



✓ Un « champ » de lignes à haute tension  
Les pertes dues à la dissipation par effet Joule sur ce genre de lignes atteignent 2,5 % de la consommation.

# ÉLECTRICITÉ : la chasse aux pertes en lignes est ouverte

Face au réchauffement climatique, les producteurs d'électricité multiplient les innovations techniques afin d'optimiser l'efficacité énergétique et de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Toutefois, l'amélioration passe aussi par les réseaux, dont la fragilité des interconnexions et les pertes en lignes génèrent encore une surconsommation de combustibles et l'émission de CO<sub>2</sub> supplémentaire. Explications.

Si le secteur de l'électricité représente à lui seul un peu moins de la moitié des émissions de CO<sub>2</sub> (41 %), c'est essentiellement à cause de la part majoritaire des combustibles fossiles dans la production, le charbon en premier lieu. Et ce pourcentage devrait augmenter jusqu'à 44 % d'ici à 2030, dans un contexte où l'on prévoit un doublement<sup>1</sup> de la demande d'électricité sur la période.

Aussi, au-delà des progrès enregistrés au niveau de la production en matière de réduction du CO<sub>2</sub>, les ingénieurs complètent-ils l'effort entrepris en intervenant activement en aval de la chaîne de l'énergie – sur les interconnexions (voir « Mot à mot ») entre réseaux de transmission et au sein des réseaux eux-mêmes –, où une meilleure gestion des flux ainsi que la réduction des pertes en lignes constituent d'importants « gisements » d'amélioration. Les gains obtenus diminueront en effet la production en amont d'autant de mégawattheures qui, autrement, se dissiperaient en chaleur inutile dans les conduc-

teurs, les transformateurs et l'appareillage électrique.

## Objectif: éliminer les goulets d'étranglement

Pour aller d'un point à un autre, l'électricité choisit inmanquablement les voies de moindre résistance. L'éparpillement des flux qui en résulte génère des pertes d'exploitation proportionnelles aux distances parcourues, synonymes d'un surplus d'énergie primaire

qu'il faut brûler dans les centrales. Or, dans une centrale thermique (au fioul, au gaz ou au charbon), ce surplus est lui-même générateur d'émissions de CO<sub>2</sub>... Dans ce contexte, le

renforcement des infrastructures d'interconnexion et de transmission est primordial. D'une part pour optimiser le cheminement des flux (moins de pertes, donc économies de production et moins d'émissions de CO<sub>2</sub>), d'autre part pour éliminer ces fameux « goulets d'étranglement » capables d'amplifier – jusqu'au black-out total – des perturbations mineures à l'origine et de provoquer d'immenses gâchis financiers et énergétiques! ▶▶

“L'accumulation d'incidents mineurs peut conduire au black-out.”



## Les réseaux sont exploités aux limites de leurs capacités

Du black-out italien de 2003 à la panne plus récente en novembre 2006 (dans le Nord de l'Allemagne), qui a affecté près de 10 % des livraisons dans la zone ouest de l'Europe, la fragilité des réseaux européens, au sein de l'UCTE<sup>2</sup>, et les limites de leur efficacité énergétique ne sont plus à démontrer. Fragilité et faible efficacité énergétique vont en effet de pair, toute perturbation majeure sur les réseaux entraînant un surcroît de consommation de combustibles primaires, synonyme de coûts additionnels et d'émissions supplémentaires de gaz à effet de serre. La Commission de l'UE a présenté à cet égard au Conseil et au Parlement européens un Plan d'interconnexion prioritaire, en janvier 2007, indiquant que dans l'état actuel des investissements concernant les infrastructures, l'UE ne serait pas en mesure de mettre en place un vrai marché unique de l'électricité qui contribuerait à respecter ses objectifs en matière de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. Par exemple, l'UE ne pourrait pas intégrer la production supplémentaire nécessaire d'électricité provenant de sources renouvelables (car trop vulnérable aux fluctuations de leur production). Elle continuerait à subir des prix élevés en raison de

la saturation et du maintien de capacités non rentables dans chacune des zones énergétiques insuffisamment interconnectées. Avec des réseaux exploités chaque année au plus près des limites de leurs capacités physiques, persisterait le risque d'interruptions temporaires d'approvisionnement. En cause, également, un manque d'harmonie dans les procédures de communication et une gestion concertée du dispositif européen encore incomplète, susceptibles d'amplifier toute perturbation majeure (voir « Zoom » ci-dessous).

## Les outils d'aide à la décision pour les opérateurs doivent se multiplier

Dans ce contexte, les décisions les plus urgentes sont évidemment politiques, dès lors qu'elles concernent le financement destiné au renforcement des réseaux. Mais, en attendant, les programmes de R&D dégagent des pistes d'amélioration prometteuses. En premier lieu, les technologies de l'information fournissent aujourd'hui des outils d'aide à la conduite des réseaux en temps réel. Ces outils apportent un support immédiatement exploitable à la prise de décision, en fonctionnement normal comme en mode dégradé, de façon à maintenir la stabilité



et l'équilibre des échanges. C'est le cas des WAMS (*Wide Area Management Systems*), qui améliorent la coordination entre opérateurs en étendant les capacités de visualisation graphique et de compréhension aux réseaux voisins, au moyen d'équipements informatiques de pointe. Associés à des méthodes prédictives issues du monde de l'économie et aux outils de *trading* de l'énergie (qui permettent d'adapter l'offre à la demande et de suivre en temps réel les fluctuations du coût du kWh), ces outils permettront aux opérateurs de coordonner leurs réactions en cas de scénario d'urgence et, de manière plus générale, d'optimiser l'efficacité globale des réseaux.

## La très haute tension générera des économies substantielles

Avec le développement de l'électronique de puissance et des semi-conducteurs comme les thyristors, il est désormais possible, et souvent souhaitable, d'exploiter le potentiel de la très haute tension (THT) en courant continu, partout où cela est avantageux.

## ZOOM

### Le coût de la panne...

À l'aube du 28 septembre 2003, suite à la formation d'un arc électrique entre un câble porteur et un arbre en Suisse, une mauvaise communication entre les opérateurs suisse et italien a plongé l'Italie dans le noir pendant plusieurs heures. Coût de la panne: près de 13 000 mégawatts perdus, soit l'équivalent de la production de 10 réacteurs nucléaires!



À l'opposé, la THT en courant continu permet de transporter de très grandes puissances, jusqu'à 800 kV, avec de très faibles pertes et sur de très grandes distances (plusieurs milliers de kilomètres comme au Brésil, en Inde, ou en Chine). Sur des distances plus courtes, comme en Europe, la tension THT apporterait une garantie de stabilité de tension et d'équilibre des échanges entre réseaux nationaux, en remplaçant notamment les goulets d'étranglement aux frontières par de véritables « autoroutes de puissance ». Matériellement, la solution la plus avantageuse consisterait à remplacer les portions de réseaux « fragiles », ou affichant un bilan d'exploitation insatisfaisant, par de nouvelles infrastructures en THT « continu » capables de tripler les puissances transportées tout en réduisant fortement les pertes en lignes et en garantissant la stabilité du courant. À emprise au sol identique, et pour les seules zones transfrontalières de l'UCTE, les bénéfices escomptés de l'amélioration des flux de puissance seraient une réduction de consommation de combustibles fossiles de 10 % (soit environ 16 milliards d'euros par an), ainsi qu'une économie d'émission de 100 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an! Enfin, il n'est pas exclu que de nouvelles technologies, comme la supraconductivité (voir encadré ci-dessous), apportent des améliorations importantes, mais pour des applications limitées. Pour l'heure, il est clair que la THT représente une solution mature pour relever les deux défis majeurs que constituent le maintien de la stabilité des interconnexions au sein de l'UE et la

## mot à mot

### INTERCONNEXION:

Liaison entre deux réseaux électriques nationaux ou, dans certains cas, régionaux, généralement synchrones (50 ou 60 Hz). Une liaison entre deux réseaux asynchrones nécessite une interconnexion en courant continu, plus complexe et onéreuse à mettre en œuvre.

### TRANSMISSION:

Se réfère au transport d'électricité sur des grandes distances et sur des réseaux interconnectés en très haute tension à partir des centrales (nucléaires, thermiques, hydrauliques...).

réduction des gaz à effet de serre dans le secteur électrique. En revanche, la décision d'investir dans ce type d'infrastructures constitue un troisième défi. Mais c'est aux pouvoirs publics qu'il appartient de le relever... ■

1. World Energy Outlook, OCDE-AIE, 2006.
2. L'UCTE (*Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity*) a été créée en 1951 pour favoriser l'interconnexion des réseaux d'Europe de l'Ouest. Elle a été le premier jalon de l'intégration économique européenne, avant même la CECA (*Communauté européenne du charbon et de l'acier*).
3. La puissance réactive, nécessaire pour les consommateurs inductifs (moteurs, transformateurs, lampes fluorescentes, lampes économiques, etc.), entraîne une charge plus élevée du réseau électrique et nécessite des stations de compensation.
4. Source: RTE 2007.
5. Source: RTE/Résultats techniques du secteur électrique en France, 2006.

## Pertes en lignes: des kilowatts inutiles, chers... et qui polluent!

En France, les pertes dues à la dissipation par effet Joule sur les lignes haute (> 50 kV) et très haute tension (225-400 kV) s'établissent en moyenne, en 2006, à 2,5 % de la consommation, soit environ 11,5 térawatt-heure par an<sup>4</sup>. Un chiffre qui monte à 32 TWh si l'on y ajoute les réseaux moyenne et basse tension<sup>5</sup>, soit 5,8 % du total. Au tarif moyen annuel de 49 €/MWh (production de base) sur le marché international Powernext Spot, ce sont ainsi plus d'1,5 milliard d'euros qui se sont dissipés en chaleur inutile et 2,88 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> (tous modes de production confondus) dont on aurait pu faire l'économie (bien que le kWh français soit le deuxième moins polluant d'Europe, derrière la Suède)!



✓ Dambron-Villejust (Eure-et-Loir)  
Réparation du câble de garde de ligne de 400 000 volts.

## Première application industrielle de la supraconductivité

Longtemps confinée dans les laboratoires, la supraconductivité vient de trouver une première application industrielle spectaculaire avec l'inauguration, à New York, d'un câble enterré de 600 m de long, qui fonctionne à 138 kV en triphasé, sans aucun échauffement ni perte! Une prouesse rendue possible par la combinaison de rubans supraconducteurs à « haute température » [- 200 °C, à comparer au « zéro absolu » de - 273 °C], à base de

bismuth, et d'un refroidissement à l'azote liquide dans une gaine étanche. Ce câble est ainsi capable de transporter trois fois la densité de courant de son homologue en cuivre. Mais les coûts d'une telle infrastructure la réservent à un environnement urbain très dense et très gros consommateur d'électricité [New York détient l'une des plus fortes densités de climatiseurs au monde] et où les prix du terrain sont les plus élevés.