

Les gestionnaires de grands réseaux électriques mondiaux en ordre de marche

Alain P. Steven

En dépit de différences humaines, géographiques et économiques, les opérateurs de réseaux partagent des préoccupations communes. La croissance rapide de la consommation, d'abord au XX^e siècle dans les pays industrialisés, puis plus récemment dans les économies émergentes, a été rendue possible par la construction d'un grand nombre de centrales de production, souvent éloignées des lieux de consommation qu'elles desservent, nécessitant la création d'un réseau de plus en plus complexe de lignes de transport et de postes d'interconnexion.

Initialement développés comme des réseaux électriques locaux qui relient les consommateurs aux centrales électriques voisines, les entreprises d'électricité ont identifié très tôt l'intérêt d'interconnecter ces réseaux électriques. Elles ont ainsi créés de grands réseaux maillés.

Aujourd'hui, ces très grands réseaux interconnectés à haute et très haute tension sont sous la responsabilité des gestionnaires de réseaux, tels que RTE en France ou le groupe Elia en Belgique et Allemagne du Nord. Certains gestionnaires de réseaux, tels que PJM et MISO aux États-Unis, sont également responsables du développement et de la gestion des marchés d'électricité.

Une des principales missions des gestionnaires de réseaux, quelle que soit leur taille, est de maintenir un équilibre étroit entre la production et la consommation d'électricité, tout en garantissant la sûreté et la qualité de l'alimentation électrique. En effet, l'électricité ne se stockant pas économiquement en grande quantité, l'équilibre entre la production et la consommation doit être réalisé en temps réel par les gestionnaires de réseaux. Ainsi, une entreprise comme *PJM Interconnection* aux États-Unis contrôle 24h sur 24, et ceci toutes les deux secondes, plus de 1 500 centrales de

production pour satisfaire une consommation qui peut atteindre 145 000 MW au cours d'un été chaud.

En raison de cette complexité, des effondrements du réseau électrique ont affectés ces infrastructures durant la dernière décennie, en particulier en Amérique du Nord, en Europe occidentale et en Inde. De plus, de grandes catastrophes naturelles, comme le tsunami au Japon en 2011 et l'ouragan Sandy en 2012 sur la côte est des États-Unis, ont créé des dommages sans précédent sur ces réseaux, entraînant des pannes de courant importantes et de longue durée affectant des millions de clients et, par conséquent, l'ensemble de l'économie et de la société. C'est pour relever ces défis majeurs que les plus importants opérateurs de réseaux ont formé en 2004 une association internationale appelée initialement VLPGO (*Very Large Power Grid Operators*), rebaptisée en 2012 *GO 15 - Reliable and Sustainable Power Grids*.

1. L'ambition de GO 15 : garantir la fiabilité du réseau électrique

L'ambition de GO 15 est simple : coopérer sur des sujets d'intérêt commun pour garantir

la fiabilité du réseau électrique au moindre coût pour les consommateurs dans un contexte énergétique changeant. Ceci appelle :

- un partage renforcé entre les gestionnaires de réseaux, acteurs de la transition énergétique en prenant en compte les nouvelles habitudes de consommation, afin de garantir un réseau électrique robuste et fiable et de contribuer ainsi à l'avènement d'une société à faible émission de carbone.
- un échange régulier avec les gouvernements, les régulateurs, les décideurs, afin de favoriser à la fois les investissements nécessaires à l'extension des réseaux et les prestations offertes aux consommateurs au moindre coût.

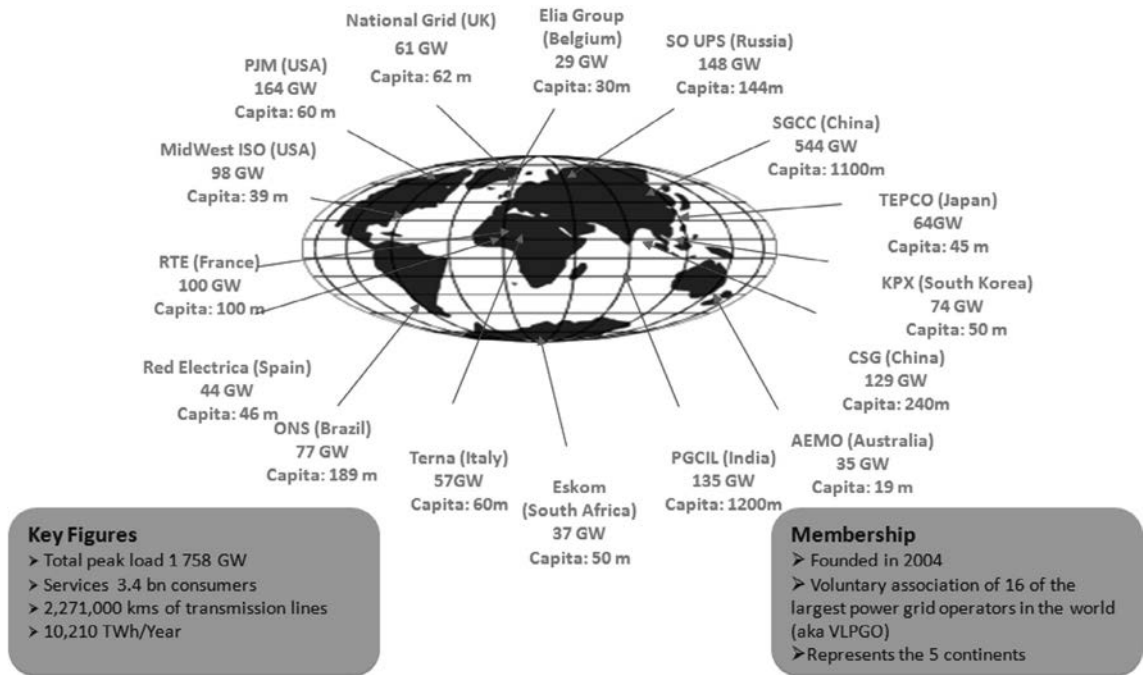
Ces missions sont accomplies sur la base d'un consensus entre les membres de GO 15 grâce au développement d'une approche commune intégrant les nouvelles technologies et les bonnes pratiques à développer. Il s'agit ensuite pour

GO 15 de partager cette approche avec d'autres organisations internationales et de la faire connaître à travers les médias.

GO 15 réunit 16 des plus grands opérateurs de réseaux électriques représentant ainsi plus de 70% de la demande d'électricité mondiale, fournissant de l'électricité à 3,4 milliards de consommateurs sur les cinq continents et responsables de l'intégration de 2518 GW de capacité de production dans le réseau, dont 21% proviennent de sources d'énergie renouvelables.

Ses membres ont bien entendu des profils différents, en fonction de l'état du développement industriel et de la réglementation dans leurs régions respectives. En particulier, certains sont encore totalement intégrés tels que Tepco (au Japon), d'autres sont des opérateurs de réseau propriétaires des actifs tels que RTE, ou non propriétaires des actifs tels que ONS au Brésil. Certains membres sont cotés en bourse comme les groupes Elia, NG ou REE, d'autres exploitent le réseau et les

GO 15 réunit 16 des plus grands opérateurs de réseaux électriques



Les membres de GO 15

marchés de gros de l'électricité tels que MISO et PJM aux USA. Certains sont de très grandes entreprises comme le chinois SGCC tandis que d'autres ont moins de 600 collaborateurs comme PJM. Malgré cette diversité, ils partagent des défis communs qui nécessitent une constante adaptation et une innovation, toutes deux soutenues par une régulation adéquate et des tarifs appropriés.

C'est pourquoi, au delà des différences significatives en termes de marchés, de mix énergétique, d'industries et du pouvoir d'achat de leurs consommateurs, les opérateurs de réseaux électriques partagent des missions communes qui consistent à :

- agir dans le meilleur intérêt des consommateurs en garantissant la qualité de l'électricité, tout en minimisant les coûts et en considérant l'impact économique, environnemental et social de leurs actions ;
- assurer la conception, la gestion et le développement des systèmes électriques ;
- servir d'interface entre les différents utilisateurs directs du réseau de transport que sont les producteurs, les gestionnaires de réseau de distribution et les consommateurs ;
- être les interlocuteurs-clés des bourses de l'électricité, des fournisseurs, des agrégateurs, des régulateurs et des gouvernements.

Ces enjeux communs constituent le socle de la coopération fructueuse entre les membres de GO 15. Dans cet esprit, GO 15 permet de partager des expérimentations innovantes dont voici quelques exemples.

A) Augmentation de la capacité de transport grâce au *Dynamic Line Rating* (Elia, RTE, NG)

Dans la plupart des pays, la construction de nouvelles infrastructures de transport est rendue difficile faute d'acceptation sociale. Par conséquent, les opérateurs de réseaux cherchent à maximiser l'utilisation des ouvrages existants.

Parmi les outils disponibles, *Dynamic Line Rating* (DLR) permet aux opérateurs d'augmenter le flux de puissance maximale pouvant circuler sur les lignes à certaines périodes. En

effet, les lignes aériennes à haute tension sont exploitées sur la base d'une limite statique ou saisonnière. Cette limite est fondée sur les hypothèses météorologiques les plus pessimistes (vent faible, température ambiante élevée et rayonnement solaire maximal). Une ligne aérienne équipée d'un système DLR utilise une limite dynamique reposant sur des conditions réelles mesurées. Ainsi, la puissance thermique de la ligne aérienne peut être augmentée de plus de 30% lorsqu'il y a du vent.

Lorsque DLR est utilisé dans le cadre d'une coordination régionale renforcée entre des opérateurs de réseaux électriques voisins, il permet d'augmenter jusqu'à 20 % de capacité de transport du réseau.

B) L'énergie de freinage des trains mise au service du réseau (PJM USA)

Une batterie de 800 kW a été installée dans l'une des stations SEPTA (*South East Philadelphia Transit Authority*) aux États-Unis. Celle-ci récupère une fraction importante de l'énergie de freinage des trains. Cette énergie supplémentaire, autrement perdue pour le réseau, permet à PJM Interconnection de réguler la fréquence du système toutes les deux secondes. La mise en œuvre récente du FERC Order 755, qui prévoit une rémunération supplémentaire pour la fourniture de régulation rapide de fréquence, permet d'accélérer le retour sur investissement de cette batterie. En outre, le stockage électrique permet à une économie jusqu'à 30 % des coûts de traction. Ce projet-pilote a pu être mis en œuvre avec à l'aide de l'État de Pennsylvanie (PEDA) et du ministère américain de l'Énergie.

C) Stockage de l'énergie et production photovoltaïque

Au Japon, les services publics incitent les particuliers à limiter leur consommation aux heures de pointe. La combinaison d'un système photovoltaïque et de stockage par batterie donne aux consommateurs la possibilité de produire, stocker et fournir de l'électricité toute la journée depuis leur domicile pour palier les aléas de production ou de réseau. Combinés avec une réglementation des tarifs adéquate et une facturation en fonction du temps d'utilisa-

tion, comme en Californie, le stockage d'électricité et le photovoltaïque deviennent économiquement intéressants et incitent également les utilisateurs à modifier leurs habitudes de consommation hors des périodes de pointe.

D) Système de défense contre les oscillations basse fréquence - China Southern Power Grid

China Southern Power Grid (CSG) a déployé un système ultra-haute tension AC/DC hybride sur un couloir à longue distance (2000 km). Il permet d'augmenter la capacité de transport (24 GW) des centrales de production situées dans l'ouest de la Chine vers les principaux centres de consommation localisés à l'est. Sur ce long réseau, les oscillations à basse fréquence sont devenues la principale contrainte de la capacité de transport car elles peuvent conduire à des instabilités du réseau entraînant un effondrement du système à grande échelle.

Ce système de surveillance étendu s'appuie sur le déploiement de plus de 370 synchrophaseurs (PMU) sur la plupart des postes 500 KV et quelques postes 220 KV. Il fournit une plate-forme de mesure dynamique et synchronisée de l'état du réseau sur une grande échelle, ce qui permet de déterminer en temps réel l'amplitude des oscillations à basse fréquence. Sur la base de ces mesures, CSG a développé un système de défense qui comprend trois niveaux :

- un système de commande coordonnée de plusieurs HVDC,
- un système de partage des oscillations au niveau des petites centrales hydrauliques,
- un système de localisation de la source d'oscillation.

Grace à ce système qui combine des technologies nouvelles, telles que les synchro-phaseurs, avec des algorithmes avancés, CSG est parvenu à accroître dans un premier temps la capacité de transport de la ligne de plus de 500 MW.

E) Projet Magicc - Les voitures électriques connectées au réseau PJM

Dans un contexte de structures de marché et des incitations bien conçues, les véhicules électriques peuvent devenir instrument de fiabilité du réseau, tout en offrant à leurs propriétaires des revenus complémentaires provenant des marchés de gros de l'électricité.

En 2003, l'université de Delaware, en partenariat avec PJM et d'autres organismes publics et privés, a lancé l'étude des services électriques à double sens qui pourraient être fournis au système par les voitures électriques. L'objectif de cette étude est d'identifier et d'évaluer les modèles économiques potentiels.

Une voiture américaine sert en moyenne seulement une heure par jour. Par conséquent, les voitures électriques inutilisées peuvent potentiellement fournir des services au réseau

Fondée en 2004, initialement sous le nom de VLPGO (*Very Large Power Grid Operators*), à la suite de plusieurs *blackouts* ayant affecté les réseaux électriques américains et européens, l'association GO 15 est une initiative internationale de 16 des plus grands gestionnaires de réseaux au monde, responsables de l'acheminement de l'électricité pour plus de 3,4 milliards de consommateurs. Les membres de GO 15 coopèrent sur de grands sujets d'intérêt commun en partageant méthodes et bonnes pratiques, afin de relever les défis majeurs techniques et financiers suscités notamment par l'intégration des énergies renouvelables intermittentes, l'impact sur le réseau des véhicules électriques et le changement de comportement des consommateurs tant industriels que résidentiels.

GO 15 est régie par un conseil de direction qui se réunit deux fois par an, où siègent les représentants des opérateurs de réseaux. Ces travaux sont dirigés par le président de GO 15 élu annuellement. Cette responsabilité est actuellement exercée par Terry Boston, président de PJM. L'assemblée générale, qui se réunit une fois par un an, est l'instance décisionnelle suprême dans laquelle viennent siéger les présidents des gestionnaires de réseaux. La mise à jour régulière de la feuille de route de GO 15 garantit un suivi régulier des objectifs fixés pour 2020.

Les activités conjointes des membres de GO 15 comprennent une dizaine de groupes de travail portant sur des sujets spécifiques parfois en coordination avec d'autres organisations telles que Cigre, IEC, ICER et l'AIE pour prévenir des redondances (cf. www.go15.org).

23 heures par jour. Une voiture connectée au réseau peut ainsi générer une moyenne de 5 \$ des revenus par jour soit environ 1800 \$ par an.

Le projet de recherche a utilisé jusqu'à 15 véhicules électriques équipés d'un système de connexion conçu pour permettre l'échange de haute puissance avec le réseau et répondre au signal PJM de régulation de fréquence primaire. Le coût de ce système électronique de connexion est évalué à 400 \$ environ par voiture.

Ce projet pilote de recherche a mis en évidence que :

- Une voiture fonctionnant sur batterie peut être interconnectée au réseau.
- Le débit d'énergie à double sens peut être commandé à distance.
- Cet équipement peut répondre au signal de régulation de fréquence PJM en temps réel.
- Et, enfin, les services offerts au réseau (réglage de la fréquence, réserves tournantes et stockage d'énergie) sont significatifs et économiquement viables.

2. Les défis majeurs des gestionnaires de réseaux

La transformation du secteur de l'énergie a été orientée par les enjeux mondiaux du changement climatique. Un mouvement de fond favorise le développement de la production d'énergie renouvelable, l'usage d'équipements à haute efficacité énergétique, le stockage d'énergie, les initiatives de gestion de la consommation et les véhicules électriques. Les réseaux électriques devront être renforcés et développés pour assurer le raccordement et le transport des sources d'énergie plus propres vers les lieux de consommation sans perte de fiabilité.

Cette transformation du secteur de l'énergie porte des défis majeurs, communs aux membres de GO 15 notamment dans les 14 secteurs suivants.

A) Les limites des infrastructures actuelles

L'augmentation de la consommation (50 % au cours de 10 prochaines années dans les

économies en développement) et l'intégration des énergies renouvelables nécessitent le renforcement et le développement du réseau électrique ainsi que des interconnexions. Les investissements associés sont estimés à 700 milliards de dollars au cours des 10 prochaines années. Ainsi, 41% de la production d'énergie éolienne en Allemagne se trouve dans le nord, alors que la majorité des lieux de consommation sont situés dans le sud. C'est également le cas pour la production d'énergie éolienne située dans la partie nord de la Chine ou de la partie centrale des États-Unis.

B) Le coût de la sécurité

Les événements climatiques exceptionnels peuvent infliger des dommages considérables aux réseaux, entraînant l'interruption de la fourniture d'électricité parfois pendant des semaines. Les experts de GO 15 s'efforcent d'identifier les mesures les plus efficaces pour obtenir le meilleur compromis entre les coûts de renforcement et le niveau de sécurité attendu du système.

C) Le renforcement des interconnexions entre les centrales nucléaires et le réseau de transport

Une des leçons tirées de l'accident de Fukushima est la nécessité de la redondance de l'alimentation électrique auxiliaire externe d'une centrale de production nucléaire. Construire un système plus sûr est incontournable compte tenu de la dépendance croissante de nos sociétés modernes à l'énergie électrique.

D) Le long processus administratif de construction de nouvelles lignes électriques

La création ou le renforcement de nouvelles lignes électriques se heurte à un processus d'autorisations administratives long et complexe sans compter le caractère sensible de l'acceptation sociale de ces nouvelles infrastructures. Ceux-ci augmentent considérablement les délais de réalisation de ces ouvrages. Ainsi, parmi les membres de GO 15, il faut compter en moyenne 7 à 10 ans pour construire une nouvelle ligne de transport. Étant donné l'incertitude sur la localisation de la production

d'énergie renouvelable et la rapidité de son implantation, ceci signifie que, dans de nombreux cas, le réseau de transport risque de ne pas être au rendez-vous du raccordement de ces nouveaux moyens de production d'énergie renouvelable.

E) Systèmes hybrides à haute tension et ultra-haute tension (HVDC)

Des lignes à haute tension et ultra-haute tension en courant continu (par exemple, 800 KV) sont de plus en plus intégrées dans les réseaux pour permettre le transport d'une grande quantité d'énergie sur de grandes distances. Ces ouvrages peuvent s'étendre sur plusieurs milliers de kilomètres comme en Inde, au Brésil et en Chine. La conversion entre les tensions alternatives et continues implique la mise en œuvre de nouvelles technologies qui sont en phase de développement. Les activités conjointes apportent une expérience et des informations précieuses pour les membres qui envisagent de s'engager dans de tels projets, comme en Europe pour le raccordement de grands parcs éoliens onshore et offshore.

F) L'intégration dans le système électrique de nouveaux moyens de production d'électricité

La production d'énergie renouvelable (photovoltaïque, éolienne et les parcs éoliens offshore...) est variable et non nécessairement en phase avec la consommation. Ainsi, le vent a tendance à souffler d'avantage la nuit, période pendant laquelle la consommation est plus faible. De plus, la nature et la localisation des nouveaux moyens de production ont évolué rapidement. Cela induit des changements importants dans les flux de puissance active et réactive, ayant un impact sur les contraintes thermiques, la stabilité dynamique et la stabilité de tension. GO 15 favorise le partage des expériences mises en œuvre par ses membres sur le monitoring et le pilotage des systèmes électriques.

G) Une consommation flexible

Divers programmes de gestion de la consommation sont en cours de déploiement

et deviennent un moyen de pilotage pour l'opérateur du réseau permettant de réduire ou de décaler la demande de pointe, en fournissant aux clients des tarifs basés sur des périodes d'heures de pointes et d'heures creuses ou par des incitations du marché afin de réduire ou de décaler la consommation aux heures de pointe. Ces programmes se traduisent également par l'évolution des tendances de consommation qui introduisent de nouvelles incertitudes dans les prévisions des besoins à des endroits donnés.

H) L'évolution des modes de consommation pour les réseaux matures

La mise en place de solutions de maîtrise de la courbe de consommation, tant au niveau des consommateurs industriels que des consommateurs domestiques, ajoute un degré d'incertitude supplémentaire dans les prévisions de la consommation car les consommateurs réagissent à des degrés divers aux incitations financières de leurs fournisseurs. Pour la plupart des modèles économiques développés, la croissance de la consommation au cours de la prochaine décennie restera très faible voire stable, en raison d'une plus grande efficacité énergétique des *process* industriels et des appareils ménagers.

I) L'intégration des véhicules électriques

Les stations de recharge rapide pour les véhicules électriques auront des impacts sur le transport d'électricité, augmentant l'incertitude sur les flux électriques correspondants. Comme pour les solutions d'effacement de la consommation, les gestionnaires de réseaux, appuyés par le développement de régulations adéquates, devront générer les signaux économiques nécessaires permettant de transformer les véhicules électriques en acteurs actifs sur le réseau contribuant à l'amélioration de sa fiabilité.

J) Le stockage

Les solutions de stockage sont de plus en plus attrayantes permettant de compenser l'intermittence de la production éolienne et solaire. Le régulateur américain (FERC) a

récemment introduit son Order 755 pour inciter le développement des services de régulation de fréquence rapide. De même, le régulateur italien a introduit un mécanisme incitant Terna à utiliser le stockage pour réduire les contraintes du réseau.

Il existe aujourd'hui plusieurs solutions techniques pour stocker l'énergie, en plus des solutions de stockage par pompes classiques. Il s'agit notamment du stockage thermique (chauffe-eau, pré-refroidissement intégré), du stockage mécanique (air comprimé, volants) et du stockage électrique (batteries industrielles, véhicules électriques). Le stockage électrique et le stockage mécanique sont des formes de stockage intéressantes pour les opérateurs de réseaux car ils sont capables de répondre rapidement à un signal de régulation rapide (par exemple toutes les 2 secondes) venant de l'opérateur du système électrique. GO 15 se propose de dresser un inventaire des solutions technologiques en cours et d'en évaluer la pertinence et le coût économique.

K) Finance et régulation

Un des défis majeurs des opérateurs de réseaux réside dans le financement des infrastructures, étant donné l'incertitude de l'emplacement et de la nature des actifs de production d'électricité associés au nouveau mix énergétique. Pour faire face à ce nouveau défi, les membres de GO 15 évaluent plusieurs aspects du problème : les mécanismes d'investissement, l'impact des tarifs, la régulation nécessaire et le modèle économique associé aux nouveaux types d'actifs.

L) Une approche commune de la normalisation

L'avènement des technologies numériques et des méthodes de communication rapide a été un catalyseur pour la communication en temps réel entre tous les acteurs raccordés au réseau électrique. L'ensemble de ces innovations technologiques associées à la

notion de *Smart Grid* a permis le déploiement d'un grand nombre de nouvelles solutions et de nouveaux acteurs dans le domaine des télécommunications et des logiciels. GO 15 se préoccupe de l'interopérabilité entre ces solutions. C'est pourquoi l'ambition de GO 15 est de faire des recommandations en matière de normalisation.

M) Assistance mutuelle

Enfin, les récents événements de grande ampleur ont conduit les membres de GO 15 à élaborer un protocole d'assistance mutuelle en cas de *blackouts* majeurs. Ce protocole est complété par un réseau de communication de crise qui permet à tout membre en difficulté de contacter et demander l'aide d'autres membres si nécessaire.

N) Coopération avec d'autres organisations internationales

En outre, GO 15 a lancé un certain nombre d'initiatives de coopération avec des organisations telles que l'ICER (Confédération internationale des régulateurs de l'énergie) et l'Agence internationale de l'énergie afin d'accélérer le développement de solutions globales et conjointes. En particulier, GO 15 a signé en juin 2012 un protocole d'accord avec l'ICER et a tenu son premier atelier commun à Londres en mars 2013 portant sur les besoins d'investissement dans la transition énergétique.

GO 15 se propose d'être le porte-parole des grands gestionnaires de réseau auprès des régulateurs, des gouvernements, des décideurs

3. Conclusion

La transition énergétique doit s'appuyer sur des réseaux plus développés et plus intelligents. Ceux-ci doivent s'adapter à un paysage énergétique en évolution rapide et mettant en œuvre des technologies nouvelles. Dans ce contexte, GO 15 se propose d'être le porte-parole des grands gestionnaires de réseau auprès des régulateurs, des gouvernements, des décideurs et de devenir ainsi un acteur écouté sur la scène énergétique mondiale. ■