

# La place du numérique dans les feuilles de route de prospective énergétique de l'Agence Internationale de l'Énergie

Par Kamel BEN-NACEUR

Agence Internationale de l'Énergie (Paris)

Les feuilles de route de prospective énergétique ont été développées par l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) en collaboration avec les secteurs publics et privés producteurs et consommateurs d'énergie. Ces feuilles de route, qui couvrent les quatre prochaines décennies, permettent de définir, dans chaque secteur énergétique, les éléments clés pour assurer un avenir compatible avec les objectifs de l'Accord de Paris sur le climat. Dans ces feuilles de route, l'accent est plus particulièrement mis sur le rôle du numérique, notamment en relation avec les réseaux intelligents (*smart grids*). Les piliers de la transition vers un système énergétique plus numérique et plus intelligent y sont établis, ainsi que les conditions nécessaires à la réussite de la transformation du secteur considéré. Y sont également discutés les risques inhérents à cette transition.

## Introduction

La révolution numérique a commencé dans le secteur énergétique, il y a de cela plus de quatre décennies, tout d'abord dans le secteur de la production et de la distribution de l'énergie, pour ensuite impacter progressivement l'utilisateur final (consommateurs individuels, collectivités et industries/services). Ainsi, par exemple, l'initiative « *digital oil fields* », dans le secteur des hydrocarbures, a vu le jour au début des années 1980, avec des développements technologiques, tels que la sismique tridimensionnelle et les forages horizontaux (*Offshore Technology*, 2015). Depuis, la numérisation dans le secteur amont des hydrocarbures a permis d'améliorer plusieurs indicateurs clés dans le secteur, tels que le taux de découvertes de nouveaux gisements, la sécurité opérationnelle et les taux de récupération. Dans le secteur de l'électricité, l'intégration d'une proportion croissante d'énergies renouvelables est requise, avec deux caractéristiques nouvelles : la variabilité de la production et une grande diversité du parc de génération, rendant nécessaire une numérisation accrue. Enfin, du côté des consommateurs, la diffusion des compteurs intelligents ouvre la voie à une véritable révolution dans la relation client-fournisseur.

Avec les objectifs ambitieux de l'Accord de Paris conclu en 2015 et la nécessité d'accélérer la transition énergétique, la question se pose du rôle que peut jouer le

numérique dans les secteurs tant de l'approvisionnement énergétique que de la demande d'énergie, notamment s'il est possible d'esquisser des feuilles de route permettant de décarboner le secteur énergétique ?

## Les scénarios énergétiques de l'AIE

Depuis le début des années 1990, l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) a développé des projections à moyen et à long termes en utilisant des modèles intégrant la consommation et la production mondiales d'énergie. Deux types de modèle sont utilisés :

- les perspectives mondiales de l'énergie (*World Energy Outlook*) (IEA, 2016a),
- et les perspectives technologiques de l'énergie (*Energy Technology Perspectives*) (IEA, 2016b).

Dans les deux cas, un scénario qui permette de limiter l'augmentation de la température à moins de 2 °C est simulé, puis comparé à des scénarios plus conventionnels correspondant soit aux politiques actuelles, soit aux politiques anticipées sur la base des contributions nationales résultant de l'Accord de Paris sur le climat.

La Figure 1 de la page suivante représente une comparaison des trajectoires des émissions du scénario 2DS avec celles du scénario des politiques actuelles (6DS). Les principales composantes de la décarbonation des

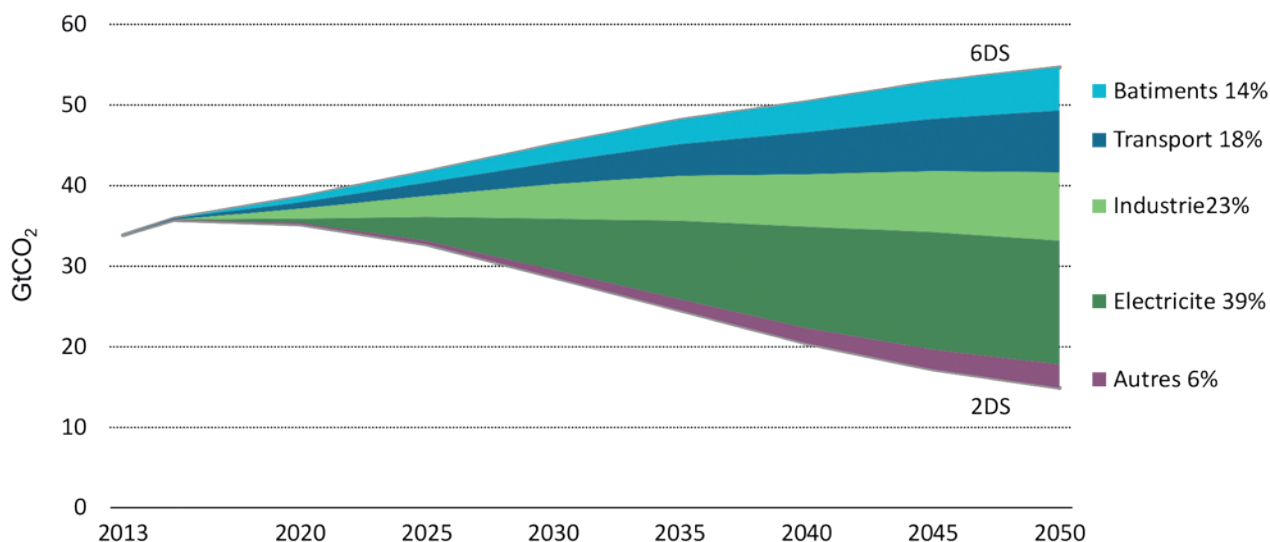


Figure 1 : Comparaison des trajectoires d'émissions entre le modèle correspondant à une hausse des températures limitée à 2 °C et les politiques actuelles (IEA, 2016b).

secteurs consommateurs d'énergie sont, par ordre décroissant : l'électricité (une réduction potentielle de 39 % des émissions totales de CO<sub>2</sub>), suivie de l'industrie, des transports et du bâtiment. La réalisation du scénario permettant de limiter le réchauffement au maximum à 2°C nécessite une mobilisation sans précédent de ressources technologiques et financières.

Plus récemment, l'AIE a développé un scénario correspondant à une limitation du réchauffement « à bien moins de 2 °C » (IEA, 2017a), avec un effort requis encore plus important, comparé au scénario correspondant à une limitation de l'augmentation de la température à 2 °C (une analyse plus détaillée des politiques énergétiques et des technologies requises sera disponible dans la publication *Energy Technology Perspectives 2017* (2017b)).

### Les feuilles de route technologiques de l'AIE

Pour faire face aux défis liés à la sécurité de l'approvisionnement énergétique, à la croissance économique et à la limitation du changement climatique, il y a une nécessité urgente d'accélérer le développement des technologies énergétiques à bas carbone. En 2008, les ministres des pays du G8, réunis au Japon, ont demandé à l'AIE de développer des feuilles de route technologiques (*Technology Roadmaps*) qui permettent une progression plus rapide des innovations précitées.

En réponse à cette requête du G8, l'Agence a développé, avec le soutien de ses pays membres, une série de feuilles de route incluant les principales technologies énergétiques. Ce processus de développement bénéficie de la participation active des secteurs publics (autorités nationales, secteurs éducatifs et recherche) et privés (entreprises, associations). Les 39 réseaux technologiques de l'AIE (*IEA Technology Collaboration Programs*) ont aussi joué un rôle clé dans la collecte des informations et la dissémination des bonnes pratiques. Ces feuilles de route

ont pour ambition de réduire les émissions à un niveau qui soit compatible avec un réchauffement climatique inférieur à 2 °C. Chacune de ces feuilles de route représente un consensus international sur des étapes clés pour le développement des technologies, sur les besoins de régulation, sur les efforts requis de communication en direction du grand public et de collaboration internationale. Les feuilles de route suivantes ont été mises au point, elles sont disponibles sur le site de l'AIE ([www.iea.org](http://www.iea.org)) :

- la bioénergie pour la génération de chaleur et d'électricité,
- les biocarburants pour le transport,
- la capture et le stockage de CO<sub>2</sub>,
- la production de ciment,
- les industries chimiques et les processus catalytiques,
- les véhicules électriques et hybrides rechargeables,
- l'efficacité dans le chauffage et le refroidissement urbains,
- l'efficacité énergétique dans le bâtiment,
- le stockage d'énergie,
- l'efficacité énergétique dans le transport routier,
- la chaleur et l'électricité géothermiques,
- la génération d'électricité à haute efficacité et à basses émissions,
- l'hydrogène et les piles à combustible,
- l'énergie nucléaire,
- l'électricité hydraulique,
- le photovoltaïque,
- l'électricité solaire thermique,
- les systèmes énergétiques intelligents,
- l'éolien.

En collaboration avec les pays concernés, l'AIE a aussi développé des feuilles de route nationales, comme celles relatives au développement de l'éolien en Chine, ou à la production de ciment avec émissions réduites de CO<sub>2</sub> en Inde.

## Le numérique dans la feuille de route des systèmes énergétiques intelligents

Dans plusieurs des feuilles de route citées ci-dessus, le numérique joue un rôle essentiel. Nous avons choisi, ici, d'en illustrer l'importance à travers l'exemple de la feuille de route dédiée aux systèmes énergétiques intelligents.

Avec plus de 50 millions de kilomètres déployés dans le monde (assez pour couvrir la distance entre la Terre et Mars), les réseaux électriques constituent l'une des infrastructures existantes les plus complexes. Cependant, ces réseaux ont été gérés traditionnellement de manière unidirectionnelle, à savoir du côté de l'électricité générée dans les grandes installations de production pour l'alimentation des consommateurs, avec une très faible participation des consommateurs (côté de la demande) à cette gestion.

Alors que les réseaux ont évolué pour devenir plus intelligents au cours des trois dernières décennies, cette tendance s'est récemment fortement accélérée. Les flux de données engendrés par les systèmes électriques doublent tous les deux ans. Dans le même temps, le coût des dispositifs de télédétection et de l'informatique diminuait en moyenne de moitié tous les 30 mois, au cours des 20 dernières années. L'application du même taux d'apprentissage à l'efficacité d'un véhicule léger de 1996 aurait abouti à une autonomie de 200 000 milles (plus de 320 000 kilomètres) en 2016 ! Les TIC et le monde de l'énergie évoluent à des vitesses très différentes. Or, ils doivent de plus en plus interagir.

Un système énergétique plus intelligent, car plus numérisé, émerge des tendances actuelles. Mais la maximisation de son potentiel, l'accélération de la transition et l'atténuation des risques inhérents à la transition nécessitent une sensibilisation et une action accrues des divers secteurs et parties prenantes concernés. Des systèmes énergétiques plus intelligents nécessiteront le déploiement de

nouvelles infrastructures pour les secteurs d'utilisation finale (les réseaux électriques, de gaz ou de chauffage urbain), ainsi que dans la génération d'électricité et dans divers types de dispositifs tels que les capteurs électroniques et les systèmes informatiques. Parallèlement, cela nécessitera leur interconnexion *via* des réseaux de communication à grande vitesse à l'aide de protocoles standardisés mêlant les mondes des TIC et de l'énergie.

La feuille de route des systèmes énergétiques intelligents de l'AIE vise à évaluer de manière globale l'impact des technologies intelligentes et des TIC sur le système électrique à l'horizon 2050, ainsi que les options s'offrant aux décideurs pour gérer la transition énergétique en évaluant les défis, les obstacles et les étapes requises pour opérer le déploiement de ces nouvelles fonctionnalités en temps opportun.

Fondamentalement, la transition vers un système d'énergie plus numérique et plus intelligent repose sur trois piliers :

- **Les données provenant des capteurs et des compteurs.** Les capteurs disséminés tout au long du système énergétique (cela va des compteurs intelligents installés dans les maisons jusqu'aux capteurs des centrales électriques ou des grands équipements industriels) génèrent d'énormes volumes de données ;
- **Le contrôle d'une plus grande partie du système énergétique.** La communication bidirectionnelle permet de contrôler à distance de grandes quantités d'équipements relevant du secteur de l'énergie ;
- **L'analyse des données et le « Big Data »** permettent de développer notre capacité d'apprentissage à partir des données brutes et d'application, notre intelligence pour concevoir, contrôler et exploiter plus efficacement les systèmes énergétiques.

À chaque fois que ces trois piliers sont combinés dans un secteur ou une application, l'adoption de réglementations appropriées permet l'émergence de nouveaux modèles de *business* et de solutions qui, fondamentalement, a) aug-

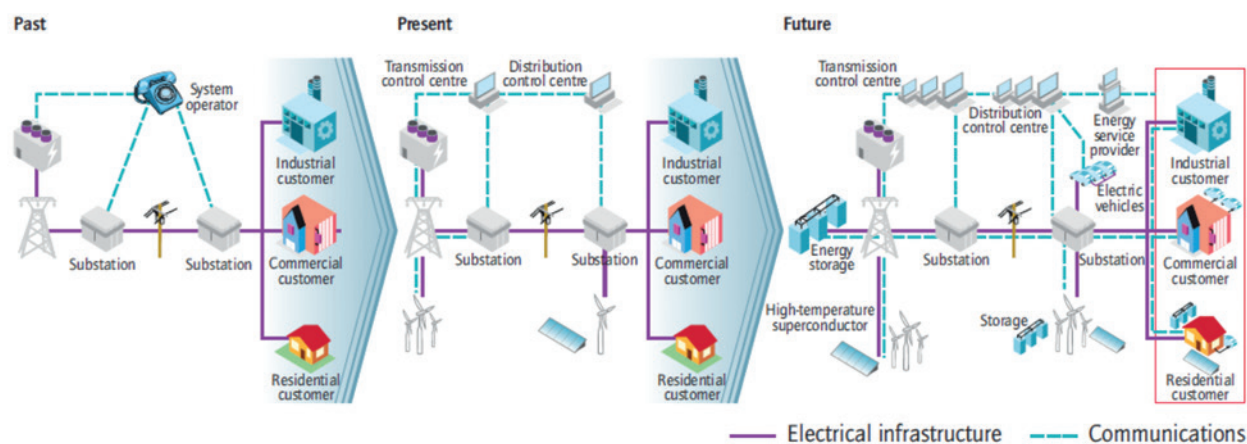


Figure 2 : L'évolution de l'infrastructure électrique et le rôle du numérique (IEA, 2011).

mentent l'utilisation des actifs courants, b) diminuent les coûts et augmentent l'efficacité et c) ouvrent la possibilité d'intégrer de nouvelles sources d'énergie, comme l'électricité stockée dans les batteries des véhicules électriques, la génération distribuée, le chauffage et le refroidissement intelligents ou des appareils électroménagers sobres. La feuille de route de l'AIE *Smart Energy Systems* (systèmes énergétiques intelligents) identifie les domaines clés qui possèdent un potentiel important de numérisation tout au long de l'horizon temporel des scénarios de l'AIE. La Figure 2 de la page précédente montre l'évolution de l'infrastructure électrique, depuis les systèmes monodirectionnels et concentrés du passé jusqu'aux systèmes multidirectionnels, distribués et intelligents actuels.

Dans les réseaux de distribution, à l'échelle locale, une plus grande intelligence des systèmes énergétiques permise par les TIC permet d'optimiser leur surveillance et leur contrôle. En particulier, les données et leur analyse permettent un suivi en temps réel des opérations de distribution, et cette intelligence ouvre des possibilités de prévision des pannes et de la maintenance réalisée à distance. En outre, ces réseaux plus intelligents permettent un plus grand contrôle sur les centrales électriques et sur d'autres actifs, ainsi que sur les flux d'électricité. Ils peuvent permettre d'anticiper des modèles plus performants, ainsi que les variations de la demande et les vulnérabilités du réseau, et réagir ainsi quasi automatiquement aux pannes.

Dans les réseaux de transmission, à des échelles plus élevées, de nouvelles technologies à très haute tension permettent la connexion de nouvelles ressources énergétiques distribuées et une plus grande interconnexion entre les réseaux. Des capteurs de meilleure qualité améliorent également l'information sur l'état du réseau, ce qui permet de renforcer les systèmes énergétiques intelligents afin d'améliorer la capacité physique du réseau. Enfin, la digitalisation des réseaux d'énergie réduit la nécessité de construire de nouvelles lignes électriques ou d'investir dans des actifs matériels physiques.

Au niveau de l'utilisateur final, les plus grandes opportunités de numérisation concernent des applications portant sur le « bord du réseau ». Les systèmes énergétiques intelligents peuvent faciliter la participation des consommateurs à la gestion des systèmes énergétiques grâce à l'apport d'une réponse adaptée à la demande, aux appareils intelligents, à la recharge des véhicules électriques... tout en permettant aux consommateurs d'accueillir de plus grandes quantités de génération distribuée autoproduite et de stockage. La flexibilité de la demande peut augmenter considérablement la capacité globale du système à héberger de l'électricité intermittente produite par des sources d'énergie renouvelables et par d'autres sources d'énergie propre. Elle permet aussi de déployer un plus grand nombre de véhicules électriques et l'électrification du chauffage, du refroidissement et de l'industrie, et de réduire généralement les coûts.

Néanmoins, la transition vers les systèmes énergétiques numériques comporte aussi des risques qui devront être

gérés. Tout d'abord, la confidentialité et la sécurité des données apparaissent comme une préoccupation majeure. La confidentialité et la sécurité des données des consommateurs soulèvent de nombreuses questions : quelles données seront essentielles et prioritaires, et pour quelles parties prenantes ou quels secteurs ? Qui pourrait posséder les données acquises à partir de compteurs, de capteurs, etc., et qui devrait y avoir accès ? Quelle est la meilleure façon de répondre à ces préoccupations en mettant en balance les avantages provenant de nouveaux modèles commerciaux et des solutions qui nécessitent que ces nouvelles sources de données soient développées ?

Ensuite, le paradigme des systèmes énergétiques intelligents nécessite le support d'un système de TIC complexe, ce qui peut accroître les vulnérabilités et le potentiel d'attaques informatiques. Des stratégies de cybersécurité de « bout en bout » du système énergétique doivent être développées, ce qui suppose de la part des acteurs concernés une prise de conscience considérablement accrue de l'importance de la cybersécurité.

La feuille de route de l'AIE *Smart Energy Systems* identifie aussi certains risques clés liés à 1) la gestion de solutions et de processus qui devront traiter d'importants volumes d'informations, 2) l'hétérogénéité des composants, des protocoles et des systèmes mis en place dans les systèmes énergétiques actuels, qui n'ont pas été construits en tenant compte de l'interopérabilité, mais qui doivent fonctionner de manière systématique et 3) des vitesses de changement différentes entre les TIC et les technologies du système énergétique, l'évolution beaucoup plus rapide des premières faisant peser un risque de déphasage. Enfin, 4) s'impose la nécessité d'une coordination transfrontalière beaucoup plus importante que celle qui existe aujourd'hui dans le secteur de l'énergie.

## Bibliographie

IEA (2017), *Perspectives for the Energy Transition*, [https://www.energiawende2017.com/wp-content/uploads/2017/03/Perspectives-for-the-Energy-Transition\\_WEB.pdf](https://www.energiawende2017.com/wp-content/uploads/2017/03/Perspectives-for-the-Energy-Transition_WEB.pdf)

IEA (2017b), *Energy Technology Perspectives 2017*, OECD/IEA, Paris.

IEA (2016a), *World Energy Outlook 2016*, OECD/IEA, Paris.

IEA (2016b), *Energy Technology Perspectives 2016*, OECD/IEA, Paris.

IEA (2011), *Technology Roadmaps – Smart Grids*, OECD/IEA, Paris.

OFFSHORE TECHNOLOGY (2015), "A history of the digital oil field": <http://www.offshore-technology.com/features/featurea-history-of-the-digital-oil-field-4436910/>