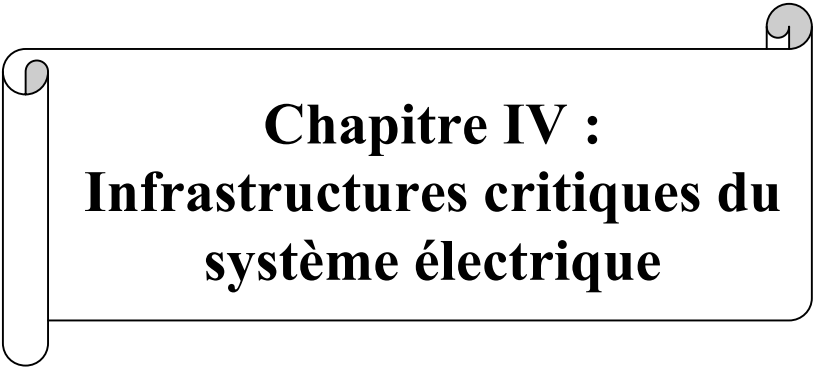




Chapitre IV : Infrastructures critiques du système électrique

IV1. Introduction

Les infrastructures critiques du système électrique jouent un rôle vital dans la fourniture d'électricité fiable à travers les réseaux. Ce chapitre explore les défis liés à la gestion de ces infrastructures, en mettant particulièrement l'accent sur la présence croissante de la production électrique décentralisée (PD) et les solutions pour faire face aux situations critiques.

IV.2. Gestion en présence de fort taux d'insertion des productions électrique décentralisée PD

L'augmentation du taux d'insertion de la production électrique décentralisée (PD) présente des défis de gestion pour les infrastructures critiques du système électrique. Cela inclut la nécessité d'adapter les réseaux pour gérer les flux d'énergie bidirectionnels, d'équilibrer l'offre et la demande en temps réel, et de garantir la stabilité et la sécurité du réseau face aux variations de charge.

La gestion en présence d'un fort taux d'insertion des productions électriques décentralisées est un défi majeur pour les opérateurs de réseaux électriques et les planificateurs énergétiques.

RQ : Les différentes sources d'énergies sont appelées à participer à la satisfaction de la demande par ordre croissant de coût (ou du prix). La plupart des énergies renouvelables sont très chères en coût de capital mais leurs coûts de fonctionnement et de maintenance (éolien, PV, hydro principalement) sont faibles. Le déploiement de ces énergies change la structure de la courbe d'approvisionnement « power supply » et réduit le prix marginal de l'électricité grâce à l'augmentation de la production à faibles coûts d'exploitation.

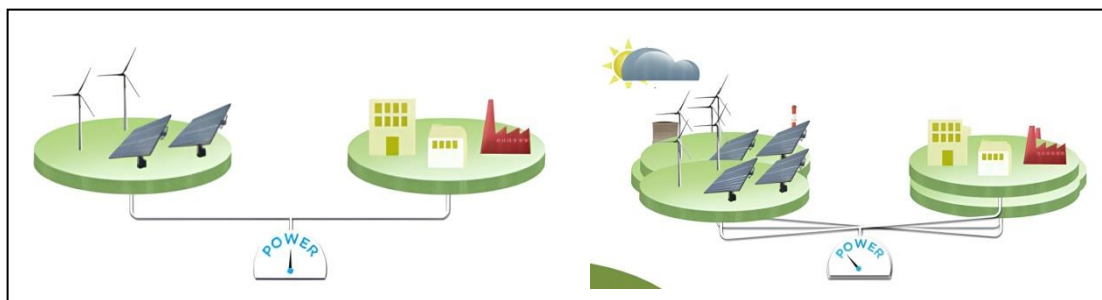


Figure IV.1. L'équilibre entre production / consommation.

Il faut maintenir à tout instant l'équilibre production / consommation...

... quelles que soient les variations :

- ✚ De la production,
- ✚ De la consommation.

Voici quelques aspects clés à prendre en compte dans cette gestion :

IV.2.1. Prévision de la production décentralisée

Avec une production décentralisée fluctuante, il est essentiel de disposer de systèmes de prévision précis pour estimer la quantité d'électricité qui sera injectée sur le réseau à partir de sources telles que le solaire et l'éolien.

Cela permet de planifier la production conventionnelle et les besoins de stockage d'énergie pour compenser les fluctuations.

IV.2.2. Intégration des ressources distribuées

Les réseaux électriques doivent être conçus pour intégrer efficacement les ressources distribuées, y compris les systèmes solaires photovoltaïques, les éoliennes et les systèmes de stockage d'énergie, tout en maintenant la stabilité et la fiabilité du réseau.

IV.2.3. Flexibilité et réactivité du réseau

Des mécanismes de flexibilité doivent être mis en place pour faire face aux variations rapides de la production décentralisée.

Cela peut inclure des systèmes de stockage d'énergie, des centrales électriques flexibles, des dispositifs de régulation de tension et de fréquence, ainsi que des mécanismes de gestion de la demande.

IV.2.4. Contrôle et gestion avancés du réseau

Les réseaux intelligents (smart-grids) peuvent jouer un rôle crucial dans la gestion des productions électriques décentralisées.

Les technologies de contrôle avancées, telles que l'automatisation des réseaux, les systèmes de gestion de l'énergie et les réseaux de communication bidirectionnels, peuvent aider à optimiser l'utilisation des ressources distribuées et à améliorer l'efficacité opérationnelle du réseau.

IV.2.5. Tarification et incitations

Des mécanismes tarifaires appropriés doivent être mis en place pour refléter la valeur temporelle et spatiale de la production décentralisée.

Cela peut encourager les comportements qui favorisent l'intégration efficace des ressources distribuées et la réduction des pointes de demande.

IV.2.6. Réglementation et politiques publiques

Les réglementations et les politiques publiques doivent être adaptées pour encourager le déploiement des productions électriques décentralisées tout en assurant la sécurité, la fiabilité et l'équité du système électrique dans son ensemble.

Globalement, la gestion en présence d'un fort taux d'insertion des productions électriques décentralisées nécessite une approche intégrée qui combine la planification efficace du réseau, les technologies avancées de contrôle et de gestion, ainsi que des incitations économiques appropriées. Ce défi peut être surmonté avec une collaboration étroite entre les opérateurs de réseaux, les gouvernements, l'industrie et d'autres parties prenantes du secteur de l'énergie.

IV.3. Les surcoûts techniques liés l'intermittence

L'intermittence des sources d'énergie renouvelables, telles que l'énergie solaire et éolienne, peut entraîner des surcoûts techniques dans la gestion du système électrique.

Cela comprend les coûts associés à l'intégration de moyens de stockage, à la mise en œuvre de solutions de gestion de la charge, et à l'adaptation des infrastructures pour gérer les fluctuations rapides de la production.

Les surcoûts techniques liés à l'intermittence des sources d'énergie renouvelable, telles que l'énergie solaire et éolienne, peuvent être un défi pour les opérateurs de réseaux électriques et les planificateurs énergétiques.

Voici quelques-uns des surcoûts techniques associés à l'intermittence :

IV.3.1. Renforcement du réseau électrique

L'intermittence de la production d'énergie renouvelable peut nécessiter des investissements supplémentaires dans le renforcement et l'extension du réseau électrique pour transporter l'électricité des zones de production vers les zones de consommation. Par exemple, des lignes de transmission plus robustes ou de nouvelles infrastructures peuvent être nécessaires pour intégrer les parcs éoliens offshore ou les centrales solaires situées dans des zones éloignées.

IV.3.2. Stockage d'énergie

Pour lisser les variations de la production d'énergie renouvelable et fournir de l'électricité lors des périodes de faible production, des systèmes de stockage d'énergie, tels que des batteries, peuvent être nécessaires. Ces systèmes de stockage ajoutent des coûts

supplémentaires au système électrique en termes d'investissement initial, de maintenance et d'exploitation.

IV.3.3. Mécanismes de flexibilité

Les sources d'énergie intermittente nécessitent des mécanismes de flexibilité pour s'adapter aux variations rapides de la production. Cela peut inclure des centrales électriques flexibles capables de démarrer rapidement ou de modifier leur puissance de sortie en réponse aux fluctuations de la production renouvelable. Ces mécanismes de flexibilité peuvent également entraîner des coûts supplémentaires.

IV.3.4. Systèmes de contrôle avancés

Pour gérer efficacement l'intermittence des sources d'énergie renouvelable, des systèmes de contrôle avancés et des technologies de gestion de l'énergie peuvent être nécessaires. Cela inclut des investissements dans des réseaux intelligents, des systèmes de prévision météorologique améliorés et des algorithmes de gestion de l'énergie sophistiqués.

IV.3.5. Pertes d'énergie et inefficacités de fonctionnement

L'intermittence peut également entraîner des pertes d'énergie et des inefficacités de fonctionnement dans le réseau électrique. Par exemple, lorsque des sources d'énergie renouvelable sont coupées en raison de conditions météorologiques défavorables, cela peut entraîner des pertes d'énergie non produite et des inefficacités opérationnelles dans les centrales électriques conventionnelles qui doivent compenser ces variations.

Comme conclusion, on peut dire que les surcoûts techniques liés à l'intermittence des sources d'énergie renouvelable peuvent être significatifs et doivent être pris en compte lors de la planification et de l'exploitation des systèmes électriques. Une approche intégrée, combinant des investissements dans le réseau, le stockage d'énergie, la flexibilité du système et les technologies de contrôle, est essentielle pour atténuer ces surcoûts et assurer une transition efficace vers un système énergétique plus durable et résilient.

IV.4. Méthodologie de gestion des situations critiques

✚ La gestion des situations critiques dans les infrastructures électriques implique l'identification précoce des risques potentiels, la mise en place de stratégies de prévention et de mitigation, ainsi que des plans d'intervention d'urgence. Des outils de surveillance avancés, des algorithmes de prévision et des protocoles de communication efficaces sont essentiels pour une gestion efficace des crises.

✚ La gestion des situations critiques dans le contexte de la production et de la distribution d'énergie électrique implique une approche méthodique et proactive pour identifier, évaluer et répondre aux menaces potentielles pour la sécurité, la fiabilité et la disponibilité du réseau électrique. Voici une méthodologie générale pour la gestion des situations critiques dans ce domaine :

IV.4.1. Identification des risques potentiels

✚ Identifier les risques potentiels pour le réseau électrique, y compris les pannes d'équipement, les conditions météorologiques extrêmes, les cyber-attaques, les pannes de communication, etc.

✚ Évaluer l'impact de ces risques sur la sécurité et la fiabilité du réseau, ainsi que sur la satisfaction des besoins en électricité des clients.

IV.4.2. Évaluation de la criticité des scénarios :

✚ Évaluer la probabilité d'occurrence de chaque scénario critique identifié.

✚ Estimer les conséquences potentielles de chaque scénario sur le fonctionnement du réseau, y compris les perturbations pour les clients, les pertes économiques, les impacts environnementaux, etc.

IV.4.3. Développement de plans d'intervention d'urgence :

✚ Développer des plans d'intervention d'urgence détaillés pour répondre à chaque scénario critique identifié.

✚ Définir les responsabilités, les actions à entreprendre, les ressources nécessaires et les protocoles de communication pour chaque plan d'intervention.

IV.4.4. Mise en œuvre de mesures préventives :

✚ Mettre en œuvre des mesures préventives pour réduire les risques de survenue des scénarios critiques, telles que la maintenance préventive de l'équipement, les tests de sécurité, les mesures de cyber sécurité, etc.

IV.4.5. Déploiement de systèmes de surveillance et de contrôle :

✚ Déployer des systèmes de surveillance avancés pour détecter les signes précoces de situations critiques et prendre des mesures préventives avant que les problèmes ne s'aggravent.

✚ Mettre en place des systèmes de contrôle automatisés pour réagir rapidement aux incidents et limiter leur propagation.

IV.4.6. Formation et exercices d'urgence

- ✚ Former le personnel aux procédures d'intervention d'urgence et aux meilleures pratiques en matière de gestion des situations critiques.
- ✚ Organiser régulièrement des exercices d'urgence pour tester les plans d'intervention, identifier les lacunes et améliorer la préparation du personnel.

IV.4.7. Analyse post-incident et amélioration continue

- ✚ Effectuer des analyses post-incident pour évaluer l'efficacité des plans d'intervention d'urgence et identifier les opportunités d'amélioration.
- ✚ Mettre en œuvre des mesures correctives et des actions d'amélioration continue pour renforcer la résilience et la fiabilité du réseau électrique.

En suivant cette méthodologie, les opérateurs de réseaux électriques peuvent mieux prévenir, détecter et gérer les situations critiques, réduisant ainsi les risques pour la sécurité et la fiabilité du réseau électrique tout en assurant la satisfaction des besoins en électricité des clients.

IV.5. Intérêt du stockage de l'énergie

Le stockage de l'énergie (voir figure IV.2) joue un rôle crucial dans la gestion des infrastructures critiques du système électrique, en permettant de lisser les fluctuations de la production et de la demande, de fournir des services de régulation de fréquence et de contribuer à la résilience du réseau en cas de défaillance. Les technologies de stockage telles que les batteries, les super-condensateurs et les systèmes de stockage thermique gagnent en importance pour répondre aux besoins croissants du réseau. Il est l'énergie présente plusieurs avantages significatifs dans le contexte de la transition vers des systèmes énergétiques plus durables et résilients.

Voici quelques-uns des principaux intérêts du stockage de l'énergie :

IV.5.1. Gestion des intermittences des sources d'énergie renouvelable

Le stockage de l'énergie permet de lisser les variations de la production des sources d'énergie renouvelable intermittentes telles que l'énergie solaire et éolienne.

En stockant l'énergie produite pendant les périodes de forte production et en la libérant pendant les périodes de faible production, le stockage contribue à stabiliser le réseau électrique et à garantir un approvisionnement constant en électricité.

IV.5.2. Optimisation de l'utilisation des ressources renouvelables

En permettant de stocker l'énergie produite par les sources renouvelables lorsqu'elle est abondante et bon marché, le stockage permet d'optimiser l'utilisation de ces ressources.

Cela contribue à réduire la dépendance aux combustibles fossiles et à promouvoir une transition vers une énergie plus propre et plus durable.

IV.5.3. Réduction des pointes de demande

Le stockage de l'énergie peut être utilisé pour répondre aux pointes de demande d'électricité, ce qui permet d'éviter la construction de nouvelles infrastructures coûteuses pour répondre à ces pointes temporaires.

Cela peut également contribuer à réduire les coûts d'exploitation du système électrique en évitant l'utilisation de centrales électriques moins efficaces et plus polluantes pendant les périodes de pointe.

IV.5.4. Amélioration de la stabilité et de la fiabilité du réseau

En fournissant des capacités de réserve et de régulation rapides, le stockage de l'énergie peut contribuer à améliorer la stabilité et la fiabilité du réseau électrique.

Il peut également fournir des services auxiliaires tels que la régulation de la fréquence et de la tension, ce qui est essentiel pour maintenir un fonctionnement sûr et stable du réseau.

IV.5.5. Flexibilité et adaptation aux besoins changeants

Le stockage de l'énergie offre une grande flexibilité et peut être utilisé dans une variété d'applications et de configurations, allant des petites installations domestiques aux grands systèmes de stockage à l'échelle du réseau.

Cela permet de répondre aux besoins changeants du système électrique et de s'adapter aux évolutions technologiques et aux conditions du marché.

En résumé, le stockage de l'énergie joue un rôle crucial dans la transition vers un système énergétique plus durable, résilient et efficient.

En combinant les avantages du stockage avec le déploiement croissant des sources d'énergie renouvelable, il offre des solutions pour relever les défis de l'intermittence, des pointes de demande et de la stabilité du réseau électrique, tout en favorisant une utilisation plus efficace et plus propre de l'énergie.

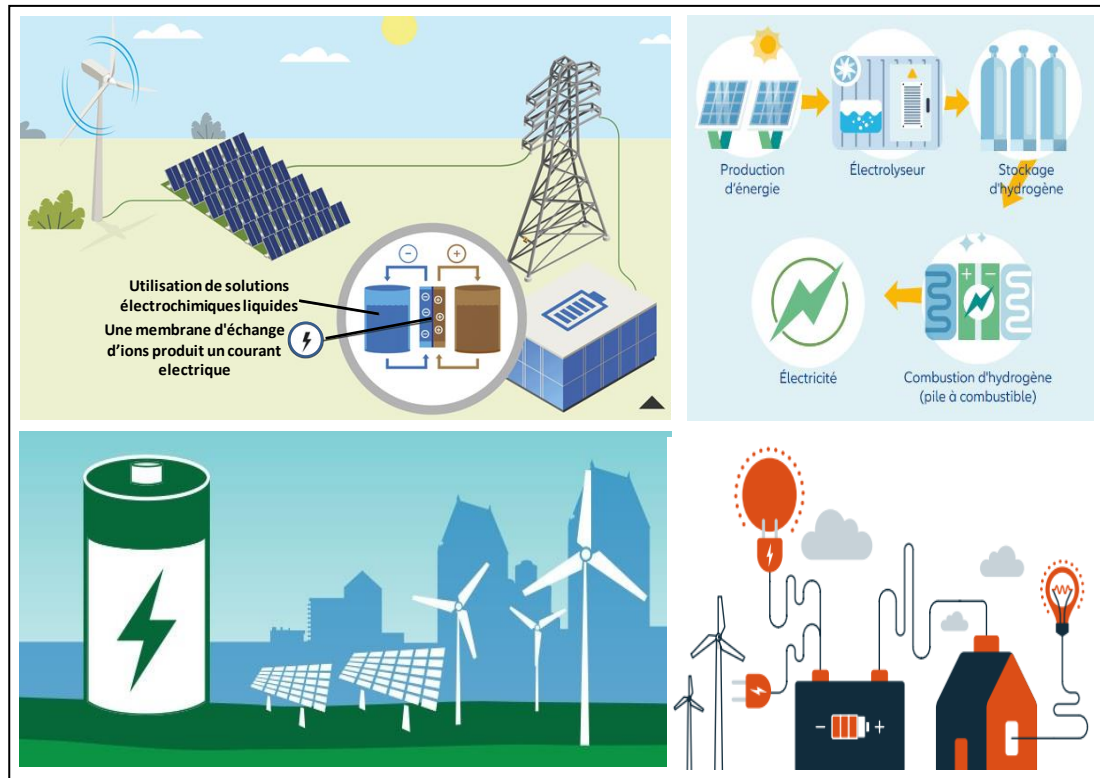


Figure IV.2. Stockage d'énergie.

IV.6. Ilotage

L'ilotage des infrastructures électriques permet de maintenir la fourniture d'électricité dans des zones isolées en cas de déconnexion du réseau principal. Cette technique est particulièrement utile dans les situations d'urgence ou lors de travaux de maintenance, assurant ainsi la continuité de service pour les utilisateurs finaux.

L'ilotage est une stratégie utilisée dans la gestion des réseaux électriques qui consiste à isoler une partie du réseau en cas de panne ou de perturbation, afin de maintenir l'alimentation électrique dans cette zone spécifique.

Cette technique est souvent utilisée dans les réseaux électriques pour garantir la continuité de l'alimentation dans les zones critiques ou sensibles, même en cas de problème sur le réseau principal.

Voici comment fonctionne généralement le processus d'ilotage :

IV.6.1. Détection de la perturbation

Lorsqu'une perturbation, telle qu'une panne d'équipement ou une coupure de ligne, est détectée sur le réseau électrique, les dispositifs de surveillance et de contrôle automatiques peuvent identifier la zone affectée.

IV.6.2. Isolation de la zone

Les dispositifs de commutation automatique ou les relais de protection sont utilisés pour isoler la zone touchée du reste du réseau. Cela peut impliquer la fermeture de disjoncteurs ou de sectionneurs pour empêcher la propagation de la perturbation vers d'autres parties du réseau.

IV.6.3. Fourniture d'électricité locale

Une fois que la zone a été isolée, des sources d'énergie alternatives, telles que des groupes électrogènes locaux, des systèmes de stockage d'énergie ou des micro-réseaux, peuvent être activées pour fournir de l'électricité aux clients dans cette zone.

IV.6.4. Surveillance et rétablissement du réseau principal

Pendant que la zone isolée est alimentée localement, les opérateurs du réseau travaillent pour identifier et réparer la cause de la perturbation sur le réseau principal. Une fois que la situation est résolue, la zone isolée peut être réintégrée dans le réseau principal.

L'îlotage est souvent utilisé dans les situations d'urgence, telles que les tempêtes, les pannes d'équipement ou les catastrophes naturelles, où il est important de maintenir l'alimentation électrique dans des zones critiques, telles que les hôpitaux, les centres de données ou les infrastructures vitales. Cela permet de minimiser les interruptions de service et d'assurer la sécurité et le bien-être des personnes affectées.

IV.7. Conclusion

Les infrastructures critiques du système électrique font face à des défis complexes liés à l'insertion croissante de la production électrique décentralisée et à l'intermittence des sources d'énergie renouvelables. La mise en œuvre de stratégies de gestion efficaces, l'utilisation de technologies de stockage avancées et le développement de protocoles d'intervention d'urgence sont essentiels pour assurer la fiabilité, la stabilité et la résilience du réseau électrique dans un environnement en évolution constante.

