P. Sorensen, and A. D. Hansen, “Power System Operation with Large Scale Wind Power Integration”, Power technology, IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2007.
- [6] D. Aleksandra, I. Tomovski, “Optimization Model for Variable Renewable Energy Sources Generation: Macedonian Case Study”, Renewable energy sources, Vol. 4, pp. 402-412, 2015.
- [7] F. Yu, P. Zhang, W. Xiao, and P. Choudhury, “Communication systems for grid integration of renewable energy resources”, IEEE Network, Vol. 25, pp. 22–29, 2011.