



POUR UNE SOBRIÉTÉ NUMÉRIQUE APPLIQUÉE AUX SMART GRIDS



L'ASSOCIATION THINK SMARTGRIDS

L'association Think Smartgrids fédère un écosystème d'acteurs qui contribuent à la décarbonation des réseaux : les opérateurs de réseau RTE et Enedis, les principaux industriels et équipementiers français du secteur de l'énergie, de grandes entreprises de services numériques, de nombreuses PME, ETI et startups françaises à la pointe des technologies de l'énergie et du numérique, sans oublier le monde universitaire et de la recherche.

MEMBRES ASSOCIÉS



MEMBRES OBSERVATEURS



MEMBRES PARTENAIRES



Écoles, centres de recherches et laboratoires



RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Si les technologies *smart grids* sont indispensables à la transition énergétique et à la décarbonation de notre mix énergétique, la digitalisation croissante du système électrique invite à se questionner sur les impacts environnementaux générés par cette explosion de capteurs et de données qu'il faut ensuite transporter, stocker et traiter. Alors que les émissions de CO₂ du secteur numérique augmentent de 8 à 9% par an, soit un doublement tous les dix ans, et que ces technologies emploient de nombreux métaux et minéraux critiques, de nombreux acteurs des *smart grids* revoient leurs pratiques et mettent en place des stratégies pour réduire l'empreinte carbone et environnementale de leurs projets data.

En parallèle, la réglementation se renforce pour lutter contre « l'obsolescence logicielle », imposer de nouvelles obligations en termes d'analyse du cycle de vie des matériels et d'éco-conception numérique, réduire l'impact environnemental des centres de données, ou encore encourager la mutualisation des données et leur interopérabilité.

Une dizaine d'acteurs des *smart grids* ont ainsi été interrogés sur leur vision, leurs pratiques et leurs recommandations pour appliquer des principes de « sobriété numérique » aux cas d'usage *smart grids*. Il s'agit notamment d'agir sur le stockage des données (et le matériel nécessaire à ce stockage), l'optimisation des flux de données, ainsi que la mutualisation des données et des infrastructures.

Sept axes clés sont ressortis de ces entretiens et sont illustrés dans ce livre blanc par de nombreuses initiatives concrètes :

- **RÉDUIRE L'EMPREINTE DU MATÉRIEL** pour la collecte, le stockage et le traitement de données, ainsi que celle des terminaux numériques. Il s'agit aussi bien d'écoconcevoir les matériels que de mener une réflexion sur un dimensionnement « au plus juste », voire sur la nécessité de déployer de nouveaux équipements.
- **REVOIR L'ARCHITECTURE TECHNIQUE** des infrastructures de collecte et traitement des données afin d'optimiser le volume de données stockées, transportées et traitées tout en répondant au niveau de service attendu.
- **FAVORISER L'OPEN DATA ET LES PLATEFORMES MUTUALISÉES DE STOCKAGE ET DE TRAITEMENT DES DONNÉES** pour éviter les redondances et utiliser les mêmes données pour différents cas d'usage.
- **AGIR POUR LA FRUGALITÉ LOGICIELLE** avec une conception au plus proche des usages et des besoins. Cette frugalité logicielle permet, en plus des économies d'énergie et sur le matériel, d'obtenir des traitements bien plus rapides.
- **PRIVILÉGIER LES CAS D'USAGE AVEC UN BÉNÉFICE ENVIRONNEMENTAL DÉMONSTRABLE** et en cherchant à éviter de répliquer des projets déjà existants.
- **DÉVELOPPER UNE RÉELLE GOUVERNANCE DE LA SOBRIÉTÉ NUMÉRIQUE** pour inciter l'ensemble des acteurs à se saisir du problème.
- **RENFORCER LA NORMALISATION ET L'INTEROPÉRABILITÉ DES DONNÉES**, prérequis essentiel pour faciliter la mutualisation et le partage des données et de leurs traitements. Cette standardisation optimise par ailleurs le stockage et le traitement des données, et permet de lutter contre l'obsolescence technologique tout en renforçant la cybersécurité.

Le livre blanc se conclut sur les freins à lever, notamment concernant la quantification du volume des données issues des cas d'usage *smart grids*, et sur les enjeux de la sobriété numérique pour garantir la performance des modèles d'affaires des acteurs des *smart grids*.

SOMMAIRE

- p.5** **Pourquoi une étude sur la sobriété numérique appliquée aux *smart grids* ?**
- p.5** Émergence d'une réflexion autour de la sobriété numérique
- p.6** Objectifs de l'étude
- p.6** Modalités de l'étude

- p.7** **Règlementation : de la digitalisation du secteur de l'énergie à l'exigence d'un secteur numérique neutre en carbone**
- p.7** La réglementation a fortement encouragé la collecte des données énergétiques
- p.7** Le cadre réglementaire évolue pour favoriser la sobriété numérique

- p.9** **Les leviers d'actions pour appliquer la sobriété numérique aux *smart grids***
- p.9** Les données générées par les *smart grids*
- p.10** Les principaux leviers
- p.14** Sept axes pour agir : solutions et initiatives concrètes

- p.22** **Déployer la sobriété numérique dans le secteur des *smart grids* : défis et enjeux**
- p.22** Freins
- p.23** Enjeux business

- p.24** **Pour conclure**

- p.25** **Annexe**
- p.25** Glossaire des concepts clés
- p.26** Présentation des entreprises interrogées

POURQUOI UNE ÉTUDE SUR LA SOBRIÉTÉ NUMÉRIQUE APPLIQUÉE AUX SMART GRIDS ?

ÉMERGENCE D'UNE RÉFLEXION AUTOUR DE LA SOBRIÉTÉ NUMÉRIQUE

En novembre 2021, l'association Think Smartgrids avait organisé un webinaire portant sur la manière dont s'organisent les entreprises pour délivrer des services data pour l'énergie. À cette occasion, les intervenants avaient abordé la notion de sobriété numérique, qui devenait selon eux un enjeu incontournable pour le développement de nouveaux services *smart grids*.

En effet, bien que le numérique représente pour l'instant une faible part dans l'empreinte environnementale des projets de développement de réseaux énergétiques, ses impacts sont amenés à croître fortement. Avec la transition énergétique, **l'essor des énergies renouvelables intermittentes et l'électrification massive des usages de l'énergie va nécessiter un recours croissant aux solutions numériques pour optimiser la gestion des réseaux électriques et les rendre plus résilients.**

D'un côté, les technologies *smart grids* permettent d'éviter des émissions de gaz à effet de serre, par le biais d'économies d'énergie, du pilotage des usages qui permettent de lisser les courbes de consommation et d'éviter le recours aux centrales thermiques d'appoint, ou encore via l'électrification des usages et l'intégration des énergies renouvelables en substitution aux énergies fossiles.

De l'autre, avec la digitalisation généralisée du système électrique et l'utilisation croissante d'algorithmes d'intelligence artificielle très énergivores, **il est aujourd'hui impossible d'ignorer les différents impacts environnementaux liés aux projets numériques**, fussent-ils vertueux pour la transition énergétique. La Commission Digitalisation de l'association Think Smartgrids a donc décidé de s'emparer du sujet.

Le concept de « sobriété numérique » amène ensuite à s'interroger sur le sens que l'on donne à ce terme : s'agit-il de développer des solutions moins consommatrices d'énergie, et plus globalement, de ressources, ou doit-on aller jusqu'à interroger la pertinence des nouveaux produits et services qui seront mis sur le marché au regard de leurs impacts ? Alors que la transition énergétique nécessite encore de nombreuses innovations, quelle démarche RSE adopter pour ancrer la durabilité et la sobriété dans tous les développements de projets numériques sans mettre un frein à l'innovation ?

La définition de la sobriété numérique retenue dans ce livre blanc consiste à **concevoir des services numériques plus économes en ressources et à en modérer les usages afin de minimiser leur impact environnemental**. Elle englobe par exemple l'efficacité énergétique, l'écoconception, la mutualisation et l'optimisation de l'usage des ressources existantes, ou encore le réemploi et le recyclage du matériel.

Les recommandations et illustrations évoquées se concentrent plus particulièrement sur **l'impact environnemental du stockage et du traitement des données énergétiques**, mais d'autres axes de réflexion intéressants sont ressortis des entretiens menés dans une approche plus complète d'analyse de cycle de vie (ACV).

Plusieurs des entreprises interrogées ont ainsi entamé une réflexion globale sur la réduction de l'empreinte carbone et matière de leurs produits et services numériques. Pour certains, la démarche est même devenue une dimension essentielle de leur modèle d'affaires.

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Ce livre blanc avait deux objectifs principaux :

- **Identifier les facteurs** influant sur les volumes de stockage et de traitement des données nécessaires aux cas d'usages *smart grids*.
- **Formuler des pistes d'action** pour concilier développement des *smart grids* et sobriété numérique.

Sans qu'il soit possible de donner un bilan chiffré précis des impacts environnementaux de la filière *smart grids*, qui n'était pas l'objet de cette étude, les recherches et entretiens menés ont permis de définir les axes de sobriété numérique qui devraient concentrer les principaux efforts des acteurs de la filière, puis de formuler une série de recommandations précises, basées sur les projets et retours d'expérience des acteurs interrogés.

MODALITÉS DE L'ÉTUDE

Une série de 12 entretiens a été menée avec des acteurs aux profils variés pour obtenir une vision globale de la sobriété numérique appliquée aux *smart grids* : fournisseurs de services de données énergétiques, opérateurs télécom, gestionnaires de réseaux, équipementiers et fabricants de matériel, chercheurs, hébergeurs de données...

Lors de ces entretiens, les acteurs ont notamment été interrogés sur leur vision de la sobriété numérique, sur les politiques globales, actions et bonnes pratiques mises en œuvre, ainsi que sur leurs recommandations, par ordre de priorité, pour faire progresser cette sobriété.

Une revue de la littérature existante a également été effectuée pour obtenir quelques données chiffrées et les confronter avec les éléments apportés par les entretiens, afin de commencer à développer une vision globale et factuelle des différents impacts de la digitalisation du système électrique.



RÈGLEMENTATION : DE LA DIGITALISATION DU SECTEUR DE L'ÉNERGIE À L'EXIGENCE D'UN SECTEUR NUMÉRIQUE NEUTRE EN CARBONE

LA RÉGLEMENTATION A FORTEMENT ENCOURAGÉ LA COLLECTE DES DONNÉES ÉNERGÉTIQUES

Depuis plus d'une dizaine d'années, le cadre réglementaire a été un véritable vecteur du développement des *smart grids*. Après avoir appuyé la digitalisation du réseau, notamment avec le déploiement des compteurs communicants, il cherche aujourd'hui à encourager la collecte, l'accès et le partage des données énergétiques nécessaires à la mise en œuvre des services de la transition énergétique.

L'article 179 de la **loi sur la Transition Énergétique et la Croissance Verte (LTECV)** prévoit que les gestionnaires de réseaux mettent à disposition les données énergétiques locales. Ces données leur sont aujourd'hui aussi utiles pour répondre aux évolutions du système électrique : production d'énergies renouvelables, autoconsommation, mobilité électrique... Les gestionnaires de réseaux sont aujourd'hui devenus de véritables opérateurs de données.

Les lois **LTECV** et la **loi ELAN** (Évolution du Logement, de l'Aménagement et du Numérique) ont également contribué à

l'augmentation du volume global de données énergétiques en instaurant de nouvelles obligations que doivent respecter les collectivités et les entreprises sous peine de pénalités (Décret tertiaire, Décret BACS). Ce à quoi s'ajoutent de nombreuses normes (ISO 50001) et labélisations environnementales (GRESB, GRI, EPRA). Entreprises et collectivités doivent ainsi s'appuyer sur une masse de données croissante pour s'acquitter des différents rapports qui démontrent leur performance énergétique.

La loi du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat, dite « **loi Energie-Climat** », a introduit un dispositif d'expérimentation réglementaire (dit « bac à sable ») dans le secteur de l'énergie. Ce dispositif prévoit que la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) puisse accorder des dérogations aux conditions d'accès et à l'utilisation des réseaux pour déployer à titre expérimental des technologies et services *smart grids* innovants. Ce dispositif a contribué à lever des contraintes sur l'exploitation des données énergétiques et donc favorisé la multiplication des cas d'usage.

LE CADRE RÉGLEMENTAIRE ÉVOLUE POUR FAVORISER LA SOBRIÉTÉ NUMÉRIQUE

En parallèle, le cadre réglementaire a aussi évolué pour limiter les externalités négatives de ce développement exponentiel des données énergétiques et des cas d'usage associés.

Les *Smart Grids* peuvent manipuler des données à caractère personnel, notamment sur le comportement des consommateurs relatif à leur consommation d'énergie et à leurs déplacements. Le **Règlement général sur la protection des données (RGPD)** a créé un premier cadre juridique qui **limite la collecte, le traitement et le stockage des données à caractère personnel (DCP)**, avec notamment des obligations concernant le recueil du consentement des consommateurs, la minimisation de la collecte aux données strictement nécessaires à la finalité du traitement, ou encore la limitation de la durée du stockage de ces DCP dans le temps.

La **Loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire** du 10 février 2020 est ensuite venue renforcer les obligations pour **prévenir l'obsolescence logicielle** et l'impact des logiciels sur la durée de vie des équipements (cf l'article 27).

L'article 167 de la **Loi de finances pour 2021** a introduit une obligation pour les entreprises exploitant un **centre de stockage de données** d'adhérer à un programme « reconnu par une autorité publique » **d'écoconception et d'optimisation des consommations énergétiques**, sous peine de ne plus bénéficier des taxes préférentielles sur l'électricité applicables aux centres de stockage de données numériques. Il introduit également une obligation de réaliser une analyse coûts-avantages sur la valorisation de la chaleur fatale, notamment à travers un réseau de chaleur ou de froid.

Enfin, la **Loi pour réduire l'empreinte environnementale du numérique du 15 novembre 2021**, dite « **loi REEN** », établit via l'article 25 la création d'un référentiel général de l'écoconception de services numériques (**RGESN**). La Loi REEN impacte inévitablement les *Smart Grids* avec, entre autres, des contraintes en termes d'**ACV des matériels, d'éco-conception numérique, de lutte contre l'obsolescence logicielle** et de limitation de la consommation des datacenters. Elle interdit par ailleurs aux fabricants de rendre impossible la restauration de l'ensemble des fonctionnalités d'un terminal réparé ou reconditionné, ou d'empêcher l'utilisateur d'installer les logiciels ou les systèmes d'exploitation de son choix au bout d'un délai de deux ans.

Au niveau européen, les dispositions liées au **cloud souverain** (Gaia-X), au cloud de confiance (Bleu, S3NS) ainsi que le **règlement sur la gouvernance des données** qui s'appliquera à partir de fin septembre 2023 et la future **Loi sur les données** (Data act) vont en outre faciliter le partage et la mutualisation des données énergétiques, favoriser l'interopérabilité et imposer des limites aux solutions propriétaires pour le développement de l'IoT.

Plus globalement, la stratégie européenne de numérisation du secteur de l'énergie pointe le besoin d'accélérer la digitalisation des réseaux électriques, tout en dédiant un volet à la neutralité carbone du secteur numérique. **Le programme européen d'action de la « Décennie numérique » pour 2030 adopté en décembre 2022 place la sobriété numérique parmi ses principaux objectifs** afin de « veiller à ce que les infrastructures et

les technologies numériques, y compris leurs chaînes d'approvisionnement, deviennent plus durables, plus résilientes et plus efficaces sur le plan de l'énergie et des ressources, en vue de réduire au minimum leurs incidences négatives sur l'environnement et la société (...), conformément au "Green Deal" européen, notamment en encourageant la recherche et l'innovation qui contribuent à cette fin et en élaborant des méthodologies pour mesurer l'efficacité énergétique et l'efficacité des ressources de l'espace numérique ».



LES LEVIERS D'ACTION POUR APPLIQUER LA SOBRIÉTÉ NUMÉRIQUE AUX SMART GRIDS

LES DONNÉES GÉNÉRÉES PAR LES SMART GRIDS

Le système électrique est en pleine mutation, tant du fait de la décentralisation de la production et de l'essor des EnR intermittentes que par le développement de nouveaux usages tels que la mobilité électrique ou l'autoconsommation. En parallèle, l'Union européenne s'est fixée des objectifs ambitieux en termes de décarbonation et de sobriété énergétique à horizon 2030, cela dans une période de tension inédite sur le système énergétique.

Dans ce contexte, le développement des *Smart Grids* et les technologies du numérique sont vus comme de véritables opportunités pour répondre aux objectifs de sobriété énergétique en permettant d'optimiser la gestion des réseaux, tout en renforçant leur résilience.

Par ailleurs, beaucoup de données collectées par les *smart grids*, concernant par exemple la mobilité ou la consommation d'énergie, renseignent sur les impacts d'activités humaines ou peuvent éclairer les prises de décisions sur la transition écologique, comme le souligne la feuille de route 2020 sur l'environnement et le numérique du Conseil National du Numérique (CNNum).

Les données collectées sur les réseaux intelligents sont de nature très diverse : données de consommation qui remontent des compteurs, données opérationnelles sur le comportement des installations, données sur l'état des infrastructures, données liées à des événements particuliers (incidents, pannes, etc.).

En plus de leur diversité, les données issues des *Smart Grids* se caractérisent par leur volumétrie importante qui connaît une croissance exponentielle du fait de la multiplication des capteurs, de leur fréquence d'échantillonnage et des objets connectés, jusqu'aux frontières des réseaux. Au sein des scénarios du rapport ARCEP-ADEM (impact environnemental du numérique en 2030 et 2050), ces capteurs sont identifiés comme principal vecteur d'accroissement des équipements numériques. Une démarche globale de sobriété numérique est ainsi nécessaire pour limiter l'impact environnemental des *smart grids*, qui sont au cœur de la transition énergétique.



LES PRINCIPAUX LEVIERS

La majorité des acteurs des *Smart Grids* interrogés intègrent déjà la sobriété numérique dans leurs activités et mettent en place des actions spécifiques visant à limiter leur impact sur l'environnement.

Agir sur le stockage des données

« Le stockage de données est une problématique importante avec une nécessité de mettre en place une démarche frugale et notamment des process qui ne récupèrent et ne stockent que les données nécessaires. »

Université de Lille

La majorité des impacts environnementaux du stockage des données se concentrent sur le matériel nécessaire à ce stockage. Augmenter la durée de vie du matériel et minimiser le stockage pour réduire la quantité d'équipements nécessaires sont donc une priorité. Il s'agit ensuite de réduire la consommation d'énergie du stockage, souvent très importante. Le moyen le plus simple est bien sûr de supprimer régulièrement les données non utiles, mais d'autres leviers d'optimisation existent.

x9,4

Multiplication que va connaître le volume de données relatif au stockage des bornes de recharges électriques¹ entre 2022 et 2030.

« La gestion locale des données et le fait de pouvoir alimenter les data centers avec des sources de production renouvelables vont être des axes très intéressants pour réduire l'empreinte environnementale des projets. »

Energy Pool

L'éco-conception des data centers est aussi un levier d'action majeur. Le fonctionnement des circuits de refroidissement ainsi que l'alimentation en énergie des serveurs et de l'ensemble des outils informatiques logés dans les data centers sont particulièrement énergivores.

Les principaux acteurs du marché, notamment les hyperscalers, cherchent à utiliser des solutions plus écologiques en améliorant l'efficacité énergétique des data centers ou en prévoyant de remplacer les groupes électrogènes par des sources d'énergie décarbonées telles que le photovoltaïque, l'éolien ou l'hydrogène « vert ».

ACTEURS INTERVIEWÉS

ROMAIN ROUYOY

Professeur d'Informatique à l'Université de Lille, INRIA

Romain Rouvoy est Professeur d'Informatique à l'Université de Lille, membre de l'UMR CRISTAL et du GdR GPL. Il est également membre de l'équipe-projet Inria Spirals et membre honoraire de l'IUF. Ses thématiques de recherche se situent au carrefour du génie logiciel et des systèmes répartis, explorant les problématiques d'un développement plus durable des infrastructures logicielles actuelles.

JEAN DOBROWOLSKI

Responsable des solutions microgrid – Energy Pool

Après un doctorat obtenu en 2017 sur les micro-réseaux décentralisés, Jean Dobrowolski rejoint l'université des sciences appliquées de Zurich (ZHAW) pour concentrer ses recherches sur la stabilité du réseau européen avec l'intégration de nombreuses énergies renouvelables. En octobre 2019, il rejoint Energy Pool en tant que responsable des solutions microgrids; il participe au déploiement de différents projets microgrids connectés et déconnectés.

ARNAUD PHILIBERT

Directeur développement solutions & services digitaux - Itron

Arnaud Philibert est un instigateur de Stratégie de Management de l'Énergie grâce à sa méthodologie éprouvée de référent énergie et sa maîtrise des outils digitaux. Il participe aujourd'hui au développement des solutions *smart grid*, *smartcity* et mobilités alternatives d'Itron, l'un des fournisseurs des compteurs communicants Linky et Gazpar.

1. Indicateur calculé à partir d'informations partagées par IZIVIA.

GUILLAUME BULLIER

Chargé des réseaux intelligents - CRE

Ingénieur avec une expérience dans le conseil, Guillaume Bullier est depuis 2020 chargé des réseaux intelligents auprès de la Commission de Régulation de l'Énergie.

FRANCK AL SHAKARCHI

Directeur Stratégie et Innovation - Entech

Franck Al Shakarchi s'est investi dans le domaine des énergies renouvelables, du stockage de l'énergie et du développement durable, après une première expérience dans les services pétroliers. Il s'est ensuite intéressé aux problématiques énergétiques insulaires puis au développement de solutions innovantes pour les *smart grids*. En 2021, il rejoint Entech pour diriger la stratégie et l'innovation.

SÉBASTIEN HENRY

Directeur Exécutif R&D, SI & numérisation - RTE

Il travaille depuis 25 ans dans le domaine des systèmes électriques et plus particulièrement celui des réseaux de transport. Il a dirigé pendant plusieurs années des équipes de recherche, notamment en tant que Directeur R&D de RTE, avant de prendre la responsabilité des systèmes informatiques et numériques.

BORIS DOLLEY

Porteur de la stratégie numérique - RTE

Fort d'une expérience de 15 ans dans la gestion et la direction de projets SI, suivie d'une expérience de management d'une équipe Achats, Boris Dolley gère aujourd'hui une équipe de concepteurs développeurs de logiciels internalisée à l'entreprise. Son équipe développe notamment les logiciels d'étude prospective d'équilibre offre/demande (Futurs énergétiques 2050) et de développement de réseau.

2,4%

C'est la part estimée des data centers dans la consommation électrique française en 2021. Cela représente 11,59 TWh², près de 2 fois plus que les 6 TWh consommés par la SNCF, premier consommateur industriel d'électricité de France. L'AIE estime qu'au niveau mondial, ce chiffre est de 0,9 à 1,3%, sans tenir compte du minage des cryptomonnaies³. À noter que les serveurs et le système de refroidissement recouvrent plus de 80% de l'électricité consommée par un data center.

Agir sur les flux de données

« Une des actions est de minimiser le volume de données remontées dans le cloud depuis les installations en exploitation, tout en continuant à répondre aux besoins de traitements : seules les données pertinentes doivent être sélectionnées et transmises avec l'échantillonnage temporel le plus grossier possible compatible avec le traitement souhaité. »

Entech

Il est possible d'optimiser les flux de données en adaptant le lieu de traitement des données à l'utilisation qui en est faite. Dans certains cas, la centralisation sur le Cloud se révèle être la meilleure option. Les solutions proposées dans le Cloud offrent de nouvelles capacités de calculs et des modules de traitement de données qui ne sont pas répliquables en local.

De plus, le traitement de données dans le Cloud est souvent simplifié car il évite la redondance et limite la maintenance et les développements, ces actions étant centralisées.

Néanmoins, cette centralisation nécessite que les données soient déplacées là où les traitements s'exécutent. Ces échanges de données consomment de l'énergie et ont donc intérêt à être optimisés au maximum. Pour cela, il est possible d'élargir le pas de temps de remontée des données pour répondre uniquement au besoin final. Une autre piste est d'utiliser les technologies Edge computing pour réaliser certains traitements en local, au plus proche des sources de données, notamment lorsque les grosses puissances de traitement ou de calcul offertes dans le Cloud ne sont pas nécessaires.

« Nous utilisons les systèmes d'IA par couches, en faisant des traitements locaux pour éviter les traitements en Big Data et la centralisation quand cela est possible. »

RTE

2. Étude ADEME-ARCEP - Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective - (19 janvier 2022) - volet 2, p.86

3. <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>

Partager les données et les infrastructures

« Nous essayons de réutiliser autant que possible les infrastructures actuelles en faisant du partage d'infrastructures avec des partenaires. Cet état d'esprit collaboratif est clé pour un numérique plus responsable. »

ORANGE

Développer l'interopérabilité et la normalisation des données sont des prérequis essentiels pour limiter au maximum les traitements lourds sur les données partagées par les acteurs des *smart grids*.

Certains acteurs comme Enedis ou RTE ont par ailleurs fait le choix de l'Open Data afin que leurs données puissent être utilisées par d'autres acteurs pour développer de nouveaux services énergétiques. Cette mutualisation des données évite la multiplication des espaces de stockage et une redondance des données. L'Open data permet aussi de ne pas développer de nouveaux outils et processus propres à chaque plateforme, ce qui facilite la valorisation des données pour de multiples cas d'usages et est un vrai levier de développement pour de nouveaux services *smart grids*.

En plus du partage de données, la mutualisation des infrastructures est un levier majeur pour optimiser l'utilisation des infrastructures existantes et éviter de les démultiplier. Alors que 80% des impacts environnementaux du numérique se concentrent sur la fabrication du matériel, cette mutualisation doit être une des priorités.

Optimiser les solutions développées

« Aujourd'hui, les efforts se concentrent sur les économies d'énergie du matériel, du cloud et des infrastructures, mais encore très peu sur les logiciels, alors que c'est le logiciel qui pilote les infrastructures. Un matériel efficace ne suffit pas : l'usage efficace est tout aussi important. »

Université de Lille

Les technologies numériques et les logiciels prennent une place croissante dans le fonctionnement des infrastructures énergétiques et de nouvelles possibilités s'ouvrent grâce à l'intelligence artificielle (anticiper la production et la consommation d'énergie, prévenir les pannes, etc.). Cependant, ces modèles d'IA peuvent être très énergivores et il y a peu de transparence sur leur impact environnemental, notamment lors des phases d'apprentissage, de réentraînement et d'adaptation. Ils doivent donc être utilisés à bon escient en gardant une adéquation entre le besoin initial et le niveau de technologie utilisé.

8,08 To

C'est le volume annuel de données pour faire fonctionner un jumeau numérique pour un entrepôt de 5 000 entités⁴. Cela équivaut au téléchargement de plus de 2000 films en HD.

NICOLAS PERRIN

Directeur pôle RSE - ENEDIS

Nicolas Perrin a d'abord travaillé dans le domaine du développement économique local puis a managé des équipes sur l'ensemble des métiers techniques du distributeur Enedis. Membre de plusieurs comités de normalisation (CEN – IEC), il complète ces activités par des missions à l'international (EDF International Networks) et enseigne à l'ESTP Cachan et à l'IAE Paris Sorbonne Business School.

GILLES SABATIER

Directeur de la Co-innovation et des Écosystèmes au sein de la Direction des Grands Clients d'Orange Business Services - ORANGE

Gilles Sabatier développe des projets de co-innovation avec les grandes entreprises françaises, en activant les capacités technologiques d'innovation d'Orange et en les mettant au service des enjeux métier de demain de nos clients.

MICHEL GIORDANNI

Responsable du programme de recherche Territoires durables au sein d'Orange Innovation – ORANGE

Michel Giordanni réalise des travaux de recherche dont l'objectif est de mettre le pouvoir de transformation du numérique au service des enjeux environnementaux et sociétaux des territoires avec un focus plus particulier sur les *smart grids*.

NICOLAS BIHANNIC

Expert de la communauté Orange
« Réseaux du futur » - ORANGE

Nicolas Bihannic analyse les opportunités business et techniques amenées par les technologies 5G et Edge Computing. Ses travaux sont menés en co-innovation pour les marchés sectoriels des *smart grids*, du ferroviaire, du médical et de l'industrie du futur.

4. Indicateur calculé à partir des données fournies par Amazon Web Services: https://aws.amazon.com/fr/iot-twinmaker/pricing/?nc1=h_ls

GEOFFRAY BRELURUT

Data Scientist au sein de l'expertise IA de Confiance - Quantmetry

L'expertise de Quantmetry traite des aspects liés à la fiabilité, la robustesse et l'éthique des IA. Geoffray Brelurut travaille sur les aspects interprétabilité dès la conception et frugalité des modèles, afin de réduire l'impact environnemental des IA.

SÉBASTIEN MEUNIER

Vice-Président relations institutionnelles – ABB France

Sébastien Meunier travaille sur le marché de la convergence numérique de l'énergie et des services dans les infrastructures techniques, aussi bien sur le plan opérationnel que marketing. Contributeur au sein de la filière du bâtiment, de l'industrie, de la mobilité et de l'énergie, Sébastien travaille depuis 2012 chez ABB France et est actif au sein du GIMELEC et de Think Smartgrids.

1507 kWh

C'est la dépense énergétique pour entraîner une seule fois le modèle BERT⁵, très prisé en IA mais aussi très gourmand en calculs. Réduire la taille d'un modèle et la quantité des paramètres optimisera la consommation de ressources ainsi que la durée d'apprentissage. Cela peut se faire sans nuire à sa précision (voir le modèle [DistilBERT](#), 40% plus petit et 60% plus rapide, conservant 97% de la compréhension du langage de BERT).

Le critère d'efficacité énergétique des matériels et l'éco-conception des algorithmes doivent également être pris en compte dans le choix des architectures informatiques. Certains modèles d'architectures sont nativement plus efficaces que d'autres. Les architectures de micro-services permettent par exemple d'optimiser les lignes de code en subdivisant l'infrastructure et réduisent ainsi considérablement la consommation énergétique des logiciels. Cependant, un suivi de leur potentiel « effet rebond » doit aussi être effectué.

Les développeurs de solutions ont donc intérêt à optimiser ces modèles en trouvant un compromis entre impact environnemental et performance de la solution pour que ces solutions soient durables. Une réflexion sur l'impact environnemental des solutions doit être engagée dès la phase de conception en incitant les équipes de développement à trouver des solutions qui intègrent la notion de sobriété numérique.

« Faire une IA qui adresse un besoin dans le monde de demain c'est accepter de dégrader certaines dimensions pour trouver un meilleur équilibre entre performance, robustesse, éthique et impact sur l'environnement. »

Quantmetry

5. MIT, « Training a single AI model can emit as much carbon as five cars in their lifetimes », 2019

SEPT AXES POUR AGIR : SOLUTIONS ET INITIATIVES CONCRÈTES

Les personnes interviewées ont été invitées à partager leurs solutions et actions sur sept axes qui contribuent à la sobriété numérique et à réduire l'impact environnemental global des *Smart Grids*.



Axe 1 : Matériel et équipements

Bien que cette étude porte avant tout sur la sobriété numérique appliquée aux données des cas d'usage *smart grids*, **les terminaux représentent 65 à 90% des différents impacts environnementaux du numérique**⁶. L'écoconception des matériels et une réflexion autour du dimensionnement des équipements, voire de la nécessité de déployer de nouveaux équipements sont donc des prérequis majeurs pour une démarche de sobriété numérique.

Dans ce premier axe sont intégrés tous les matériels nécessaires à la collecte et à la valorisation des données énergétiques pour les cas d'usage *Smart Grids*. Il s'agit donc aussi bien des dispositifs de collecte (capteurs, concentrateurs, compteurs, drones...), de stockage et de traitement de données (serveurs, disques, processeurs...), que des terminaux numériques associés aux cas d'usage.

De nombreux paramètres doivent être pris en compte pour évaluer les impacts environnementaux des différents équipements et matériels. Ainsi, le volume de données émises par un capteur ne dit rien des impacts environnementaux générés lors de sa conception, de sa production et de sa maintenance. Un capteur qui transmet des données de manière plus « intelligente » ne sera donc pas forcément plus écologique. La consommation énergétique du stockage d'un Téraoctet de données pourra aussi varier selon la qualité du matériel (serveur) sur lequel il est stocké. En outre, le bilan carbone de ce stockage dépend aussi du mix énergétique du pays où l'hébergement est effectué.

Enfin, les infrastructures numériques, et notamment des centres de données, ont aussi un impact « spatial ». Le projet de recherche ENERNUM, financé par l'ADEME, pointait en 2019 les datacenters comme « un facteur potentiel de déséquilibre des systèmes énergétiques locaux ». Il appelait notamment à mieux intégrer les datacenters dans les planifications à la fois énergétiques et urbaines des territoires, à privilégier la transformation de bâtiments existants à la construction de nouveaux bâtiments, à mutualiser les infrastructures pour éviter les redondances, ainsi qu'à favoriser la récupération de chaleur fatale et le développement de micro-réseaux d'énergie renouvelables pour alimenter ces datacenters⁷.



AXE 1 : Illustrations

- **Certains centres de stockage de données intègrent déjà la notion de performance environnementale :**
 - Qarnot Computing déploie ses serveurs directement dans des bâtiments existants avec une **approche décentralisée pour éviter de construire de nouveaux datacenters mais aussi pouvoir valoriser la chaleur directement à proximité de là où elle est produite**. Qarnot valorise ainsi 96% de la chaleur fatale de ses serveurs via la technique du direct water cooling (refroidissement par l'eau), avec une eau à plus de 60°C pouvant répondre aux besoins des réseaux de chaleur urbains même anciens sans ajout de pompes

à chaleur, ainsi qu'à ceux de centres aquatiques ou d'industriels consommateurs de chaleur. L'entreprise favorise aussi l'utilisation de matériel reconditionné et cherche à maximiser la durée de vie des processeurs. Fin 2022, Qarnot a initié un projet avec l'Inria, soutenu par l'ADEME, pour évaluer et optimiser ces infrastructures décentralisées, dites « edge ». Le défi PULSE (pour « PUsing Low-carbon Services towards the Edge ») va ainsi chercher à modéliser, mesurer et optimiser les consommations d'énergie d'infrastructures de calcul distribuées.

6. ANCT, « Évaluation de l'impact environnemental du numérique en France : les terminaux, premier vecteur d'impacts environnementaux ».

7. [Impact spatial et énergétique des data centers sur les territoires - ADEME](#).

- Le projet BodenTypeDC (BTDC), financé par l'UE, a construit, testé et validé en Suède un centre de données qui se veut être le plus efficace énergétiquement au monde, tout en minimisant les coûts. Alimenté par des énergies renouvelables, son **système de refroidissement intelligent** s'adapte à la charge de travail, à la ventilation et à la température et s'appuie sur des technologies de refroidissement par air libre et par évaporation, sans recours à des gaz réfrigérants. Son efficacité énergétique ou « power usage effectiveness » (PUE) est de 1,02, très proche de 1,00, qui est le niveau d'efficacité maximal théorique, quand les autres data centers européens ont un PUE supérieur à 1,5. Les matériaux de construction ont été sourcés localement et sont à faible impact carbone. Le projet cherche maintenant à répliquer ce premier prototype ailleurs en Europe, en valorisant la chaleur résiduelle dans les pays au climat moins favorable.

À noter aussi que les géants de la tech ont été parmi les premiers à se lancer dans les **contrats de Power Purchase Agreement (PPA)** pour s'approvisionner directement en électricité d'origine renouvelable, et ce, notamment pour leurs centres de données. Google a notamment été pionnier et a par ailleurs investi en 2020 dans Electricity Maps pour réduire l'impact carbone de ses centres de données, en modulant les calculs qui y sont effectués en fonction de la teneur en CO₂ de l'électricité à un moment donné. Google s'est engagé à partager sa méthodologie et ses résultats à l'issue des tests.

- **Plusieurs labels ont été mis en place par l'industrie.** Avec le label « Circular Certified », Schneider Electric garantit un allongement de la durée de vie des produits via des opérations de maintenance, le réemploi des pièces et des matières premières, le reconditionnement des produits et le recyclage des métaux. Le label « blue » de Siemens qualifie certains de ses produits à destination des *Smart Grids* respectant une série de contraintes et de mesures de transparence telles que la mise en place de mécanismes de recyclage des solutions, l'absence de gaz fluorés, une publication d'ACV des produits ou encore une espérance de bon fonctionnement de ceux-ci pendant plus de 40 ans. Les documents publiés respectent certaines normes de reporting pour permettre une comparaison entre différentes solutions de marché.
- **Orange a développé plusieurs programmes pour réduire l'empreinte environnementale de ses équipements.** Le programme Green IT-N (N pour Networks) vise, entre autres, à remplacer les équipements énergivores, à mesurer l'ensemble des consommations pour pouvoir mieux les réduire partout où cela est possible et à utiliser l'IA et la Data pour optimiser le déploiement, l'exploitation et le partage des infrastructures. Green IT-N cherche par ailleurs à privilégier la climatisation passive des centres de données et l'activation de modes « veille » sur ses réseaux, grâce à des architectures innovantes. Orange a également plusieurs programmes de recyclage et de réutilisation des équipements : « OSCAR » est une plateforme pour la réutilisation des équipements vers les filiales et le programme « Re » vise à développer le recyclage des terminaux des clients.

Enfin, Orange a lancé un travail autour du développement d'une méthodologie qui permette une prise en compte globale de l'ACV de ses produits et services, et d'en mesurer les impacts positifs comme les potentiels effets rebonds, en se basant notamment sur les travaux de l'ADEME.

- **Les constructeurs étudient les moyens de réduire drastiquement la consommation électrique des capteurs nécessaires à l'implémentation des cas d'usage *Smart Grids*.** Dans son livre blanc « Low-Power Sensing, Energy-efficient power solutions », NXP Semiconductors présente 3 approches pour réduire leur consommation électrique : intégrer au capteur un mode d'arrêt et un mode très basse consommation, ajouter une « détection intelligente » qui permette au capteur de gérer sa propre consommation d'énergie, et permettre au capteur d'utiliser la capacité de calcul locale du microcontrôleur (MCU). Cette approche a été utilisée dans les accéléromètres, les capteurs de pression et les magnétomètres. Le français Tct magnetic core and component propose par ailleurs des capteurs sans batterie, appelés « e-green sensor ».
- **De plus en plus d'entreprises se tournent vers un modèle serviciel plutôt que vers l'achat des équipements en eux-mêmes.** L'économie de la fonctionnalité, qui propose de vendre l'usage d'un bien plutôt que le produit en lui-même, a de nombreux co-bénéfices : favoriser des matériels plus durables, la réparation et le réemploi (le fabricant, qui reste propriétaire du produit, a tout intérêt à en prolonger la durée de vie), permettre des économies (en augmentant la durée de vie du produit) dont les gains peuvent être partagés entre le fournisseur et le client, mais aussi augmenter la qualité car on vend un service ou une garantie de performance plutôt qu'un produit. Cela peut concerner du matériel informatique, des batteries de véhicules, des services de mobilité, mais aussi des services innovants comme des contrats garantissant un volume en m³ d'air comprimé fourni plutôt que de vendre les compresseurs d'air en eux-mêmes, ou un niveau d'éclairage plutôt que des lampadaires et ampoules. La mise à disposition du produit s'accompagne généralement d'autres services (maintenance, formation au bon usage des équipements, collecte et recyclage des produits hors d'usage...).



AXE 2 : Architecture technique

La sobriété numérique des *smart grids* implique ensuite de se pencher sur l'architecture technique des infrastructures nécessaires à la collecte et au traitement des données. Des architectures frugales doivent **optimiser le volume de données stockées, transportées (flux) et traitées** tout en répondant au mieux au niveau de service attendu (performance, sécurité, fonctionnalités, continuité de services...).

Prenons un exemple fictif de cas d'usage d'autoconsommation collective. L'architecture technique va influencer les volumes de données stockées, transportées et traitées. En optant pour une architecture totalement centralisée, toutes les données liées à l'opération d'autoconsommation (Producteurs, consommateurs, courbes de charges de production/autoproduction/surplus, courbes de charges de consommation/autoconsommation/complément) sont remontées au pas de temps de 30 minutes à un serveur central. Si l'on estime à 10 000 les opérations d'autoconsommation collective (12 consommateurs et 2 producteurs), cela implique le transport de 755 Gigaoctets par an vers le serveur central.

Une alternative à cette architecture technique centralisée pourrait diminuer fortement le volume de données transportées en dotant par exemple les différents nœuds de **capacités de traitements locaux** pour n'envoyer que les surplus et les compléments au pas de temps 60 minutes et ainsi diviser par 6 le volume de données transportées vers le serveur central.



AXE 2 : Illustrations

- **L'utilisation d'un modèle d'architecture logicielle de type « event-driven »** : il s'agit d'un modèle dans lequel des microservices réagissent à des changements d'état, appelés événements. Avec ce modèle d'architecture, chaque microservice fonctionne de manière indépendante et l'architecture ne fonctionne que si un événement survient. Ainsi, les traitements de données sont optimisés et l'agilité de ce type d'architecture permet de réaliser des évolutions en optimisant les développements. Ce type d'architecture est notamment proposé par des hyperscalers tels que Microsoft et AWS.
- **La réception discontinue (DRX)** permet d'économiser l'énergie consommée par un système communicant en LTE en activant uniquement la réception (ou l'envoi) de données lors de périodes définies. Cette option est notamment indiquée dès lors que les données partagées ne le sont pas dans le cadre d'un traitement en temps réel ou de haute performance.
- **La clustérisation des machines** d'un même site permet également de réduire la consommation énergétique du système via une meilleure compression des paquets de données, la mise en commun des capacités de traitement permettant d'en faire passer une ou plusieurs sur des régimes de basse consommation hors des pics de charge et via la coordination de l'envoi de données sur le réseau LTE pour éviter le pic de charge lié à un envoi simultané.
- **La communication inter-appareils (device-to-device)** ou partiellement assistée par le réseau LTE permet de réduire la bande passante du réseau utilisée par le système et de consommer moins d'énergie à service équivalent tout en augmentant la résilience de l'ensemble.
- **Pour dimensionner son réseau au plus juste**, Orange a mis en place une politique de priorisation des flux, en concertation avec les clients et utilisateurs : certains services comme la télé-protection vont requérir du temps réel, mais pour les services moins prioritaires, des priorités inférieures sont accordées au niveau des nœuds réseaux, grâce à des algorithmes de priorisation.



AXE 3 : Plateformes mutualisées de stockage et de traitement de données énergétiques

Les plateformes mutualisées d'échange et de traitement des données énergétiques permettent d'**éviter la redondance des données énergétiques liée aux différents cas d'usage** en mettant en commun le maximum de données et de capacités de traitement.

Prenons l'exemple d'un cas d'usage lié aux données de sessions de recharge des véhicules électriques. Plusieurs opérateurs du marché souhaitent traiter ces données pour développer des offres de tarification ciblées. Ces données représenteront environ 550 Gigaoctets de données par an en 2030. Si chacun des opérateurs du marché souhaitant exploiter ces données les réplique pour les traiter et délivrer son service au marché, ce volume de données, et les capacités de stockage et de traitement nécessaires, seront multipliées par le nombre d'opérateurs. L'idée est donc qu'une plateforme mutualisée et optimisée de stockage et de traitement permette à ces opérateurs de réaliser les services sans avoir à répliquer localement ces données.

L'émergence de ces plateformes pose de nombreuses questions en termes de sécurité, de gouvernance et d'architecture notamment, mais représente une piste indéniable de sobriété numérique et d'accessibilité des données dans le cadre du développement des *Smart Grids*.



AXE 3 : Illustrations

- **L'« open data » est un premier pas vers l'émergence de ces plateformes mutualisées** et bénéficie d'incitations réglementaires fortes, tant en France qu'en Europe, ce qui a permis la création de nombreuses plateformes. On peut notamment citer le « European Energy Data space » et l'« Energy Data Platform » de la Banque Mondiale. À noter que le data space peut permettre de surmonter une certaine réticence au partage des données, car il permet de partager une donnée tout en restant propriétaire, contrairement à l'architecture centralisée du Data Lake. En France, l'Agence ORE (Opérateurs de Réseaux d'Énergie) fédère l'ensemble des acteurs de la distribution d'électricité et de gaz, pour offrir une vision globale de la distribution, grâce à un guichet unique et gratuit de la donnée. La plateforme d'Open Data Réseaux Énergies (ODRÉ) met à disposition des parties prenantes des données liées aux thématiques « Production », « Consommation » multi-énergies (gaz et électricité), « Stockage », « Mobilité », « Territoires et Régions », « Infrastructures », « Marchés » et « Météorologie », fruits de l'expertise et du savoir-faire conjoints de GRTgaz, RTE et Teréga, membres fondateurs de Réseaux Énergies. Ils ont depuis été rejoints par l'AFGNV, Weathernews France, Elengy, Storengy et Dunkerque LNG.
- **Mutualiser les plateformes de données et éviter les redondances** est aussi un enjeu important. RTE a supprimé sa propre plateforme open data pour basculer entièrement vers ODRÉ et éviter ainsi d'avoir des jeux de données en double. Un regroupement des plateformes ORE et ODRE permettrait dans cette même logique de supprimer d'autres doublons.
- **L'Open Subsurface Data Universe (OSDU™) développe une plateforme data open source**, standardisée et agnostique aux technologies afin de stimuler l'innovation, industrialiser le data management et réduire le time to market des nouvelles applications des données énergétiques. Au-delà de l'Open Data, OSDU™ permet aux développeurs de développer des applications directement sur la plateforme, bénéficiant ainsi des données disponibles mais aussi des capacités de traitement accrues.
- **L'émergence des plateformes énergétiques mutualisées dépendra fortement de la capacité des États à développer des clouds de confiance** pour tirer parti des performances des services clouds internationaux (principalement américains) tout en protégeant les données de leur territoire en palliant l'absence de réglementation internationale. Certaines données énergétiques étant considérées comme des données personnelles en France, des initiatives ont démarré récemment avec notamment Bleu (Orange, Capgemini et Microsoft) ainsi que S3NS (Thales et Google) pour déployer des clouds de confiance, base nécessaire au déploiement des plateformes mutualisées de données énergétiques.
- **Le programme Flexgrid a achevé en 2021 l'expérimentation d'une « Plateforme de données énergies » mutualisée** ayant pour objectifs (1) une expérimentation de gouvernance partagée et de valorisation des données des Réseaux Énergétiques Intelligents, (2) une plateforme numérique de données territoriales, (3) le développement d'activités d'Opérateurs de Services *Smart Grids*. Ces travaux ont conduit à la mise à disposition d'un démonstrateur technologique disponible en ligne. Deux cas d'usages sont en cours de finalisation (le tableau de bord énergétique territorial et la recharge intelligente). Les prochains cas d'usage seront identifiés et validés par le comité de pilotage comprenant la Région Sud, Orange, Capenergies et des partenaires comme Enedis et RTE.



AXE 4 : Logiciel

La conception logicielle joue également un rôle important dans la sobriété numérique. **Veiller à une conception au plus proche des usages, optimisée et maintenable permet des économies d'énergie et de matériel.** Cet axe présente une certaine complexité car il est au carrefour de plusieurs disciplines qui sont autant de champs d'investigation (gestion des exigences, mutualisation et rationalisation fonctionnelle et matérielle, algorithmie, standards et technologies de développement...)

La manière dont on développe un algorithme peut par exemple avoir un impact très important sur sa rapidité à traiter des volumes importants de données et sa consommation d'énergie.

Mais avant même la performance algorithmique, la manière dont on définit les besoins et exigences, et donc **le périmètre fonctionnel d'une application**, modifie l'impact environnemental des solutions logicielles. Considérons par exemple une application disposant de 10 fonctionnalités. Deux sont utilisées régulièrement, trois le sont occasionnellement et cinq, jamais. Même si cinq fonctionnalités ne sont jamais utilisées, elles ont un poids numérique, car elles doivent être développées, intégrées, testées et déployées au même titre que les cinq autres. Pour autant, elles ne présentent aucun intérêt pour l'utilisateur final et ne créent donc aucune valeur.

Ce soin porté à la conception logicielle, appelé « Écoconception logicielle », est devenu particulièrement important avec l'avènement de l'intelligence artificielle et des jumeaux numériques, particulièrement consommateurs de capacité de calcul et de données. L'enjeu est également celui des compétences et d'**apporter un conseil approprié aux développeurs** sur la conception de logiciels éco-codés et l'évaluation de l'impact environnemental de leurs développements.



AXE 4 : Illustrations

- **L'INRIA de Lille a mis au point l'outil « Power API »** qui permet de mesurer la consommation énergétique d'un processus système sans avoir à utiliser d'outils de mesure de consommation (wattmètre ou autres). Cela permet aux concepteurs de mesurer finement la consommation en ressources des logiciels développés. L'utilisation de cette solution va dans le sens d'une démarche globale d'éco-conception des logiciels. De manière analogue, des **bibliothèques logicielles émergent pour évaluer la consommation d'énergie des programmes** et leur impact carbone. On peut notamment citer les librairies Python « Carbontracker » et « Code Carbon » pour les algorithmes d'IA.
- L'utilisation des algorithmes d'Intelligence artificielle pour la conduite et la maintenance des réseaux intelligents se développe fortement. Le développement de l'IA soulève ainsi de sérieuses inquiétudes tant la quantité d'énergie et de ressources nécessaires à la formation des modèles, à la collecte des données et à l'entraînement de ces algorithmes est importante. En réaction, **les initiatives se multiplient pour donner corps au concept d'« IA green »**. Dans un article intitulé « Consommation énergétique de l'utilisation de l'IA », le CNRS indique que les émissions liées à l'entraînement de réseaux de neurones s'échelonnent de 18kg eqCO₂ à 284T eqCO₂. Pour un modèle courant, sans paramétrage spécifique, ce chiffre atteint même jusqu'à 652kg eqCO₂, soit l'équivalent d'un aller-retour en avion entre Paris et le pôle Nord. Comme pour les autres disciplines de l'informatique verte, le développement d'une Green AI repose sur une combinaison de bonnes pratiques et d'outils pour mesurer les résultats et impacts. Un premier levier consiste à **favoriser la réutilisation et la reproductibilité des algorithmes d'IA, avec notamment les IA pré-entraînées**, servant de base à d'autres algorithmes. **Le partage open-source des algorithmes d'IA** est aussi fondamental pour que les acteurs puissent focaliser les efforts sur l'optimisation des algorithmes et non pas repartir de zéro avec des cycles d'essais-erreur à l'impact carbone important.
- **L'AFNOR publie périodiquement un recueil de bonnes pratiques⁸** visant à fournir des lignes directrices et des recommandations concrètes à toutes les organisations, publiques comme privées, dans cette démarche d'écoconception des services numériques. Ses préconisations concernent l'intégralité du cycle de vie logiciel (expression, définition et hiérarchisation des besoins, conception, réalisation, utilisation et exploitation, maintenance, décommissionnement).

8. AFNOR SPEC 2201, Écoconception des services numériques.



AXE 5 : Cas d'usage

Il s'agit ici d'éviter l'inflation des cas d'usage de données énergétiques en priorisant ceux susceptibles de réellement créer de la valeur et en se posant la question du **rapport impact numérique/bénéfices de l'implémentation d'un cas d'usage**. Pour cela, il est essentiel qu'une politique de sobriété numérique soit déployée de manière cohérente et harmonisée entre toutes les directions et entités d'un groupe, avec une volonté de sélectionner les cas d'usage réellement pertinents et d'éviter qu'un même cas d'usage ne soit répliqué plusieurs fois par différentes entités.

Par ailleurs, comme le rappelle le Shift Project dans son rapport «Déployer la Sobriété numérique», les *Smart Grids* sont aujourd'hui partie intégrante d'un véritable « système numérique » et leur déploiement doit tenir compte de l'ensemble des externalités qu'ils peuvent générer : leur consommation globale d'énergie et de ressources, leurs apports véritables par rapport à des technologies non-connectées et les effets indirects de leur déploiement (besoin de maintenance, appel de nouvelles infrastructures, etc.). Plus généralement, il s'agit de se demander si une approche moins coûteuse en énergie et en ressources pourrait apporter les mêmes bénéfices.



AXE 5 : Illustrations

- **La Commission de régulation de l'énergie (CRE) accompagne et encourage l'évolution des réseaux d'électricité et de gaz naturel vers des réseaux intelligents.** Afin d'évaluer la pertinence des cas d'usage *smart grids*, la CRE observe et accompagne de nombreuses expérimentations menées par les acteurs du secteur. De nombreuses expérimentations, dites démonstrateurs, ont ainsi vu le jour, pour un budget estimé à plus de 600 M€ sur les 10 dernières années, afin de tester et démontrer la pertinence et la viabilité de solutions innovantes avant d'envisager les passages à l'échelle. Embarquer la dimension des impacts numériques dans ces expérimentations et futurs démonstrateurs renforcerait la qualité de l'évaluation.
- **Le think tank The Shift Project a développé le modèle STERM (Smart Technologies Energy Relevance Model) qui permet d'évaluer la pertinence énergétique de solutions connectées en fonction des cas d'usage** (par exemple, l'éclairage connecté pour des bâtiments tertiaires vs pour des logements). Ce modèle implémenté sous Python, avec un code libre d'accès, a vocation à être repris par les acteurs privés et publics pour mettre au point de véritables outils opérationnels, adaptés à leurs prises de décision. Le think tank propose aussi de développer des outils pour évaluer la « pertinence énergétique » des cas d'usage, en quantifiant la diminution ou l'accroissement nets de la consommation d'énergie suite à l'introduction d'une couche connectée (en tenant compte du coût énergétique de la phase de production et de la consommation du matériel connecté en fonctionnement).
- **Le 3^e volet de l'étude ARCEP-ADEME sur l'impact environnemental du numérique en France, publié en mars 2023, place la sobriété numérique comme l'un des principaux leviers d'action**, « qui commence par une interrogation sur l'ampleur du développement de nouveaux produits ou services numériques et une réduction ou stabilisation du nombre d'équipements ». Ainsi, le scénario « Pari réparateur » de l'ADEME, qui maximise l'utilisation du numérique pour la décarbonation d'autres secteurs, multiplie par cinq l'empreinte carbone du numérique et fait plus que doubler la consommation de matières (minéraux, métaux...) par rapport à 2020, ce qui « questionne sa soutenabilité »⁹. L'ADEME et l'ARCEP appellent à systématiser l'écoconception des terminaux et infrastructures aussi bien que des services numériques en eux-mêmes, à développer le reconditionnement et la réparation des équipements, et enfin à sensibiliser les utilisateurs finaux.

9. ADEME, ARCEP, Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France, 3e volet.



AXE 6 : Gouvernance

L'intégration des enjeux de sobriété numérique dans la gouvernance du secteur contribuerait aussi à leur prise en compte dans les politiques générales au niveau national, européen et international.

Cette gouvernance regroupe l'ensemble des acteurs étatiques (ministères, autorités de tutelle...) mais également l'ensemble des associations et organisations professionnelles (think tanks, syndicats sectoriels, associations...).

Cet axe inclut également toutes les initiatives visant à inciter le consommateur à réduire sa consommation énergétique et éviter l'effet rebond dans les cas d'usages déployés.



AXE 6 : Illustrations

- La Commission européenne a décidé dans le cadre de son plan d'action « Digitalising the energy system » le lancement d'un « **European Energy Data Space** » pour assurer la **gouvernance du partage et de l'utilisation des données de l'énergie** dont la phase préparatoire devrait être achevée en 2024. Un groupe « Data for Energy » associant États membres et parties prenantes privées et publiques devrait voir le jour en 2023 pour contribuer à l'élaboration de ce nouveau cadre européen de partage des données de l'énergie. L'objectif est le développement d'un portefeuille de use cases européens de haut niveau pour les échanges de données qui concerneront (1) les services de flexibilité pour les marchés et réseaux de l'énergie, (2) la recharge intelligente et bidirectionnelle des véhicules électriques, (3) les bâtiments intelligents et économes en énergie. Ce plan d'actions comportera également un appui aux gestionnaires de réseaux pour créer des jumeaux numériques du réseau d'électricité.
 - **L'Institut du numérique responsable (INR)** est une association française créée en 2018 et regroupant des entreprises et des organisations qui partagent et promeuvent des expériences pour un numérique respectueux de l'environnement, inclusif, solidaire et éthique. Cet institut a publié une charte du numérique responsable. Cette charte résume les engagements en termes de numérique pris par le signataire, qu'il soit une entreprise, une association, une TPE/PME ou un acteur public, et s'articule autour de 5 axes principaux :
 - L'optimisation des outils numériques pour limiter leurs impacts et consommations.
 - Le développement des offres de services accessibles pour tous, inclusives et durables.
 - Un engagement pour des pratiques numériques éthiques et responsables.
 - Un engagement pour rendre le numérique mesurable, transparent et lisible.
 - Un engagement pour favoriser l'émergence de nouveaux comportements et valeurs.
- En 2021, l'institut du numérique responsable a également construit, en partenariat avec le Ministère de la Transition Écologique, l'ADEME et le WWF, **le référentiel du label Numérique Responsable**. Ce dernier s'appuie sur 4 axes et 14 principes d'action du Label Numérique Responsable. Le premier axe concerne la Stratégie et Gouvernance et comprend 3 sous-axes : intégrer la stratégie numérique responsable (NR) dans la stratégie de l'organisation, formaliser sa politique NR et déployer sa politique NR.
- **Le Ministère de la Transition écologique** considère que « l'impact environnemental du numérique fait l'objet d'une prise de conscience sociétale forte qui appelle des réponses politiques », ajoutant que « les transitions numérique et écologique... sont indissociables » et doivent « converger pour promouvoir un progrès maîtrisé et au service d'une modernité respectueuse de l'environnement. »¹⁰ Dans cette optique, plusieurs actions et dispositifs ont déjà été déployés par les pouvoirs publics. Outre la loi Anti-Gaspillage et Économie circulaire, centrée sur la lutte contre l'obsolescence logicielle et le rallongement de la durée de vie des équipements, une feuille de route gouvernementale « numérique et environnement » a formalisé certaines des propositions issues de la Convention citoyenne pour le Climat. Ces travaux ont conduit à l'adoption le 15 novembre 2021 de la loi visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique, ou « loi REEN ».

10. <https://www.ecologie.gouv.fr/numerique-responsable>



AXE 7 : Normalisation et interopérabilité

Le dernier axe de « sobriété » exploré avec les participants à l'étude est celui de la normalisation des données et de l'interopérabilité. **La normalisation des données et métadonnées diminue en effet les traitements spécifiques et permet donc d'en mutualiser une partie**, en encourageant l'innovation croisée. Elle ouvre également la porte à la mise en commun de données multi-sources. Enfin, elle est la base de l'interopérabilité des différents composants des *smart grids*.

Par ailleurs, une base de données normalisée permet d'optimiser le stockage, l'accès et la manipulation de ces données, offrant des gains en termes d'espace et d'énergie. L'interopérabilité permet également de lutter contre l'obsolescence technologique, ce qui maximise les investissements matériels et réduit les risques cyber.



AXE 7 : Illustrations

- **Le projet Interconnect expérimente à l'échelle européenne l'inter-opérabilité entre les *Smart Grids* et les *Smart Buildings*.** Dans ce cadre, plusieurs cas d'usages sont testés et mettent en œuvre des normes ou standards de communication comme l'OpenADR 2.0 qui fournit une interface « Demande Response » ouverte, libre, standardisée et sécurisée permettant aux fournisseurs d'électricité de communiquer les signaux aux consommateurs en utilisant un langage commun à travers internet, ou l'OCPP V2.0, protocole de communication V2G.
- **Le NIST (National Institute of Standards and Technology) met à jour régulièrement son framework des standards d'interopérabilité pour les *Smart Grids*.** La dernière version de ce Framework intègre la maîtrise des impacts environnementaux dans les objectifs affichés de la normalisation. Parmi les principaux enjeux des *Smart Grids* mis en évidence par le NIST, on trouve l'interopérabilité

des capteurs intelligents qui est essentielle pour permettre la communication des capteurs entre eux et avec le reste du réseau. Sur ce sujet, le NIST a récemment publié une méthodologie permettant de mesurer et d'évaluer le niveau d'interopérabilité des capteurs intelligents. Cette méthodologie permet d'identifier et d'évaluer les problèmes d'interopérabilité entre les capteurs et de les résoudre afin d'optimiser la communication des capteurs sur le réseau. En plus de faciliter les échanges sur le réseau, le NIST souligne que l'optimisation des flux de données rendue possible grâce à l'interopérabilité est essentielle pour limiter les risques en matière de cybersécurité.

LES TROIS AXES PRIORITAIRES POUR LES ENTREPRISES INTERROGÉES :

- ➔ Les usages
- ➔ Le matériel
- ➔ La normalisation / standardisation

DÉPLOYER LA SOBRIÉTÉ NUMÉRIQUE DANS LE SECTEUR DES SMART GRIDS : DÉFIS ET ENJEUX

LES FREINS À LEVER

Bien que les acteurs des *Smart Grids* prennent déjà en compte la notion de sobriété numérique dans leurs activités, il reste plusieurs freins à lever pour que la sobriété numérique soit pleinement intégrée par l'ensemble des acteurs.

Un des principaux freins est le manque de métriques et de mesures globales sur les volumes de données échangées, traitées et stockées par les *smart grids*. La connaissance de ces volumétries est essentielle pour être comparée aux gains énergétiques rendus possibles par la numérisation des réseaux. Elle permettrait également d'enclencher une prise de conscience de l'impact environnemental de cette numérisation qui n'est pas évidente aujourd'hui car elle n'est pas quantifiée.

« Il serait intéressant d'avoir en tête des ordres de grandeur sur l'impact énergétique pour savoir où agir, mais aujourd'hui on ne les a pas. »

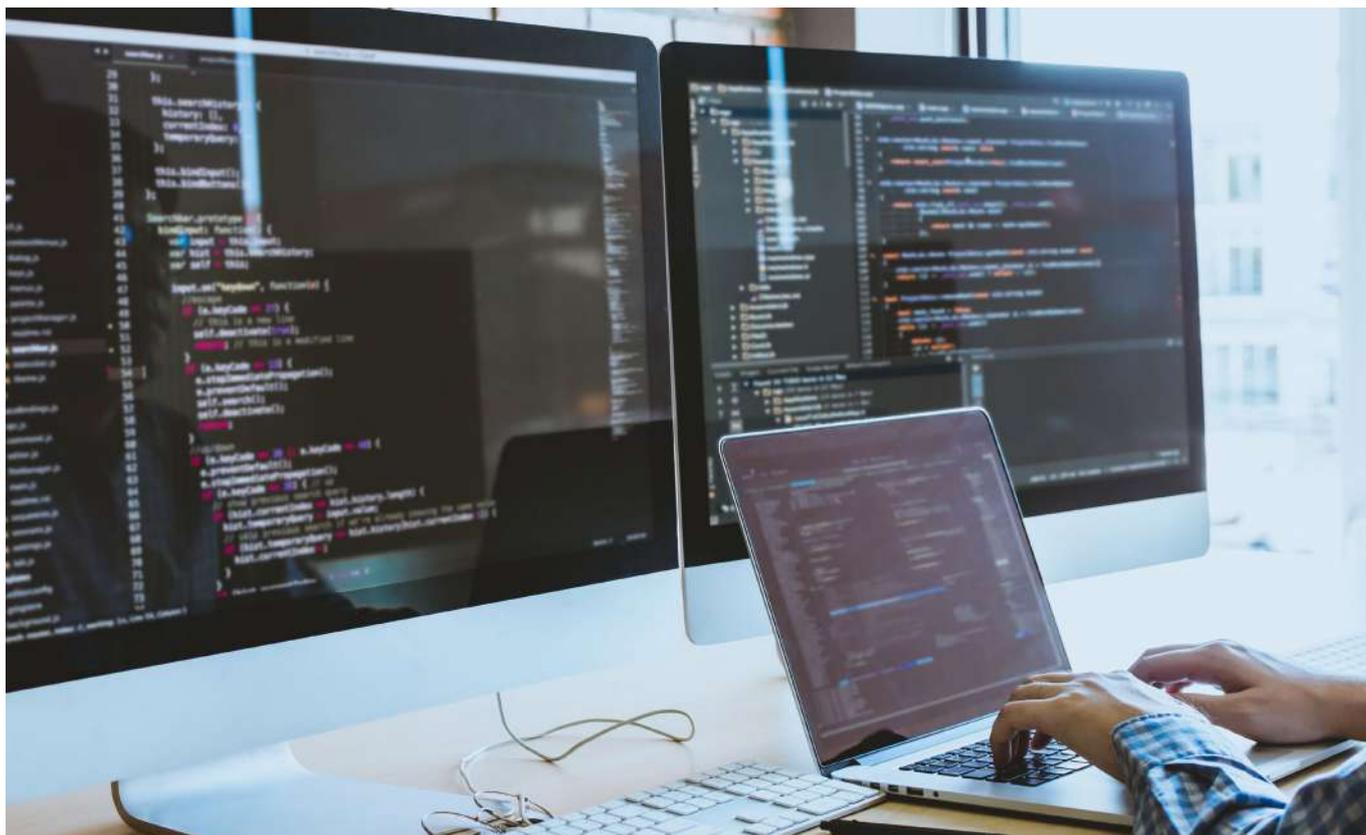
Hyperscaler

Les acteurs des *smart grids* doivent également intégrer d'autres critères essentiels en plus de l'impact environnemental, notamment des contraintes liées aux coûts et à la cybersécurité. Par ailleurs, certains nouveaux acteurs sont plus dans une logique de collecte massive de données pour apprendre et perfectionner leurs modèles avant d'introduire la notion de sobriété numérique qui limiterait les volumes de données traitées.

« Il y a un effort important de pédagogie et de changement de pratique des acteurs vis à vis du numérique. Il y a en effet un réel besoin de prise de conscience de l'impact environnemental du traitement, des échanges et du stockage des données. Le scope 4 (tonnes de carbones évitées) est une méthodologie qui peut être utilisée pour bien considérer les bénéfices du numérique, à comparer avec l'impact carbone du numérique du fait des infrastructures et terminaux. »

ABB France

Enfin, les contraintes réglementaires sont assez légères aujourd'hui, même si elles sont amenées à se renforcer. Il n'existe le plus souvent que des incitations, ou du partage de bonnes pratiques et de recommandations, mais sans obligation ni sanction spécifique pour contraindre les entreprises à déployer la sobriété numérique dans leurs activités.



LES ENJEUX BUSINESS

« La sobriété est un «Nice to have» pour nos clients pour le moment mais elle devient de plus en plus importante. »

Quantmetry

Les critères de performance énergétique des solutions et logiciels proposés dans le cadre des *smart grids* prennent de l'importance aux yeux des clients. Ainsi, l'engagement pour la sobriété numérique devient un véritable levier marketing pour les acteurs des *smart grids* qu'ils soient équipementiers, développeurs de logiciels ou de solutions digitales. Les critères de performance énergétique sont également nécessaires pour répondre aux appels d'offres sur certains marchés et cela tend à se généraliser.

« Il n'y a plus aucun appel d'offres dans le digital qui n'intègre des critères sur l'impact environnemental des solutions et services, ainsi que sur les stratégies des entreprises pour réduire leur empreinte environnementale. Cela concerne aussi les dimensions IT, Cloud et gestion de la donnée, qui nécessitent une démarche de sobriété pour soutenir la performance commerciale. »

ORANGE

POUR CONCLURE

Rétrospectivement, l'élaboration de ce livre blanc nous a permis de constater, grâce à la variété des participants et de leurs prismes, une prise de conscience généralisée, mais également des engagements très spécifiques pour répondre aux enjeux de la sobriété numérique des réseaux électriques intelligents.

Même si des mesures consolidées de l'empreinte carbone des cas d'usage *smart grids* n'existent pas à ce jour, les participants à l'étude sont unanimes : au regard du rôle des *smart grids* dans la transition énergétique, la sobriété numérique ne doit pas être un argument pour s'opposer à la digitalisation des réseaux.

Tout d'abord, les bénéfices en termes de conduite, d'exploitation et de planification du réseau sont un facteur de résilience et de performance de l'approvisionnement électrique local et mondial. Par ailleurs, les données énergétiques sont la base même de l'estimation des bénéfices de nombreux cas d'usage de la transition écologique. Il est impossible de pouvoir développer des stratégies pertinentes sur ces enjeux sans pouvoir s'appuyer sur des données vérifiables et en quantité suffisante.

Les acteurs interrogés sont par ailleurs tous d'accord pour affirmer que la sobriété numérique est amenée à devenir sous peu un enjeu de premier plan pour tous les acteurs du secteur, et ce pour trois raisons : (1) la nécessité de réduire drastiquement nos consommations d'énergie, que ce soit en raison du coût croissant de l'énergie ou pour atteindre nos objectifs climatiques, (2) la raréfaction des matériaux nécessaires à la fabrication des équipements et infrastructures numériques, (3) la multiplication exponentielle des données et des métadonnées.

Il émerge donc cette notion positive et non restrictive de « bon sens » numérique. Cette approche, qui n'est pas spécifique aux *smart grids*, consiste à rechercher autant que possible la minimisation des impacts environnementaux du numérique sans renoncer aux bénéfices recherchés par les cas d'usage data. Une telle démarche suppose néanmoins des évolutions importantes dans les pratiques et l'organisation des entreprises afin de « faire plus avec moins », sans freiner la capacité d'innovation. Plusieurs des acteurs des *smart grids* interrogés ont cependant déjà pleinement intégré la sobriété numérique au business model de leurs projets.

Si ce livre blanc ne peut apporter une vision systémique globale de la sobriété numérique appliquée aux réseaux électriques intelligents, il montre l'importance d'une action collective et coordonnée à l'échelle du secteur, localement comme aux niveaux national et européen pour :

- Mettre en œuvre un cadre commun de mesure de l'impact numérique (y compris matériel) des *Smart Grids* à l'échelle globale ;
- Intégrer sans attendre l'impact numérique dans l'évaluation individuelle de la pertinence des cas d'usage *Smart Grids*.

Cette démarche irait d'ailleurs dans le sens des initiatives prises par la Commission européenne dans le cadre du plan d'action « Digitalising the energy system » qui prévoit entre autres le lancement d'un chantier sur la maîtrise de l'empreinte environnementale des TIC.

Cet engagement du secteur dans la sobriété numérique est fondamental, alors que les *smart grids* sont une des briques essentielles de la transition énergétique et pour l'atteinte de nos objectifs climatiques.

ANNEXE

GLOSSAIRE DES CONCEPTS CLÉS

Architecture technique	En informatique, l'architecture décrit l'organisation, l'interaction et l'interdépendance des différents éléments du système visant à garantir la satisfaction de toutes les exigences liées à ce système.
Durabilité	Désigne ici la capacité d'un produit à rester fonctionnel, sans nécessiter de maintenance ou de réparation excessive.
Eco-conception	Prise en compte et réduction des impacts environnementaux dès la conception des produits et services.
Edge Computing (informatique en périphérie de réseau)	Cette méthode d'optimisation du traitement des données consiste à traiter l'information au plus près de sa source d'émission, sans utilisation du cloud (serveurs informatiques à distance et hébergés sur internet). Elle permet un temps de latence quasi inexistant entre l'émission et le traitement de la donnée, moins de données privées remontées, l'utilisation de ressources du réseau jusqu'alors sous-exploitées, ou encore le développement de nouveaux services grâce au pseudo-temps réel du traitement des données.
Interopérabilité des données	Capacité d'un système informatique à fonctionner avec d'autres produits ou systèmes informatiques, existants ou futurs, sans restriction d'accès ou de mise en œuvre grâce à des règles de cohérence.
IoT (ou « Internet des objets »)	Réseau de terminaux physiques qui intègrent des capteurs, softwares et autres technologies pour les connecter à d'autres terminaux et systèmes sur Internet et échanger des données avec eux.
Numérique responsable	Démarche d'amélioration continue des dimensions environnementales et sociales du numérique.
Open Data (ou données ouvertes)	Données numériques accessibles à tous gratuitement et libre de droit. Cette démarche vise à rendre les données publiques accessibles et utilisables par tous pour enrichir les connaissances et innovations.
Sécurité d'approvisionnement	Capacité des systèmes électrique et gazier à satisfaire de manière continue la demande du marché. Elle implique notamment de renforcer les critères de sûreté du système énergétique et la diversification des moyens de production ou des sources d'approvisionnement d'énergie, pour se prémunir des risques systémiques.
Smart Grid (ou « réseau intelligent »)	Réseau d'énergie qui intègre des technologies numériques pour améliorer son exploitation et son pilotage afin de permettre le développement de nouveaux modes de production et consommation (énergies renouvelables intermittentes, autoconsommation, véhicule électrique, stockage...).
Sobriété numérique	Démarche consistant à concevoir des services numériques plus économes en ressources et à en modérer les usages afin de minimiser leur impact environnemental. Elle englobe par exemple l'efficacité énergétique, l'écoconception, la mutualisation et l'optimisation de l'usage des ressources existantes, le réemploi et le recyclage du matériel, etc. La sobriété numérique se distingue d'une démarche de frugalité qui consiste à ne développer que ce qui est nécessaire, en réinterrogeant l'utilité d'un produit ou service pour ne conserver que l'essentiel, indépendamment de l'efficacité technique des outils.

PRÉSENTATION DES ENTREPRISES INTERROGÉES

	<p>ABB propose des solutions dans les domaines de l'électrification et de l'automatisation en mobilisant son savoir-faire logiciel et dans l'ingénierie.</p>
	<p>La Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) est l'autorité administrative indépendante chargée de la régulation du réseau et des marchés de l'électricité et de gaz en France. Elle est notamment en charge du suivi de la bonne gestion des réseaux énergétiques en tant que monopoles naturels.</p>
	<p>Enedis est le principal gestionnaire du réseau public de distribution d'électricité en France. L'entreprise développe, exploite et entretient le réseau basse et moyenne tension sur 95% du territoire national.</p>
	<p>Entech développe et met en service des installations de stockage et de conversion d'énergie ainsi que des centrales photovoltaïques.</p>
	<p>Energy Pool conçoit et fournit des solutions pour une énergie flexible et durable. Fondée en 2009, en faisant le premier agrégateur de flexibilités français, elle est présente principalement en Europe, en Asie, au Moyen-Orient et en Afrique.</p>
	<p>L'Institut du Numérique Responsable est une association visant à réduire l'impact environnemental du numérique et à favoriser l'inclusion via celui-ci.</p>
	<p>Itron est un équipementier spécialisé dans les solutions de mesure et de comptage.</p>
	<p>Orange est un groupe français des télécommunications présent dans 26 pays à travers le monde. Sa raison d'être est de donner à chacune et à chacun les clés d'un monde numérique responsable.</p>
	<p>Quantmetry est un cabinet de conseil pure player spécialisé dans l'IA. L'entreprise travaille notamment sur la question de la confiance pouvant être accordée à l'IA.</p>
	<p>RTE est le gestionnaire du réseau de transport d'électricité en France et assure l'équilibre du système électrique. L'entreprise développe, entretient et exploite ce réseau.</p>

REMERCIEMENTS

Ce livre blanc est issu d'un travail collaboratif mené par la Commission Digitalisation de Think Smartgrids. L'association remercie toutes les personnes ayant répondu favorablement à nos sollicitations : celles mentionnées dans la partie sur les leviers d'action, ainsi que Julie RUDOWICZ, Thierry BARA et Etienne TOURTE (Enedis), Jean-Christophe CHAUSSAT (INR), Sacha HODENCQ (Grenoble INP) et Judith GUENOUN (Quantmetry). Think Smartgrids remercie aussi tout particulièrement pour leur contribution et/ou relecture Ali ZLAOUI, Aubérie LEFRANÇOIS et Delphine COLLARD (Colombus Consulting), Antoine DESBORDES (CRE) et Aymeric LAURENCIC (Sopra Steria Next).

L'ASSOCIATION THINK SMARTGRIDS

Présidée par Marianne Laigneau, présidente du directoire d'Enedis, l'association fédère et développe la filière française des *smart grids*. Elle rassemble une centaine d'acteurs français, des startups aux grands groupes, en passant par les laboratoires de recherche, universités, pôles de compétitivité et associations. Les activités de ses membres couvrent l'ensemble de la chaîne de valeur des *smart grids* : opérateurs de réseaux, ingénierie électronique, automatisation, équipements et systèmes d'information, services numériques, formation, étude et conseil, recherche et régulation. La Commission de Régulation de l'Énergie et l'État, à travers la Direction des Entreprises et la Direction Générale de l'Énergie et du Climat, sont membres observateurs de l'association.

Think Smartgrids a pour vocation de représenter et de développer la filière française des *smart grids*, au bénéfice du consommateur, de l'attractivité des territoires et de la transition énergétique. L'association valorise les solutions de la filière *smart grids* qui contribuent à la sobriété, à la sécurité d'approvisionnement et à la compétitivité du système électrique. Think Smartgrids éclaire également la filière sur les solutions à expérimenter pour demain.

La présente étude a été menée dans le cadre de la Commission Digitalisation de l'association et pilotée par Columbus Consulting.



Think Smartgrids – Tél : +33 1 42 06 52 50 – contact@thinksmartgrids.fr.
www.thinksmartgrids.fr - @ThinkSmartgrids