



GESTION DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES JUSTE UNE QUESTION D'ÉQUILIBRE ?

Face à l'interdépendance accrue des réseaux électriques, comment protéger le consommateur et garantir la qualité du courant fourni ? Deux enjeux essentiels de la gestion des réseaux électriques. Explications.

Énergie non stockable par nature, l'électricité est devenue un atout essentiel de la compétitivité économique des nations. En effet, le niveau de sa consommation aussi bien par les particuliers que par les industries caractérise pour une bonne part le niveau de développement de nos sociétés. Dans ce contexte, sa commodité d'utilisation, autrement dit le maintien d'un équilibre entre l'offre et la demande, s'avère un facteur clé décisif pour tout simplement maintenir en « état de marche » l'économie et la vie sociale de régions entières, parfois même d'un pays. Toute variation de la demande ou de la production se répercute instantanément sur l'ensemble du réseau : la permanence de cet équilibre est donc primordiale.

Le plan de tension, expression de l'offre et de la demande

Globalement, un système électrique se caractérise par le trinôme production-transport-consommation, dont les composants fonctionnent en interaction permanente et sont pilotés par des opérateurs et des automates. Le cadre de leur gestion est hautement complexe et la moindre faille peut se répercuter sur l'ensemble du dispositif ! L'exploitation de ce système vise par ailleurs à satisfaire, simultanément et à parts égales, trois objectifs fondamentaux : garantir la sûreté de fonctionnement du système, garantir la performance économique du marché, garantir la qualité de la fourniture.

L'expression de l'offre et de la demande électrique s'exprime dans le plan de tension. Généralement, au niveau d'un pays ou d'une région, il vise à répondre aux engagements contractuels et réglementaires des fournisseurs d'électricité (publics ou privés) vis-à-vis des utilisateurs

COURBE DE CHARGE
Elle représente l'équilibre entre la production d'électricité et la consommation.

(industriels et particuliers) et à compenser les chutes de tension. L'efficacité globale d'un système électrique repose donc sur le délicat équilibre de la courbe de charge, sous peine d'effondrement (voir page 8).

Et cet équilibre est assuré par la gestion coordonnée de moyens de conduite et de dispositifs techniques.

Moyens de conduite : un pilotage très hiérarchisé

La taille et la complexité d'un système électrique impliquent une organisation hiérarchisée afin que le gestionnaire du réseau – qu'il soit d'échelle régionale ou nationale – puisse assurer pleinement ses responsabilités au regard de la gestion du plan de tension : équilibre production/consommation, respect du transit de courant dans les lignes, qualité de l'onde électrique (voir page 6). Cette organisation s'appuie sur un dispositif de conduite à distance (« téléconduite ») du réseau, qui va exploiter et optimiser l'ensemble des performances attendues des ouvrages de production (centrales nucléaires, thermiques, hydrauliques) et d'infrastructures de transport de l'électricité (voir *Alternatives* n° 10, « Les autoroutes de l'énergie »).

REPÈRES

Les nouvelles appellations des tensions du réseau

Les appellations officielles des tensions des réseaux ont été définies en 1988 par l'UTE (Union technique de l'électricité et de la communication), organisme français de normalisation électrotechnique.

HTB

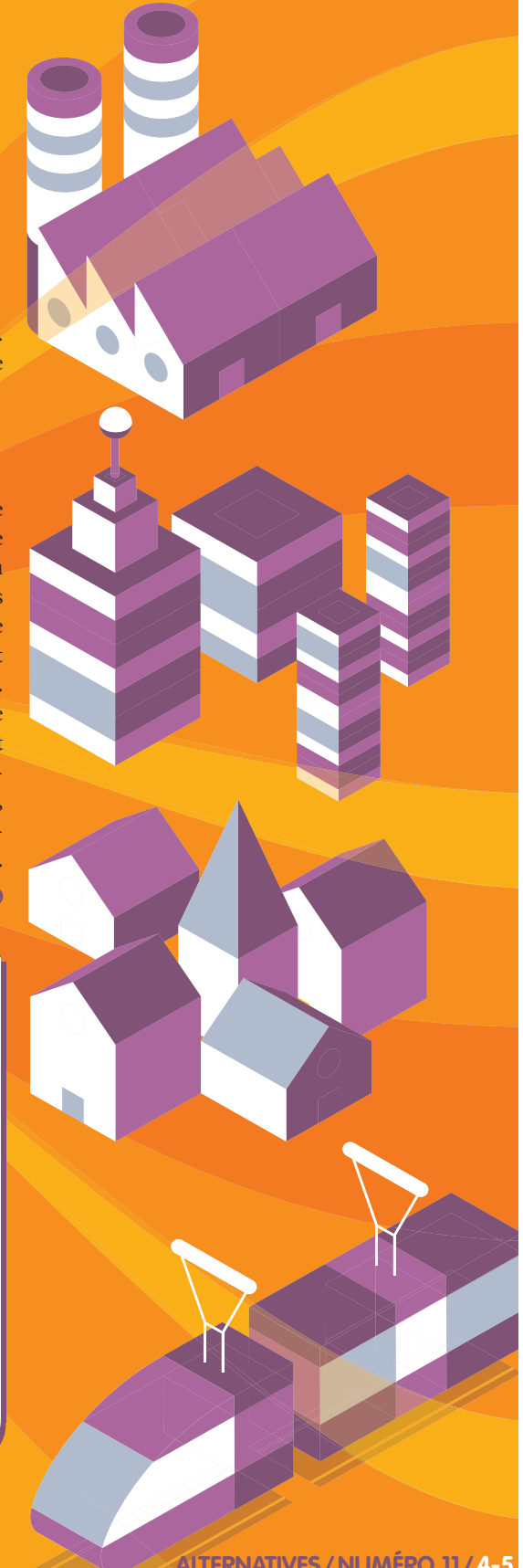
- HTB3 (ex-Très Haute Tension/THT) : 400 kV
- HTB2 : 225 kV
- HTB1 (ex-Haute Tension/HT) : 63 et 90 kV
- Haute Tension : > 50 kV

HTA

- Haute Tension : < 50 kV

BT

- Basse Tension : 380 et 220 V





MOT À MOT

SYSTÈME ÉLECTRIQUE

Ensemble complexe et fortement « bouclé » de composants fonctionnant en interaction permanente : le parc de production, le réseau de transport et de distribution, les installations clients et les équipements de téléconduite.

PARC DE PRODUCTION

Il est constitué des centrales nucléaires, thermiques (charbon, gaz, fioul), hydrauliques, ainsi que de productions décentralisées (éolien, solaire, petite hydroélectricité).

ÉQUIPEMENTS ET PROCÉDURES DE TÉLÉCONDUITE (DISPATCHINGS)

Ils règlent la fréquence et les échanges avec les gestionnaires de réseaux, ainsi que le maintien de la tension sur leurs zones de responsabilité.



• Au sommet du dispositif, un « dispatching » central, véritable vigie du système électrique, surveille et pilote le réseau 24 heures sur 24, et gère le plan de tension afin d'ajuster en temps réel les offres de production aux variations des demandes de consommation. Généralement (c'est le cas en France par exemple), ce dispatching central gère le réseau d'interconnexion à très haute tension (HTB3) ainsi que les échanges avec l'étranger.

• En dessous, des dispatchings de niveau régional surveillent les transits de hautes tensions inférieures (HTB2 et HTB1), en pilotant la tension pour chaque zone et en surveillant les injections de courant aux nœuds électriques du réseau.

• Un niveau intermédiaire, constitué de groupements de postes, prend en charge la conduite et la surveillance des installations de transport.

• Un niveau local, dans chaque poste de transport, peut assurer le même rôle en cas de situation extrême et gère également les tensions inférieures (HTA et BT).

Tous ces centres de conduites sont dotés de systèmes informatiques d'acquisition et de traitement des informations provenant des installations de puissance (postes et centrales), ainsi que d'un réseau de sécurité associé. En très haute tension (HTB2/225 kV), les équipements de protection électromécaniques sont de plus en plus

ONDE ÉLECTRIQUE

Dans le courant alternatif, les électrons du métal du conducteur (ligne électrique) se déplacent autour de leur position de repos, créant ainsi une énergie se propageant sous la forme d'une onde soumise à des variations d'amplitude et de fréquence. C'est la régularité de ces variations que l'on observe sur un oscilloscope qui définit la qualité de l'onde.

remplacés par l'électronique, plus fiable et plus souple en termes de mise en œuvre.

Moyens matériels : optimiser les performances

Dans la gestion d'un réseau, les moyens matériels jouent un rôle prépondérant et les performances attendues de chaque composant concourent directement au bon fonctionnement de l'ensemble du système électrique. Ils permettent de respecter le plan de tension en fonction des transits de puissance dans le réseau et doivent pouvoir rester stables face aux aléas de faible amplitude.

• Les ouvrages de production : ils affichent des performances spécifiques qui sont exploitées selon leur aptitude à s'adapter aisément aux variations de charge journalières (consommation locale plus échanges). Ainsi, le nucléaire fonctionne davantage en production de « base », tandis que le thermique ou l'hydraulique, de par leur rapidité de couplage et leur capacité à monter rapidement en charge et à s'arrêter pareillement, sont particulièrement utiles en production de « pointe ».

• Les ouvrages de transport : les postes haute et très haute tension sont les carrefours du réseau et participent au maintien de l'équilibre du plan de tension. Ils assurent des fonctions de raccordement et d'interconnexion (jeux de barres de distribution du courant HTB dans les installations industrielles et armoires de distribution électrique), de protection (disjoncteurs), de transformation de tension selon les utilisations en aval (transformateurs) et d'isolement et d'aiguillage d'un ouvrage à l'autre (sectionneurs). ■

DÉRÉGLEMENTATION ET RÉGULATION, LE « BIG-BANG » DE LA LIBÉRALISATION EUROPÉENNE

L'Europe de l'électricité : une vaste zone synchrone (50 Hz) constituée d'une entité politique (l'UE), d'autres pays associés ou non, de cinq réseaux électriques interconnectés...

VRAI OU FAUX

L'ouverture du marché de l'électricité ne s'applique qu'à la gestion des réseaux et à leur accès.

FAUX

Elle s'applique également aux capacités de production. Des opérateurs privés européens ont ainsi manifesté leur intérêt pour participer au développement du nucléaire, en France notamment. D'autres, issus de l'industrie pétrolière, ont démarré des projets de centrales thermiques au gaz qui viendront compléter les capacités existantes. Sans oublier l'éolien dont de nombreux opérateurs sont des sociétés privées.

L'amplification constante des échanges intra-européens se heurtant à l'hétérogénéité des capacités de production, des infrastructures, des organisations nationales, autant qu'à la dispersion géographique et à la disparité des caractéristiques de consommation, la politique de l'UE s'est fixé trois objectifs :

- assurer l'égalité de traitement entre tous les consommateurs (industriels et particuliers),
 - promouvoir une meilleure efficacité économique et de nouveaux services en favorisant la concurrence,
 - favoriser l'émergence d'acteurs de taille européenne pour tirer profit des économies d'échelle ainsi réalisées.
- Le socle du projet a été l'éclatement des structures traditionnelles grâce à la séparation rigoureuse entre les infrastructures et les services, les propriétaires des premières n'étant pas nécessairement les gestionnaires des seconds. Concrètement, l'accès aux réseaux de transport et de distribution s'est ouvert à tous et de nouvelles fonctions liées à l'organisation des marchés physiques et

financiers ont été créées. Ont ainsi émergé toutes sortes d'acteurs qui traduisent l'adaptation permanente du secteur de l'électricité à l'évolution du marché : producteurs indépendants, producteurs d'équilibrage offre-demande, gestionnaires de réseaux, fournisseurs d'électricité au consommateur final, fournisseurs de services (comptage, facturation...), auxquels se sont ajoutés les métiers de négoce, de courtage, etc. Au final, la nouvelle donne du marché a ouvert le plus grand nombre possible d'espaces de concurrence, les mécanismes de marché remplaçant les procédures et fonctions assurées antérieurement par les monopoles nationaux. 2007 sera la date butoir de l'ouverture du marché, avec accès libre des consommateurs particuliers (après les industriels) aux fournisseurs d'électricité de leur choix. Mais le bon fonctionnement de l'ensemble ne vaut que par la régulation qui le supervise. Les autorités publiques, nationales et européennes ont donc fixé les règles et contrôlent les applications d'un jeu dorénavant internationalisé. ■



UN SYSTÈME ÉLECTRIQUE IMPLIQUE UNE ORGANISATION HIÉRARCHISÉE POUR GÉRER LE PLAN DE TENSION. »



Vérification des armoires électriques de 13,2 kV dans un poste électrique de Buenos Aires.



Usages transports : Taiwan, train à grande vitesse.



Usages industriels : chaîne d'assemblage d'une usine automobile chinoise.



Usages domestiques : village finlandais pendant la nuit polaire, qui dure près de deux mois.



Centre de dispatching du système électrique Normandie-Paris.



COMMENT ÉVITER L'EFFONDREMENT DU RÉSEAU ?

Que son origine soit constituée par des fluctuations de consommation, des aléas climatiques, des pannes ou agressions extérieures, voire des erreurs humaines, la dégradation d'un système électrique se matérialise par une série de phénomènes qui se succèdent ou se conjuguent jusqu'à pouvoir provoquer un effondrement complet du réseau. Ce sont les surcharges en cascade, l'écroulement de tension ou de fréquence, les ruptures de synchronisme (voir *Alternatives* n° 10). S'ensuivent des surintensités, des surtensions, une perte de stabilité et finalement la dislocation du système... En situation normale (et *a fortiori* si un incident survient), les opérateurs du dispatching interviennent sur trois registres pour maintenir l'équilibre du réseau.

La maîtrise des transits

Le dispatching veille à ce que la charge de courant dans les ouvrages de liaison (aériens et souterrains, transformateurs...) ne dépasse pas les seuils fixés en termes d'intensité admissible.

La régulation s'effectue, d'une part au travers de la topologie du réseau (le schéma d'exploitation), que le dispatcher modifie pour répartir les charges par rapport aux sources de production; d'autre part en adaptant les programmes de production de ces mêmes sources (réduction ou appel aux moyens de production de « pointe »). En situation d'extrême surcharge, le dispatcher conserve la possibilité de procéder à des délestages de clientèle...

Le réglage de la fréquence

L'interconnexion du système électrique européen impose la stabilité de la fréquence: elle traduit en effet l'équilibre entre la production et la consommation, autrement dit entre les forces motrices des centrales et le couple résistant des charges. Elle doit donc s'adapter en permanence aux fluctuations de la consommation. L'écroulement de la fréquence peut être très rapide (3 Hz/seconde), aussi les marges admissibles en Europe sont-elles étroites ($\pm 0,5$ Hz pour une fréquence nominale de 50 Hz).

En situation normale, l'équilibre est assuré par des réglages automatiques (primaires et secondaires) via des régulateurs de vitesses au niveau des groupes de production qui permettent également de récupérer les déphasages de synchronisme. Des réglages manuels (tertiaires), exécutés par les opérateurs des dispatchings, complètent le dispositif.

Le réglage de la tension

La tension est commune aux différents utilisateurs (clients, distributeurs, producteurs) raccordés à un même nœud électrique. Elle dépend fortement des variations de consommation et des transits de puissance, génératrice de chutes de tension importantes. Son maintien dans les plages contractuelles est donc essentiel pour pouvoir être supportée par les installations de production et de transport, ainsi que pour le bon fonctionnement des installations des utilisateurs. À l'instar de la fréquence, le réglage de la tension se fait de manière automatique ou manuelle, en l'occurrence sur les alternateurs, qui sont les seules sources offrant des points à tension régulée constante. Des régulateurs en charge automatiques, au niveau des transformateurs, permettent en outre de rattraper les chutes de tension.

Par ailleurs, d'autres dispositifs complètent ces modes de protection. Ce sont principalement des procédures de défense en profondeur constituées de lignes de défense successives associant des plans de prévention/préparation (systèmes de régulation de tension et de vitesse opérationnels), des moyens de surveillance et d'action, enfin des parades ultimes pour démembrer tout ou partie d'un réseau de manière automatique et contrer les répercussions en cascade. ■

Le cas de l'éolien : gérer les sautes de vent

L'électricité d'origine éolienne connaît actuellement une forte croissance en Europe où elle devrait passer de 28,5 GWe en 2003, à 180 GWe en 2020, soit une augmentation de la puissance installée de plus de 530 % ! Pour des raisons évidentes d'optimisation de l'exposition aux vents, la majorité des équipements sera installée à proximité des côtes. Ainsi, l'Allemagne a prévu de construire près de 850 km de lignes THT

(380 kV) supplémentaires, d'ici dix ans, pour acheminer cette électricité. L'éolien est une source d'énergie variable par nature, toute la problématique pour les gestionnaires de réseaux est de gérer l'intermittence de l'énergie produite. Que se passe-t-il si des vents forts font tourner les éoliennes pendant une longue durée ? Récemment, en décembre 2004, le doublement brutal des flux provenant de l'éolien de l'Allemagne vers les

Pays-Bas a failli provoquer un black-out (voir *Alternatives* n° 10) chez les Néerlandais, du fait de la saturation du réseau... C'est pourquoi l'énergie éolienne nécessite une approche concertée au niveau européen pour tenir compte des contraintes de cette forme de production en vue de développer et d'intégrer les modèles de production régulables (thermique, nucléaire, grand hydraulique).

AVIS D'EXPERT

Un cadre de régulation structuré et cohérent pour L'EUROPE DE L'ÉLECTRICITÉ

L'Europe de l'électricité se renforce et s'élargit. La fiabilité du système exige des efforts accrus et permanents d'harmonisation des procédures de contrôle et de concertation entre gestionnaires de réseaux.

Alternatives: Quels sont les nouveaux risques et les défis qu'affronte le premier réseau électrique mondial transnational ?

P. BORNARD: Les récents black-out* ont démontré qu'aucun système électrique n'est complètement protégé contre les risques liés à des événements climatiques ou techniques d'ampleur exceptionnelle. L'Europe a eu la tentation, jusqu'à une époque récente, de négliger les aspects techniques au profit de l'ouverture des marchés. Cela est risqué ! Nous saluons donc la récente directive européenne visant à garantir la sécurité de l'approvisionnement en électricité et les investissements dans les infrastructures. Elle vise également à renforcer la coopération des gestionnaires de réseaux, pour le développement des interconnexions et l'accompagnement du bon fonctionnement du marché. Sécurité du système et marchés efficaces vont nécessairement de pair.

Alternatives: Pourtant, l'Europe de l'électricité devrait encore s'élargir...

P. B.: Au sud, l'« anneau électrique méditerranéen », qui se met progres-



↳ **Pierre BORNARD****
Président du comité exécutif d'ETSO.

sivement en place du Maroc jusqu'à la Turquie, imposera de redoutables contraintes techniques. À l'est, la volonté de la Russie de se raccorder au synchronisme européen traduit son ambition de développer des exportations significatives d'électricité. Les tensions récentes autour du gaz russe vers l'Ukraine et l'UE montrent que d'autres contraintes, de nature politique, sociale et environnementale, doivent être prises en compte dans les relations avec ce pays.

Alternatives: Cette diversité et cet élargissement ne rendent-ils pas le système électrique européen plus vulnérable que son homologue américain ?

P. B.: À la différence des Américains, les gestionnaires de réseaux européens sont également propriétaires des infrastructures et ont pour mission fondamentale de les

développer et de les entretenir. La plupart d'entre eux sont en outre totalement indépendants vis-à-vis des activités de production, de fourniture et de commercialisation, ce qui facilite les échanges d'informations et la coordination entre eux. De plus, l'Europe a un réseau plus dense et a moins recours au transport massif de courant sur de longues distances, ce qui favorise un meilleur équilibre régional entre production et consommation. De ce point de vue, nos grandes infrastructures nationales seraient « presque » adéquates, et c'est sur les liens entre pays que les efforts prioritaires doivent porter. Dans ce contexte, nous focalisons nos efforts sur deux exigences majeures et complémentaires de ce nouvel environnement: la sécurité d'approvisionnement et la fluidité des marchés. Mais ce n'est pas seulement l'affaire des gestionnaires de réseaux de transport. Tous les acteurs du marché européen doivent jouer un rôle dans la maîtrise de la sûreté d'un système électrique européen. Et les régulateurs sectoriels de l'énergie, aujourd'hui en place dans tous les pays de l'UE, doivent apprendre à mieux coordonner leurs efforts. ■

* Le black-out du réseau « Eastern Interconnect » (Nord-Est des États-Unis et une partie du Canada), en août 2003, a affecté 50 millions de personnes. Le 28 septembre de la même année, la péninsule italienne a subi un black-out complet durant plusieurs heures, suite à une rupture d'approvisionnement en provenance de Suisse.

** Membre du Directoire de RTE, Directeur Général Adjoint, Président de Powernext.

ZOOM

ETSO (European Transmission System Operators), le réseau des réseaux

L'émergence du marché européen de l'électricité a conduit les gestionnaires des grands réseaux du continent à se regrouper, en 1999, au sein d'une association destinée à harmoniser les conditions d'accès et d'utilisation de l'électricité, notamment dans le cadre des échanges frontaliers. ETSO représente aujourd'hui plus de 490 millions d'utilisateurs consommant près de 3 200 TWh par an. Mises bout à bout, les lignes HT (400 et 220 kV) totalisent plus de 290 000 km.