



Association Événement OSE

La place du numérique dans la transition énergétique

Association Événement OSE, *La place du numérique dans la transition énergétique*, Paris: Presses des Mines, collection Énergie et développement durable, 2023.

© Presses des MINES - TRANSVALOR, 2020
60, boulevard Saint-Michel - 75272 Paris Cedex 06 - France
presses@mines-paristech.fr
www.pressesdesmines.com

ISBN: 978-2-38542-195-3
Dépôt légal: 2023
Achévé d'imprimer en 2023 (Paris)

Cette publication a bénéficié du soutien de l'Institut Carnot M.I.N.E.S.
Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et d'exécution réservés pour tous les pays.

La place du numérique dans la transition énergétique

Collection Énergie et développement durable

Mélanie Douziech, *L'empreinte chimique*

Renaud Gicquel, *Systèmes énergétiques (t. 3). Cycles avancés, systèmes innovants à faible impact environnemental*

Renaud Gicquel, *Systèmes énergétiques (t. 2). Applications « classiques »*

Renaud Gicquel, *Systèmes énergétiques (t. 1). Initiation à la discipline, méthodes et outils*

Association Événement OSE, *Le Rôle du Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS) dans la transition énergétique*

Julien Garcia, Tatiana Reyes, Stéphane Le Pochat, Louis Dupuy, et Anne-Laure Capomaccio, *Monétarisation. Quels enjeux pour l'écoconception ? EcoSD annual workshop 2019*

Marilys Pradel, Guillaume Busato et Stéphanie Muller, *Mineral resources in Life Cycle Assessment*

Gilles Guerassimoff, Laura Sobra (Coord.), *Mobilité durable et énergie : comment les concilier ?*

Congrès OSE, *Quels vecteurs énergétiques pour une mobilité décarbonée ?*

Ankinée Kirakozian et Gilles Guerassimoff, *Transition énergétique : les déchets ne sont pas en reste. Concept, applications et enjeux de la valorisation énergétique des déchets*

Congrès OSE, *Valorisation énergétique des déchets. Leur place dans la transition énergétique.*

Lucie Domingo, Maud Rio et Xavier Durieux, *How eco-design of products and services can embrace the use phase*

Gilles Guerassimoff, *Microgrids : pourquoi, pour qui ?*

Junqua Guillaume, Brulot Sabrina, *Écologie industrielle et territoriale*

Anne Ventura, *Challenges of functionality for eco-design*

François Cluzel, Benjamin Tyl et Flore Vallet, *The challenges of eco-innovation*

Bernard Bourges, Thomas Gourdon et Jean-Sébastien Broc, *Empreinte carbone : évaluer et agir*

Frédéry Lavoye, Frédéric Boeuf et Françoise Thellier, *Qualité des ambiances dans les bâtiments. Le confort thermique de L'Habitant*

Nadia Maïzi, *Changer d'échelle pour les négociations climatiques. Huit initiatives régionales, sectorielles et citoyennes*

Bruno Duplessis et Haïtham Joumni, *Économie et développement urbain durable 3*

Ville et logement, modèles et outils pour les politiques énergétiques

OSE Association Événement, *Les nouvelles filières gazières dans le mix énergétique de demain*

Isabelle Blanc, *EcoSD Annual Workshop*

Association Événement OSE, *Énergie, citoyens et ville durable*

Labaronne Daniel, *Villes portuaires au Maghreb*

Emmanuel Garbolino, *Les bio-indicateurs du climat*

Bruno Peuportier (dir.), *Eco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures*

Bruno Peuportier (dir.), *Livre blanc sur les recherches en énergétique des bâtiments*

Association Événement OSE, *Smart grids et stockage*

Gilles Guerassimoff, Nadia Maïzi (Dir.), *Smart grids. Au-delà du concept comment rendre les réseaux plus intelligents*

François Mirabel, *La Déréglementation des marchés de l'électricité et du gaz*

Fabrice Flipo, François Deltour, Michelle Dobré, Marion Michot, *Peut-on croire aux TIC vertes ?*

Benjamin Israël, *Quel avenir pour l'industrie dans les places portuaires ?*

Association Événement OSE

La place du numérique dans la transition énergétique

Congrès organisé par les étudiants du mastère spécialisé
OSE (Optimisation des Systèmes Énergétiques)

École nationale supérieure des Mines de Paris
Sophia Antipolis, le 29 septembre 2022

Table des matières

THÈME 1 - VERS UNE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE NUMÉRIQUE ET MODERNE	9
Digitalisation, énergie et changements climatiques	11
<i>George KAMIYA</i>	
Le numérique et l'énergie sous l'angle de la prospective à l'échelle de la France : un focus sur les <i>data centers</i>	23
<i>Bruno LAFITTE</i>	
Les défis intriqués de l'énergie et de la digitalisation	29
<i>Vincent MAZAURIC, Ana DAVID</i>	
Optimiser le monde d'aujourd'hui, décarboner le monde de demain	39
<i>Thibault GENTIL</i>	
 PREMIÈRE TABLE RONDE : QUELS IMPACTS/APPORTS DU NUMÉRIQUE, COMMENT LES QUANTIFIER, QUELLES MÉTHODES, QUELS MODÈLES ?	45
<i>Bruno FOUCRAS, Bruno LAFITTE, Victor ARVIDSSON</i>	
 THÈME 2 - LES TECHNOLOGIES AU SERVICE DE LA TRANSITION	61
Les défis des <i>data centers</i> pour le climat et l'environnement	63
<i>Olivier de NOMAZY</i>	
DEEPKI : massifier l'efficacité énergétique grâce au numérique	69
<i>Thimothée THIERY</i>	
Traitement de données massives pour le réseau de distribution	75
<i>Odilon FAIVRE</i>	
Le numérique au service de la transition des réseaux de gaz	81
<i>Carole BARON</i>	
 SECONDE TABLE RONDE : LE RÔLE DE LA DATA DANS LA GESTION D'ACTIFS RENOUVELABLES	89
<i>Andrea MICHIORRI, Côme GENDRON</i>	

THÈME 3 - OPPORTUNITÉS, RISQUES ET CONSÉQUENCES	99
Matériaux et métaux de la transition : leviers ou limites?	101
<i>Emmanuel HACHE</i>	
Réflexion stratégique et prospective sur le numérique et la transition énergétique	109
<i>Philippe MUTRICY</i>	
CLÔTURE DU CONGRÈS	117
NOS PARTENAIRES	119

THÈME 1

**VERS UNE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE
NUMÉRIQUE ET MODERNE**

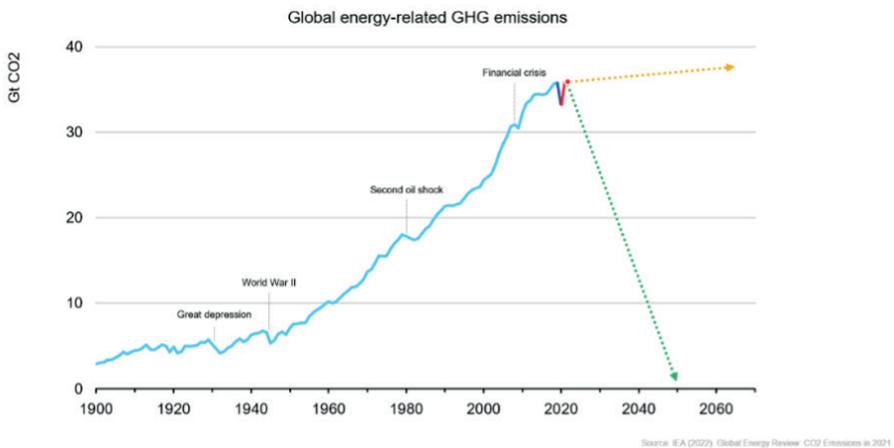
Digitalisation, énergie et changements climatiques

George KAMIYA
Energy Policy Analyst, AIE

Intervention traduite de l'anglais

Je vais tenter de vous donner un aperçu global des nouvelles réponses et de la relation complexe qui s'établit entre les technologies numériques, l'énergie et le changement climatique, pour ensuite mettre en avant les opportunités et les efforts qui vont se présenter aux décideurs et aux entreprises technologiques afin de parvenir à l'objectif du Net Zéro.

Pour commencer par un peu de contexte et d'histoire, les émissions de gaz à effet de serre liées à l'énergie n'ont évidemment pas cessé d'augmenter durant les dernières décennies, même si en 2020 elles ont chuté de 5% du fait du Covid-19. Nous avons avec d'autres organisations plaidé pour que soient mis en place des investissements et des politiques en faveur des technologies propres pour s'assurer d'un redressement durable, mais malheureusement nos dernières données montrent qu'en 2021 les émissions ont augmenté de 6%.

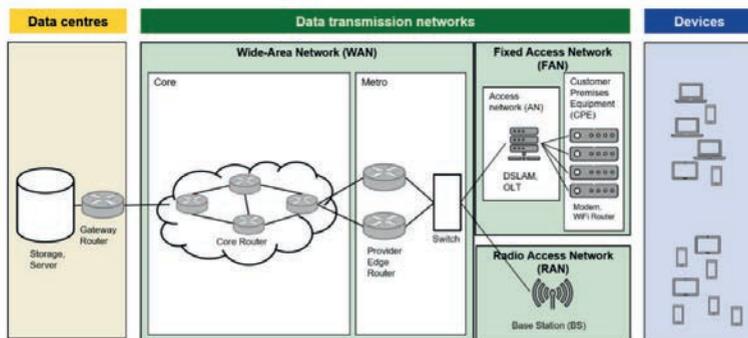


Nous devons pourtant atteindre le Net Zéro en 2050, ce qui implique un changement très rapide en matière d'émissions, ce qui ne pourra pas se faire

uniquement *via* la réduction des activités. Nous avons besoin de transformations et de changements structureaux dans les politiques et les infrastructures, avec des investissements et des décisions politiques fortes allant dans le sens d'une réduction des émissions. Nous allons pour cela devoir faire appel à toutes les technologies dont nous disposons. Se pose ainsi la question du rôle que vont pouvoir jouer les technologies du numérique face à cet immense défi.

Lorsque nous considérons la répartition des émissions de gaz à effet de serre selon les différents secteurs, il apparaît que l'énergie et les process industriels dominant, et que les trois quarts proviennent du système énergétique. Au sein du système énergétique en revanche, la répartition est moins évidente puisque de nombreux secteurs et services contribuent aux émissions. Les technologies numériques ont quant à elles à la fois un effet direct et un effet indirect sur ces émissions. L'effet immédiat comprendra par exemple l'énergie requise pour la construction et le fonctionnement de *data centers*, de smartphones ou d'ordinateurs, mais aussi les modalités d'utilisation de ces technologies et leurs impacts sur d'autres secteurs ou services. Par exemple, les smartphones ont permis le développement de services comme Uber, avec de ce fait des impacts sur le transport. Les technologies numériques peuvent ainsi avoir des effets indirects sur d'autres secteurs d'activité.

Concentrons-nous d'abord sur les émissions directes provenant des technologies numériques. En évoquant ces technologies numériques, je me réfère au secteur des TIC qui se divise en trois sections : les *data centers*, les réseaux de transmission de données et les appareils. Les *data centers* couvrent l'ensemble du spectre allant des *data centers* de grande taille aux *data centers* utilisés dans de petites structures. Les réseaux sont les câbles longue distance qui transmettent des données sur plusieurs milliers de kilomètres jusqu'à la station de chargement de votre smartphone. Pour les appareils, nous parlons des appareils connectés à internet : smartphones, ordinateurs, tablettes, etc.

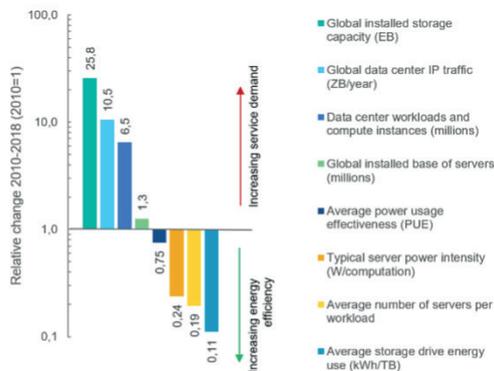


Les technologies du numérique ont connu une forte croissance, sans commune mesure avec d'autres indicateurs. La population, le PIB et l'utilisation d'électricité ont aussi augmenté, mais pas à l'échelle de l'augmentation qui a concerné les utilisateurs d'Internet dont le nombre a été multiplié par douze entre 2000 et 2021. De même, le trafic internet global a été multiplié par quatre mille depuis l'année 2000.

Cette augmentation rapide a pu laisser penser que l'utilisation de l'énergie par les technologies numériques, et en particulier par les *data centers*, allait suivre la même tendance. En 1999 un article de *Forbes* prédisait qu'en 2010, Internet et l'économie numérique représenteraient ainsi la moitié de la consommation du réseau électrique des États-Unis. En réalité, l'utilisation d'énergie des *data centers* aux États-Unis a certes doublé entre 2000 et 2010, mais elle représente moins de 2% de l'utilisation totale d'électricité et reste globalement stable. Cette prédiction ne s'est donc pas réalisée.

Au niveau global, nous pouvons observer une tendance similaire puisque la demande a continué d'augmenter de manière rapide, même sur les cinq dernières années. Les *data centers* ont ainsi utilisé 220 à 320 TWh en 2021, ce qui correspond à environ 1,3% de la consommation totale d'électricité. Cela témoigne d'une amélioration importante de l'efficacité énergétique qui a pu contrebalancer l'augmentation de la demande. Certains facteurs ont enregistré une augmentation (trafic internet, charge gérée par les *data centers*, etc.), mais d'autres ont connu une réduction, notamment *via* l'amélioration de l'efficacité énergétique du matériel informatique et de la capacité de stockage des serveurs. Il faut noter également une amélioration de l'efficacité énergétique *via* le basculement vers le *cloud* qui permet d'avoir un taux d'utilisation plus élevé des équipements et évite qu'ils restent inactifs.

- Improved energy efficiency of IT hardware (servers, drives, network ports)
- Shift to cloud and hyperscale
- Increased virtualisation
- Servers with better power scaling capability (i.e. reducing power consumption during idle or low utilisation)
- Declining PUE (i.e. less power for cooling)

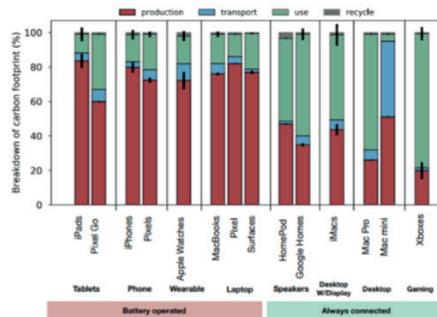
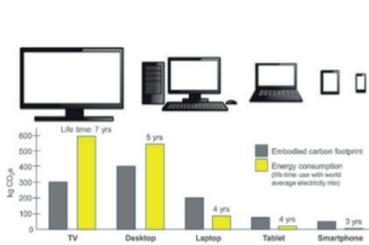


La consommation d'énergie des *data center* est restée stable au niveau global, mais elle a augmenté fortement dans certains pays. C'est par exemple le cas de l'Irlande où l'utilisation d'électricité par les *data centers* représente 14 % de l'utilisation d'électricité au niveau national, ce qui a presque triplé par rapport au niveau d'il y a cinq ou six ans. Si nous considérons les réseaux de transmission de données, nous pouvons noter une évolution similaire avec une activité et une demande qui continuent d'augmenter très rapidement, mais une consommation d'énergie et d'électricité qui reste stable.

Ce constat s'explique par une amélioration rapide de l'efficacité énergétique. L'efficacité énergétique relative à la transmission de données a doublé tous les deux ou trois ans, ce qui correspond à une amélioration d'un facteur cinq cents en vingt ans. C'est particulièrement rapide en comparaison de l'évolution de l'efficacité énergétique d'autres secteurs, tels que ceux de l'automobile ou du pétrole. Nous pouvons prendre l'exemple de la consommation énergétique de Telefonica, qui a enregistré en 2020 une augmentation de 45 % de son trafic, pour une consommation énergétique en baisse de 1,4 %. Ainsi, l'idée que l'augmentation de trafic impliquerait forcément une augmentation de la consommation en énergie apparaît erronée puisqu'elle exclut l'amélioration de l'efficacité des équipements.

Pour ce qui est ensuite de la question des énergies renouvelables, le secteur des TIC s'est particulièrement distingué comme étant un leader dans le domaine de l'achat d'énergies renouvelables. Des sociétés comme Apple ou Google ont notamment atteint la part de 100 % d'énergies renouvelables depuis quelques années maintenant. Cela signifie qu'elles achètent chaque année assez d'énergies renouvelables pour couvrir leur consommation annuelle d'électricité dans leur activité. Cela ne veut pas dire que chaque électron que ces groupes utilisent dans leurs *data centers* soit nécessairement vert, mais plutôt que l'ensemble s'équilibre sur une base annuelle. Il y a donc encore beaucoup à faire pour ces sociétés, comme l'idée d'avoir une utilisation 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 dans chacune de leur localisation en basculant la charge de travail et les services dans le temps et l'espace. Ces sociétés pourraient également participer à des programmes de réponse à la demande, investir dans des technologies propres telles que le stockage des batteries ou l'hydrogène vert afin de s'assurer que toute l'énergie utilisée est réellement verte. De plus, si dans certaines régions la consommation porte exclusivement sur des énergies renouvelables, comme c'est le cas dans certaines parties des États-Unis, le constat inverse se retrouve également, avec l'exemple de Singapour où l'essentiel de l'énergie consommée par Google provient du gaz. Leur objectif est d'atteindre 100 % d'énergie décarbonée 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 en 2030, ce qui va constituer un véritable défi et nécessiter un déploiement rapide des énergies propres pour atteindre cet objectif.

Indépendamment de la phase d'utilisation de ces technologies et de l'énergie qu'elles consomment, chaque produit nécessite initialement des minéraux naturels ou recyclés qu'il faut extraire ou produire puis transporter, utiliser et finalement recycler ou jeter. Or la réduction de l'impact doit justement se faire à tous les stades du cycle de vie des produits. Cette part de l'impact global dépend directement du type d'équipement concerné. Dans un smartphone, l'énergie intrinsèque et les émissions de carbone qui résultent de sa production sont les éléments prédominants. Les petits appareils ont une part d'énergie intrinsèque plus importante que les plus gros appareils qui quant à eux nécessitent davantage d'énergie pour leur utilisation. Pour les télévisions par exemple, l'efficacité énergétique repose surtout sur la production de l'appareil lui-même, alors que pour les smartphones qui fonctionnent sur batterie, l'efficacité dans l'utilisation est essentielle, ce qui signifie que nous avons dans ce cas besoin de politiques qui se basent sur le cycle de vie du produit et qui ciblent les émissions intrinsèques pour décarboner la chaîne de production.



Malmrodt & Lundin, Sustainability, 2018, The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and ESM Sectors 2010–2015 (Gupta et al. (2020) Chasing Carbon: The Elusive Environmental Footprint of Computing

Embodied emissions account for the majority of lifecycle emissions for smaller battery-powered devices

Il y a évidemment d'autres impacts environnementaux au-delà de l'énergie et des gaz à effet de serre, comme l'utilisation de matériaux, l'écotoxicité, l'impact sur l'utilisation des sols, etc. En termes d'échelle, pour le secteur IT et la demande de matériaux, l'impact n'est pas si important. En revanche, ce secteur utilise de nombreux minéraux critiques qui font l'objet d'une certaine rareté comme les terres rares, le cobalt dans les batteries, etc. Le développement des technologies propres implique ainsi une augmentation de la demande de minéraux tels que le lithium, le cobalt, le nickel, le cuivre et les terres rares. Les batteries lourdes vont notamment nécessiter ce type de minéraux dans le futur.

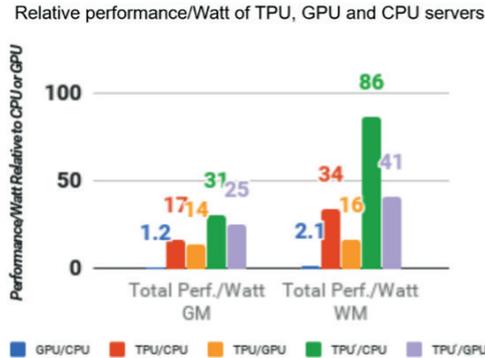
À la question de savoir si l'amélioration de l'efficacité énergétique va continuer de se poursuivre, nous ne savons pas vraiment répondre. Pourtant, nous pouvons

trouver dans la presse des articles qui annoncent que les données pourraient consommer un cinquième de l'électricité globale d'ici 2025, ce qui paraît plutôt alarmiste. Il est assez difficile de prévoir l'évolution de ces technologies si l'on considère qu'il y a dix ans les smartphones commençaient seulement à être adoptés. Nous avons également vu beaucoup de titres de journaux mettre en avant l'impact du *streaming* sur la consommation d'énergie, mais il apparaît que l'impact environnemental est en réalité bien moins élevé qu'annoncé et assez similaire à des activités domestiques basiques.

Le point clé à souligner concernant le *streaming* est que la majorité de l'énergie utilisée provient de l'utilisation de l'appareil lui-même, en particulier pour des appareils plus importants tels que les télévisions. De ce fait, réduire la résolution de la vidéo a un impact limité, en tous cas à court terme, sur la consommation d'énergie. Il apparaît également que lorsque l'on aborde la question de la réduction de la consommation d'énergie, les médias se concentrent principalement sur les individus et leur rôle. Les particuliers ont évidemment un rôle important à jouer, mais effacer les emails par exemple n'aura qu'un impact limité sur la réduction des émissions.

En revanche, des technologies émergentes pourraient avoir un impact important sur la réduction des émissions, en l'occurrence le *Machine Learning* (ML), ou apprentissage automatique, et l'intelligence artificielle. En 2019, un article montrait à quel point ces modèles généraient des émissions. Cet article s'était concentré sur le processus d'apprentissage du modèle ML car nous avons une meilleure connaissance de ce volet, mais il est intéressant de noter que ces modèles ML sont aussi construits et appliqués, ce qui correspond à l'étape de l'inférence. L'apprentissage représente seulement une petite partie, et aujourd'hui nous avons encore une compréhension réduite de l'utilisation totale d'énergie engendrée par le ML. Nous devons encore en améliorer notre compréhension. Des améliorations intéressantes de l'efficacité énergétique sont d'ailleurs intervenues pour le ML avec de nouvelles puces électroniques bien plus efficaces que les CPU ou GPU traditionnels. Il y a donc des développements intéressants du côté du *hardware*, des *softwares* et de l'apprentissage des modèles.

La demande en ML a doublé chaque année et l'utilisation énergétique associée n'a cessé d'augmenter ces cinq ou six dernières années. L'utilisation énergétique des *data centers* de Meta/Facebook a par exemple augmenté de 40% pendant la période. Il y a donc clairement une amélioration en termes d'efficacité énergétique mais la demande augmente très vite, et bien que les machines représentent une part réduite des émissions globales de gaz à effet de serre (0,1%), l'augmentation de la consommation énergétique du ML doit faire l'objet d'une vigilance accrue.



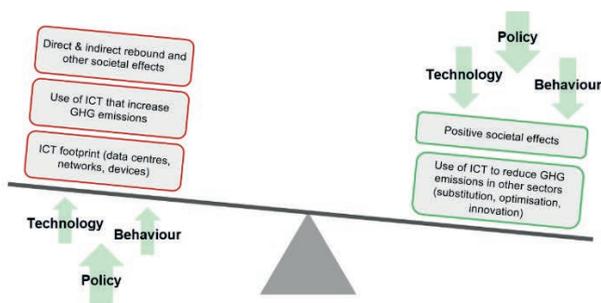
Joopki et al. (2017). In-Datacenter Performance Analysis of a Tensor Processing Unit. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3140659.3080246>

Application-specific integrated circuits (ASICs) for machine learning are 15-30x faster and 30-80x more energy efficient compared to a contemporary CPU or GPU

La *Blockchain* est un exemple frappant de ce constat. En 2021, le minage de *bitcoins* a consommé environ 110 TWh d'électricité, soit deux fois la consommation d'Amazon, Google, Microsoft et Facebook combinés. L'échelle d'augmentation des *bitcoins* et des cryptomonnaies a été multiplié par trente en cinq ans, ce qui constitue une augmentation massive comparé à d'autres indicateurs dans le domaine des TIC. Il existe cependant heureusement différentes options pour réduire dans le futur la consommation énergétique du *Bitcoin*.

Je vous propose à présent de passer aux effets induits par les technologies numériques sur les autres secteurs. Tout est une question d'équilibre au niveau de l'empreinte énergétique des TIC dont nous avons parlé, avec d'une part les effets positifs (réduction des émissions à travers l'efficacité et l'optimisation) et d'autre part les effets négatifs (augmentation du e-commerce et du transport de marchandises) de l'utilisation de ces technologies numériques sur le changement climatique. Il est donc important d'avoir un point de vue véritablement holistique du rôle des technologies numériques sur le changement climatique.

Un bon exemple pour penser ces différentes dynamiques est la question du télétravail. L'impact des TIC à la maison ou au travail est sensiblement similaire. La différence se fait réellement au niveau de l'augmentation de la consommation énergétique dans les immeubles résidentiels compensée par la réduction des émissions liées aux déplacements domicile-travail. Cela dépend toutefois des situations individuelles, et notamment des modes de déplacement de chacun.



Adapted from Isenhardt, (2021), Assessing the net climate impact of digitalisation

Policy choices will play a central role in shaping the net energy and emission impacts of digitalisation

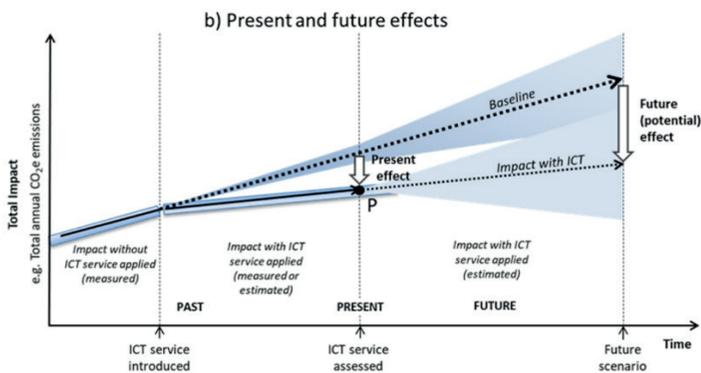
Structurellement, nous pouvons aussi observer des effets à plus long terme. Par exemple, une personne qui télétravaille de façon permanente peut décider de quitter la ville, et donc de changer de style de vie en faisant l'acquisition d'un véhicule, en habitant dans un logement plus grand et donc plus énergivore, etc. Il y a donc à court terme et long terme des effets positifs et négatifs induits par le télétravail. Le raisonnement est le même qu'avec le e-commerce dont nous avons déjà parlé. L'intrication des effets positifs et négatifs en fonction de chaque facteur est donc particulièrement complexe.

Si nous considérons des technologies spécifiques comme le *Machine Learning* (ML), nous pouvons constater là aussi que le ML peut entraîner des effets négatifs mais également positifs sur la consommation d'énergie. Le ML peut en effet créer de nombreuses opportunités pour réaliser des économies d'énergie : amélioration de l'efficacité des *data centers*, optimisation de l'équilibre entre la demande et la fourniture d'électricité, développement de produits chimiques innovants pour les batteries, etc. En ce sens, le ML doit véritablement être envisagé comme un outil visant à accélérer ce que nous faisons actuellement, et il est important que les politiques publiques en encourageant et en accompagnent une utilisation positive.

Dans le secteur de l'énergie, les technologies numériques peuvent donner lieu à des applications dans la construction de bâtiments, avec par exemple des bâtiments intelligents, ou dans l'industrie, notamment avec l'impression 3D, ce qui peut potentiellement avoir pour conséquence une importante réduction de la demande de matériaux, par exemple pour la construction d'avions. Les applications des technologies numériques dans le transport sont également intéressantes, notamment avec les véhicules autonomes. Nous pouvons penser qu'en gérant mieux la transition énergétique, nous pourrions à l'avenir utiliser d'une meilleure manière les technologies dans le domaine du transport, dans

un but de réduction de la consommation d'énergie. Cela dépendra de notre utilisation de ces technologies et des politiques qui seront mises en œuvre.

Par ailleurs, il est difficile d'imaginer un scénario hypothétique. Il y a plusieurs façons de parvenir au même niveau d'efficacité pour un service donné, et vous pouvez avoir différents types de technologies numériques qui permettent d'atteindre un même objectif. Si nous prenons le fait de visionner une vidéo en *streaming* par exemple, nous pouvons nous poser la question de savoir quel est le contrefactuel et l'alternative à l'utilisation de cette technologie (louer une vidéo dans un magasin, ne rien faire, lire un livre, etc.). Il est donc essentiel de comprendre les contrefactuels pour appréhender l'impact des technologies numériques.



Corasma, Bergmark et al. (2020), A Methodology for Assessing the Environmental Effects Induced by ICT Services, Part I: ICT4S 2020, Bristol, UK.

Les technologies numériques peuvent également faire l'objet d'applications dans le secteur de l'industrie du gaz et du pétrole à travers l'utilisation du ML, par exemple pour réduire le coût de détection des fuites de méthane, ce qui peut avoir un impact considérable à court terme pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Les décideurs politiques peuvent également être amenés eux-mêmes à utiliser les technologies numériques et de ML.

Je souhaiterais insister pour terminer sur le fait que les technologies numériques ne sont qu'un outil. Elles ne vont pas nous sauver du changement climatique ni à elles seules nous permettre de résoudre la crise du climat. Nous devons nous pencher sur la valeur ajoutée de ces technologies et sur la façon d'en encourager une utilisation vertueuse. En d'autres termes, elles sont en elles-mêmes agnostiques vis-à-vis du changement climatique. Les technologies numériques combinées à des politiques climatiques pertinentes peuvent avoir un impact positif et permettre des avancées significatives en matière de réduction

d'émissions. Mais il ne faut pas négliger le fait que les technologies numériques pourraient de la même manière être utilisées à des fins contraires à la lutte contre le changement climatique. Ainsi, la réduction des émissions et de l'utilisation d'énergie ne pourra véritablement se faire qu'à travers des politiques climatiques efficaces.

Il apparaît que l'empreinte induite par les technologies numériques fait souvent l'objet d'une focalisation par les journalistes et les décideurs, et il est vrai que ce point est important. Mais c'est en réalité l'aspect le plus simple de l'équation. Les TIC sont largement dépendantes de l'électricité, la demande augmente rapidement, et nous avons besoin d'innovation et de R&D afin d'avoir des technologies nouvelles qui permettent de s'adapter au rythme d'augmentation de la demande. Les effets les plus significatifs proviendront cependant de la façon dont nous utilisons ces technologies dans les autres secteurs. J'espère que les décideurs politiques, les entreprises technologiques et les entreprises du secteur de l'énergie se focaliseront sur la façon dont nous guidons l'utilisation des technologies numériques pour s'aligner sur la nécessité de contrôler le changement climatique, afin que cette utilisation des TIC aide à combattre le changement climatique au lieu de contribuer à la dégradation du climat.

Échanges avec la salle

SALLE

En termes de politiques publiques, avons-nous des objectifs à atteindre concernant l'impact des technologies numériques sur le changement climatique, comme c'est le cas dans plusieurs autres secteurs (transport, construction, etc.) au niveau européen notamment ?

George KAMIYA

Au sujet de l'empreinte directe des technologies numériques, le principal défi que nous avons actuellement est de s'accorder sur les chiffres. L'enjeu concerne avant tout les mesures et les données. Les dernières directives sur l'efficacité énergétique incluent des orientations pour la collecte de données sur la consommation d'énergie des *data centers* afin d'avoir des références et de pouvoir commencer à la mesurer avant de la réduire. Actuellement, nous ne disposons que d'estimations, à savoir des modèles basés sur l'expédition de différents types d'équipements et sur la compréhension de l'efficacité de différents types de *data centers*. Nous ne connaissons pas les chiffres réels. La question des données est importante, et celle des politiques publiques aussi. L'Europe y joue un rôle crucial.

SALLE

L’empreinte environnementale est basée exclusivement sur la consommation énergétique. Pourquoi l’accent est-il mis uniquement sur la consommation énergétique alors que par exemple les *data centers* nécessitent des systèmes de refroidissement importants et qu’il serait intéressant de connaître la part que cela représente dans les émissions de GES?

George KAMIYA

La projection en 2025 n’était qu’une projection qui n’avait pas vocation à se réaliser, et les projections vont être nombreuses, des plus pessimistes aux plus optimistes. Il est donc important de se concentrer sur les sources lorsque nous sommes face à ces informations journalistiques qui parfois sont particulièrement alarmistes. Concernant les émissions associées au cycle de vie des *data centers*, je me suis attaché particulièrement aux émissions liées à l’utilisation énergétique nécessaire à leur fonctionnement, puisque ce sont celles qui dominent. Lorsqu’un équipement comme un *data center* fait l’objet d’une utilisation intensive, la majeure partie des émissions provient du fonctionnement. Cette part des émissions liées au fonctionnement est de l’ordre 90%.

Il y a évidemment des émissions intrinsèques, mais l’utilisation énergétique induite par le fonctionnement est tellement élevée que la construction de l’équipement représente une part mineure. L’équilibre pourrait toutefois devenir différent une fois que nous aurons décarboné à la fois le système électrique et la phase d’utilisation des *data centers*. Concernant le refroidissement, celui des *data centers* gérés par les grandes entreprises technologiques est désormais relativement efficace.

En revanche pour les émissions associées au cycle de vie des appareils, ce sont les émissions intrinsèques qui sont les plus importantes. Ainsi, si par exemple vous souhaitez réduire l’impact des émissions associées au cycle de vie de votre téléphone, le meilleur moyen est de changer d’appareil le moins souvent possible dans la mesure où à l’instant où vous achetez votre téléphone, 80% des émissions liées à l’appareil ont déjà eu lieu. L’équilibre dépend vraiment du type d’appareil. Pour les *data centers* en revanche, la phase d’utilisation domine et c’est donc la raison pour laquelle nous nous concentrons sur cet aspect.

SALLE

Au début de votre présentation, vous avez souligné qu’en matière d’émissions globales, l’impact des emails était finalement assez marginal. Ne peuvent-ils vraiment pas avoir d’impact sur la décarbonation au niveau global?

George KAMIYA

Je voulais mettre en avant cet exemple puisque les emails sont l'une des activités les moins énergivores en comparaison de la navigation, du visionnage de vidéos, des réseaux sociaux, etc. La focalisation sur ce sujet est donc étonnante. Mais dans tous les cas, nous devons réduire très rapidement tous les secteurs, et chaque action compte. Je pense que le secteur des TIC devrait agir davantage pour se décarboner, d'autant plus que cette décarbonation est plus simple que dans des domaines tels que l'*aviation*, le transport maritime ou l'industrie lourde. Il convient donc de réduire les émissions dans tous les secteurs possibles et aussi rapidement que possible, en utilisant tous les outils dont nous disposons aujourd'hui, et en investissant dans l'innovation pour réduire les émissions dans le futur.

Le numérique et l'énergie sous l'angle de la prospective à l'échelle de la France : un focus sur les *data centers*

Bruno LAFITTE

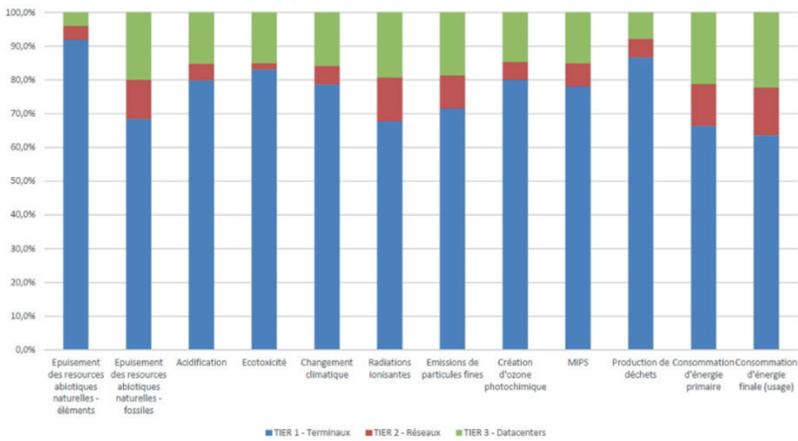
*Expert en technologies de l'information
et de la communication, ADEME*

Nous venons d'entendre une présentation très intéressante, marquée par beaucoup d'optimisme. Pour ma part, je me propose de vous présenter les résultats à l'échelle de la France. L'un des problèmes actuels réside peut-être dans le fait que nous raisonnons essentiellement sur nos consommations passées, avec beaucoup d'incertitudes sur nos consommations futures, et ce, à l'échelle mondiale. Il faut également rappeler qu'à cette même échelle mondiale, la moitié de la population n'a pas accès aux services dont nous disposons. Si cet accès s'élargit, il devra donc s'accompagner de réels gains d'efficacité pour conserver un équilibre.

En ce qui concerne l'impact du numérique en France, je vous propose de nous concentrer sur les *data centers*. Dans cette présentation, je vais m'appuyer notamment sur une étude ayant donné lieu à la parution de deux rapports cette année sur l'impact environnemental global. Ces rapports prennent en compte l'analyse des cycles de vie complets, même si j'axerai surtout mon propos sur les *data centers*. Le précédent intervenant a évoqué à très juste titre les mesures qu'il est possible de mettre en place au niveau réglementaire. Nous aborderons aussi le dispositif Éco-Énergie-Tertiaire, qui va nous apporter de nombreuses données, ainsi que la directive sur l'Efficacité Énergétique au niveau européen.

Pour commencer, rappelons que l'empreinte carbone globale du numérique en France représente 17 Mt d'équivalent CO₂, soit 2,5% de l'empreinte carbone nationale. Cette empreinte se répartit en trois secteurs : les terminaux (tablettes, smartphones, ordinateurs, etc.) pour 79%, les *data centers* pour 16% et les réseaux pour 5%. À première vue, cette répartition peut laisser penser que la priorité est d'agir sur les terminaux. Néanmoins, il serait compliqué de faire machine arrière sur le niveau d'équipement ou sur l'usage du numérique. Les principaux leviers restent l'écoconception et l'allongement de la durée de vie.

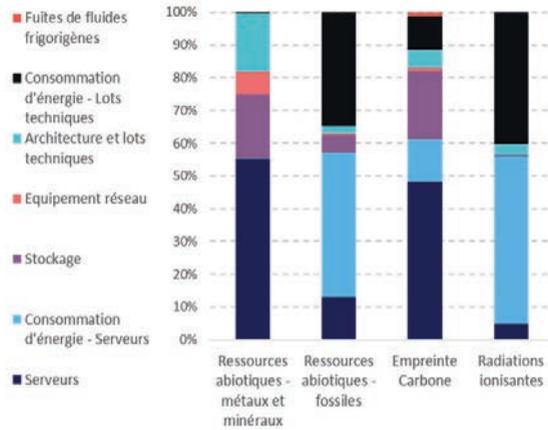
Répartition des impacts environnementaux du numérique



Au niveau de l'impact environnemental global, c'est-à-dire au-delà de l'empreinte carbone, nous retrouvons les différents thèmes que nous prenons en compte : l'épuisement des ressources, l'acidification, l'écotoxicité, etc. Ces éléments montrent que les *data centers* ne sont pas majoritaires par rapport aux terminaux mais qu'ils le sont tout de même par rapport aux infrastructures réseaux. En outre, cette répartition des impacts environnementaux montre que les impacts des *data centers* se concentrent sur l'épuisement des ressources abiotiques et sur les consommations d'énergie. La partie usages reste également le principal impact sur l'environnement des *data centers*.

En focalisant sur les quatre thèmes principaux – c'est-à-dire les ressources abiotiques métaux et minéraux, les ressources abiotiques fossiles, l'empreinte carbone et les radiations ionisantes – et à leur répartition dans les différentes parties qui contribuent aux impacts environnementaux : fuites de fluides frigorigènes, consommations d'énergie des lots techniques, architecture et lots techniques, équipement réseau, stockage, consommation d'énergie des serveurs, serveurs.

Si nous considérons l'empreinte environnementale de tous les composants des *data centers* sur ces quatre thématiques les plus importantes, il apparaît que les serveurs sont la source principale de l'impact des *data centers* *via* leur fabrication et leur utilisation.



Une étude a été réalisée par l'ADEME et l'ARCEP. Tous les résultats ne sont pas encore publiés, le troisième rapport est attendu sous peu, mais quelques données ont d'ores et déjà pu être établies. Cette étude classe les *data centers* par type: public local, public national, entreprises, colocation, HyperScale. Les types de *data centers* sont en effet très variés. Il peut s'agir d'un petit serveur dans une entreprise, de *data centers* hébergés dans des bâtiments dédiés, par exemple pour des institutions locales ou nationales, de *data centers* de colocation hébergés par exemple dans les locaux communs adaptés (température, humidité, alimentation électrique, etc.) ou de *data centers* HyperScale de taille très conséquente, comme nous en retrouvons pour Google, Microsoft, Amazon, etc. Il est souvent question de cette dernière catégorie, mais ces types de *data centers* ne représentent pas la majorité des surfaces IT ni des consommations.

Type de data center	Public local	Public national	Entreprises	Colocation	HyperScale	Total
Superficie de salle IT	9%	7%	36%	47%	1%	883 165 m ²
Densité (kW/baie)	3	4,5	4	5	15	
Taux de charge	40%	35%	50%	50%	60%	
PUE	1,93	1,93	1,93	1,55	1,17	1,69
Conso IT	0,34	0,36	2,19	3,63	0,34	6,85 TWh
Conso autres /conso IT	94%	92%	93%	55%	18%	4,74 TWh
Conso élec TWh	0,66	0,69	4,22	5,62	0,40	11,59 TWh
Conso fioul (m ³)	66	69,2	422	562	40	1 159 m ³

Ces résultats montrent qu'une attention est surtout à porter sur les *data centers* de colocation. Beaucoup ont besoin d'être optimisés en termes de consommation énergétique, au niveau de leur infrastructure ou de leur refroidissement, etc. Avec les *data centers* HyperScale, le PUE (c'est-à-dire l'énergie globale du *data center* sur l'énergie de l'IT) est de 1,1, ce qui signifie que pratiquement toute l'énergie est

consommée pour l'IT et que l'infrastructure est donc particulièrement optimisée. En France aujourd'hui, le PUE moyen des *data centers* n'est pas de 1,1, mais plutôt de 1,6 ou 1,7. La marge de progrès est ainsi conséquente, notamment en matière de Free Cooling.

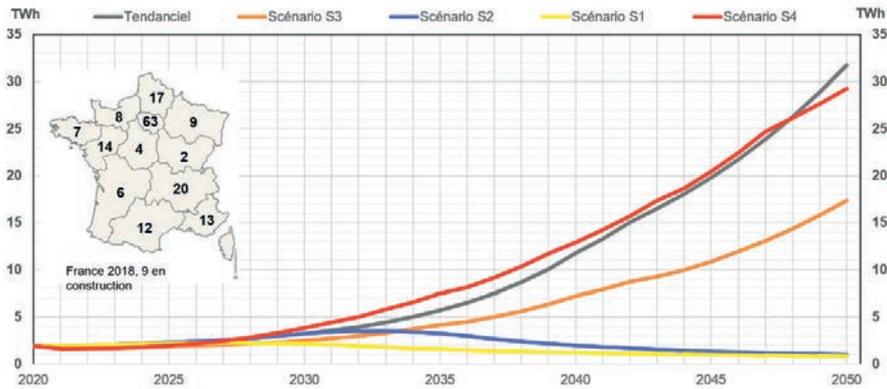
De même, il est intéressant de considérer la densité, qui s'entend en KW/baie. En général, il est estimé que plus les *data centers* sont empilés sur un petit volume, plus le refroidissement pourra être optimisé, et plus il sera possible de diminuer la salle IT ainsi que les ressources nécessaires et donc la consommation. Pour la catégorie des *data centers* public local, la densité est de 3 KW/baie, et elle peut monter à 15 KW/baie pour les *data centers* HyperScale.

Le taux de charge est également un facteur important. Pour simplifier, il traduit l'utilisation continue ou non du serveur. L'étude montre que même sur les *data centers* HyperScale, nous sommes sur un taux de charge moyen de 60%. Le taux de charge progresse avec la virtualisation des serveurs, mais il reste qu'à ce jour, sur 40% du temps, ces serveurs ne fonctionnent pas. Il y a bien évidemment des consommations de veille, mais elles sont assez minimes par rapport aux consommations totales des serveurs.

Nous en arrivons donc à une consommation électrique globale de l'ensemble des *data centers* de 11,6 TWh. À cela s'ajoute une consommation de fioul, notamment pour assurer le *back-up*, puisqu'il faut garantir une alimentation permanente en électricité. Les coupures de courant sont peu fréquentes en France, mais les groupes électrogènes sont mis en fonctionnement environ deux fois par mois pour s'assurer de leur fonctionnement. La consommation globale de fioul est ainsi de 1 159 m³.

À l'horizon 2030, les projections font état d'une consommation de 16,38 TWh, c'est-à-dire une augmentation somme toute raisonnable. En revanche, à l'horizon 2050, la consommation passerait à près de 40TWh si nous ne faisons rien. Nous avons en effet réalisé un travail de prospective sur tous les secteurs dont s'occupe l'ADEME, et c'est sur cette base que j'ai pu établir plusieurs scénarios d'évolution de la consommation.

Cette tendance a été confirmée par plusieurs autres études, notamment par celle réalisée par le Haut Conseil pour le Climat, par des études réalisées au niveau européen, ou encore par le segment de l'AIE qui est spécialisé sur les *data centers*. Cette projection prend en compte différents facteurs comme le développement de la 5G, de l'internet des objets, etc. Heureusement, d'autres scénarios sont possibles et traduisent une consommation plus modérée d'énergie. Deux scénarios prévoient même une diminution de la consommation d'énergie. Quoi qu'il en soit, des mesures politiques vont être nécessaires pour limiter la consommation.

Prospective ADEME – data centers de colocation

Pour reprendre un peu plus en détail ces scénarios, le premier est celui de la sobriété contrainte et du localisme. Dans ce scénario, face au manque de matériaux et d'énergie, les alertes sur les usages irraisonnés du numérique sont écoutées, et des actions sont mises en œuvre. Les particuliers questionnent leurs usages du numérique (vidéo, stockage des données, etc.) et les industries freinent leurs usages ainsi que le tout connecté.

Le deuxième scénario est celui de la sobriété volontaire, et le troisième celui de l'efficacité énergétique et de l'énergie renouvelable, ce qui limiterait la consommation mais ne serait pas suffisant. Quant au quatrième scénario, il correspond au développement sans limite du numérique, à l'accélération de la numérisation de l'industrie pour optimiser les processus industriels, l'interconnexion des appareils et la multiplication des capteurs, entraînant une forte augmentation des volumes de données, sans optimisation de gestion des flux de ces données.

En d'autres termes, il va donc falloir agir. Pour cela, nous pouvons d'ores et déjà déceler des signes encourageants avec des mesures politiques fortes prises aujourd'hui au niveau national et international sur les *data centers*.

Parmi les règlements et incitations à venir, le dispositif Éco-Énergie-Tertiaire prévoit pour tous les bâtiments tertiaires des objectifs de consommation à l'horizon 2030, 2040 et 2050. Il peut s'agir soit d'objectifs en KWh par mètre carré et par an, et c'est ce qui s'appliquera pour les *data centers*, soit d'objectifs de réduction de consommation par rapport à une année antérieure de référence. Tous les *data centers*, quel que soit leur type ou leur volume, vont ainsi faire l'objet d'objectifs en 2030, 2040 et 2050. Cela concernera les bâtiments de plus de 1000m² en tenant compte des surfaces de bureaux, des espaces de circulation, etc. En d'autres termes, une

salle de 10 m² consacrée à des serveurs dans un bâtiment de 1 000 m² sera bien concernée par le dispositif Éco-Énergie-Tertiaire.

Un effort de pédagogie a été nécessaire auprès des professionnels, cette mesure ne visant pas à pénaliser l'activité économique. Nous avons proposé des formules pour définir les taux maximum de consommation d'énergie. Cela nous permettra d'une part d'agir évidemment sur l'efficacité énergétique des *data centers*, mais aussi de remonter des données en provenance des acteurs qui seront concernés. Ces données porteront notamment sur le taux d'utilisation et le PUE, en plus bien sûr de la consommation énergétique. Ce recueil de données nous apportera une meilleure visibilité sur les *data centers*, cette visibilité étant à ce jour assez réduite, même si en France nous sommes particulièrement avancés dans la collecte de données sur les *data centers*. J'ajoute que le dispositif Éco-Énergie-Tertiaire intéresse également beaucoup la Commission Européenne.

Au niveau national, nous avons aussi des projets de décrets de réduction de taxe sur l'électricité, avec des critères de réduction de la consommation d'énergie, mais aussi de valorisation de la chaleur fatale, de PUE, de taux d'utilisation et de WUE pour l'eau. Des études ont également été initiées au niveau des Certificats d'Économies Énergétiques pour créer des fiches dédiées aux *data centers*. Ces réflexions se retrouvent aussi au niveau européen où tous les pays membres essaient de se mettre d'accord, y compris pour faire face au lobby industriel qui ne manquera pas de réagir.

M. Kamiya a présenté une annexe de l'Agence Internationale de l'Énergie sur l'efficacité énergétique des *data centers*. Cette efficacité énergétique n'a cessé d'augmenter et continuera de progresser. De nombreux pays (Australie, France, Corée du Sud, Suède, etc.) travaillent ensemble pour essayer de définir de nouvelles métriques pour les *data centers* afin d'accompagner les décideurs qui définissent la réglementation dans ce domaine.

Je vous remercie.

Les défis intriqués de l'énergie et de la digitalisation

Vincent MAZAURIC

Chercheur principal, Schneider Electric

Ana DAVID

Chercheuse, Schneider Electric

Ana DAVID

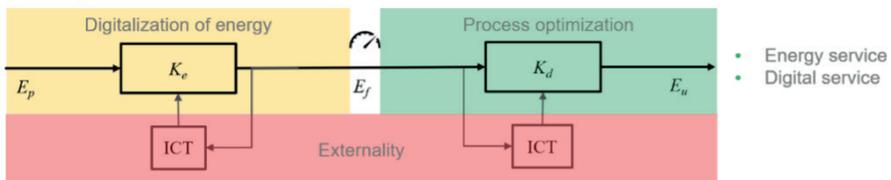
Notre présentation porte sur les « défis intriqués de l'énergie et de la digitalisation ». Nous parlons de « défis », puisque le consensus n'est pas encore établi entre d'une part l'impact du numérique et des services digitaux, et d'autre part les avantages que peuvent nous apporter ces services. Nous nous proposons donc d'aborder cette problématique sous cette double approche, en commençant par une introduction sur les limites liées à la digitalisation.

Vincent MAZAURIC

Pour l'instant, nous avons surtout envisagé le rôle des Technologies de l'Information et de la Communication pour améliorer les consommations d'énergie, c'est-à-dire sous l'angle de l'efficacité énergétique. Néanmoins, nous sommes confrontés à présent à des sources primaires de plus en plus désorganisées. Il faut donc les doter de la qualité requise pour qu'elles puissent s'intégrer dans le process énergétique, ce qui suppose là aussi de faire intervenir les TICs.

Energy and digitalization: Which comes first ?

Our today intent...



Provide insights on the use of digitization:

- to improve Energy Efficiency (EE)
- to reduce CO₂ emissions

Address the limits of digitalization regarding:

- the actual and forthcoming levels of ICT
- the energy system itself!

Les gaz renouvelables sont d'autant plus appelés à se développer qu'ils sont l'objet d'une ambition forte de la part des politiques énergétiques régionales et prennent toute leur place dans les Schémas régionaux d'aménagement et de développement durable des territoires (SRADET). Élément important de la transition écologique des territoires, ils apportent un impact positif en termes d'emploi local, de mobilité ou encore de qualité de l'air.

Pour favoriser l'injection de plus en plus de gaz renouvelables, de manière sûre et abordable, GRTgaz innove et adapte son réseau et ses installations, et soutient les différentes filières issues des procédés de méthanisation, de pyrogazéification, de gazéification hydrothermale ou encore d'hydrogène et de *Power-To-Gas*.

En parallèle à cette démarche, GRTgaz se mobilise pour réduire toujours plus l'empreinte environnementale de son activité et ainsi contribuer à réduire l'impact de l'ensemble de la chaîne gazière, tout en préservant l'efficacité économique de son modèle.

GRTgaz a notamment lancé l'initiative Écogaz pour informer en temps réel le niveau de consommation de gaz, et permettre à tous d'adapter sa consommation en cas de grand froid.

Le rôle du numérique dans la décarbonation

Le numérique est indispensable à cette transition énergétique et accompagne au quotidien les actions de GRTgaz en faveur du développement des gaz renouvelables et de la décarbonation du mix énergétique.

Les outils de modélisation, simulation du comportement des réseaux d'aujourd'hui et demain, les capteurs IOT et la *data science* au service de la maintenance prédictive ou différenciée, la commande à distance et intelligente des organes de régulation, la *data science* au service de la surveillance des réseaux sont quelques exemples du rôle essentiel du numérique dans les missions exercées par GRTgaz. Ces technologies sont présentes pour capter, transmettre, analyser, exploiter, prédire et donc optimiser la pilotage, la conduite et l'exploitation des réseaux.

L'*Open Data* – qui consiste à mettre à disposition des données et dont l'usage est libre est aussi un outil clef de planification de la transition énergétique pour les porteurs de projets et les collectivités territoriales.

Aux côtés des industriels

Les clients industriels de GRTgaz ont la volonté de concilier performance économique et performance environnementale.

Selon leur maturité de leurs objectifs de décarbonation, mais aussi les contraintes de qualité de production, de compétitivité, de sécurité d’approvisionnement, d’emploi, les solutions ne sont pas forcément les mêmes pour atteindre l’objectif de neutralité carbone.

À leurs côtés pour travailler sur l’efficacité énergétique et la décarbonation de leurs process, GRTgaz propose des solutions en ligne avec les logiques d’économie circulaire et de relocalisation.

Des atouts pour agir

Leader européen du transport du gaz à haute pression, GRTgaz dispose de nombreux atouts face aux mutations du mix énergétique :

- une expertise gazière pointue en matière d’ingénierie, d’études, de data, de qualités gaz et de R&D;
- une excellence dans l’exercice des missions de service public;
- un outil industriel à la pointe, avec son réseau de plus de 32 500 km en France;
- une expérience unique de concertation avec les acteurs du marché et une capacité à animer des filières, une légitimité forte et des attentes de nos parties prenantes pour accompagner et accélérer les transitions;
- une mission exercée dans un cadre régulé et orientée vers le développement des territoires;
- des actions engagées en faveur de la neutralité carbone, tant pour ses propres émissions (baisse des émissions de méthane et consommations d’énergie) que pour accompagner ses clients dans les usages des gaz verts (mobilité, industrie...);
- l’engagement et la motivation des femmes et des hommes de l’entreprise.



GRTgaz en bref

Opérateur majeur de transport de gaz à haute pression, GRTgaz assure une mission de service public visant à garantir la continuité d'acheminement du gaz et s'engage résolument en faveur du développement des gaz renouvelables et de la transition énergétique dans les territoires.

GRTgaz est un leader européen du transport de gaz et un expert mondial des systèmes gaziers. En France, l'entreprise exploite plus de 32 000 km de canalisations enterrées pour transporter le gaz des fournisseurs vers les consommateurs raccordés à son réseau :

- gestionnaires des distributions publiques qui desservent les communes ;
- centrales de production d'électricité ;
- sites industriels.

Avec ses filiales Elengy, leader des services de terminaux méthaniers en Europe, et GRTgaz Deutschland, opérateur du réseau de transport MEGAL en Allemagne, GRTgaz joue un rôle clé sur la scène européenne des infrastructures gazières. L'entreprise exporte ses savoir-faire à l'international notamment grâce aux prestations développées par son centre de recherche RICE (*Research & Innovation Center for Energy*).

Acteur de la transition énergétique, GRTgaz investit dans des solutions innovantes pour accueillir sur son réseau un maximum de gaz renouvelables et développer le réseau l'hydrogène, soutenir ces nouvelles filières et contribuer ainsi à l'atteinte de la neutralité carbone.

GRTgaz en chiffres (à fin 2021)

- 3 390 salariés ;
- 32 519 km de canalisations en France ;
- 630 TWh de gaz transportés ;
- 46 producteurs de biométhane injectent du gaz.

Les infos sur GRTgaz

- Les infos sur l'entreprise : grtgaz.com ;
- Les données de la transition énergétique : opendata.reseaux-energies.fr ;
- La baromètre du réseau de gaz : myecogaz.com ;
- Les gaz renouvelables et le smart grid : connect.grtgaz.com.

CHAIRE Modélisation Prospective au service du Développement Durable (MPDD)

La Chaire « Modélisation prospective au service du développement durable » a été créée en 2008 autour du Centre de Mathématiques Appliquées (CMA) de MINES ParisTech et du Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement (CIRED), unité mixte du CNRS, de l'ENPC, d'AgroParisTech, du CIRAD et de l'EHESS. Au total, au cours des différentes phases qui se sont ensuite succédées en 2014 et 2019, EDF, GRTgaz, RENAULT, RTE, SCHNEIDER ELECTRIC, TOTAL, l'ADEME et le Ministère de la Transition écologique et solidaire (DGEC) ont apporté leur soutien financier à ce projet, qui vise à construire en France un pôle de modélisation prospective reconnu à l'international et porteur d'outils innovants pour une meilleure maîtrise des dossiers du développement durable, dans le monde de l'entreprise et dans les divers lieux de la délibération publique.

Objectifs de la Chaire Modélisation prospective

La chaire MPDD est née d'un diagnostic partagé par le CIRED, le CMA et leurs partenaires industriels et institutionnels sur le fait que :

- relever les défis du développement durable exige de travailler sur des « états du monde » futurs et de détecter les points de bifurcations qui permettent ou interdisent leurs réalisations. Ceci ne peut se faire par simple juxtaposition de dires d'experts venant de disciplines différentes, de conjectures intuitives et de jugements normatifs,
- la modélisation prospective est un outil nécessaire pour produire des images diverses mais cohérentes du futur et pour soutenir des débats scientifiquement informés intégrant les apports des sciences de l'ingénieur, des sciences économiques et des autres sciences sociales,
- des progrès sont nécessaires pour représenter les interdépendances entre le secteur énergétique et les autres secteurs clés pour un développement durable (transport, construction, industrie des matériaux) de même que les liens entre les dossiers climat, sécurité énergétique, développement et migrations, mutation des systèmes techniques et des modes de consommation, enjeux de croissance et d'emploi en économie ouverte.

Depuis plus de dix ans, la Chaire a su mobiliser les compétences complémentaires de ses deux laboratoires pour devenir une marque reconnue internationalement,

comme en témoignent les succès des colloques ou séminaires qu'elle a organisés, l'ensemble de ses publications, les interventions de ses directeurs dans des médias et des cercles d'expertise nationaux et internationaux. Elle fournit aujourd'hui quatre des cinq français retenus pour le sixième rapport du Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat. La Chaire MPDD a ainsi été reconduite en 2019 pour cinq ans en réaffirmant ainsi ses objectifs :

- Développer et maintenir des outils de modélisation prospective conçus comme des « biens publics » ;
- Développer des programmes selon quatre grands axes de recherche : dynamique de la demande, tensions sur les ressources, enclenchement et gestion des transitions et enfin, influences internationales.
- Intervenir via des exercices de prospective en France et à l'échelle internationale sur les enjeux posés par les interfaces économie-ressources-climat.
- Consolider une plateforme de prospective pérenne permettant les échanges et la confrontation entre équipes de modélisation, administrations et partenaires de la Chaire autour d'éclairages que la modélisation prospective peut apporter sur les politiques publiques liées à la transition énergétique en France.
- Renforcer le rôle de la Chaire comme pôle d'animation à travers des journées de restitution annuelle des travaux en cours et les séminaires de la Chaire sur les enjeux et politiques du développement durable. Ils comportent notamment des points d'étape du GIEC pour permettre aux acteurs français de se saisir à temps de la réalité des débats internationaux. Des sessions spéciales de ces séminaires constituent un lieu d'échanges « prospective France » accompagnant les débats sur la loi de transition énergétique et autour des principaux dossiers du développement durable à partir du cumul d'expertise des deux équipes.
- Valoriser et diffuser une « culture de la prospective » en France dans la formation de haut niveau par le biais notamment du Mastère Spécialisé OSE.

Contact : chaire-cma@mines-paristech.fr



Avec le soutien de :



Suite des titres de la collection
Énergie et développement durable

Association Événement OSE, *Eau et Énergie*

Bruno Duplessis et Charles Raux (Dir.), *Économie et développement urbain durable 2*

Gilles Guerassimoff, Nadia Maïzi (Dir.), *Eau et Énergie: destins croisés*

Christophe Gobin, *Réussir une construction en éco-conception*

Jean Carassus et Bruno Duplessis (Dir.), *Économie et développement urbain durable 1*

Gilles Guerassimoff et Nadia Maïzi (Dir.), *Carbone et prospective*

Peuportier Bruno, *Éco-conception des bâtiments et des quartiers*

Gilles Guerassimoff et Nadia Maïzi (Dir.), *Îles et énergie: un paysage de contrastes*

Quelle place pour le numérique dans la transition énergétique ?

Ce sujet est au cœur des débats autour de la transition énergétique. Le développement du numérique est nécessaire et incontournable pour atteindre les objectifs très ambitieux de réduction des Gaz à effet de serre. Mais son impact est loin d'être neutre. Comment quantifier cet impact ? Quelles sont les possibilités pour le développement d'un numérique responsable ? Quels futurs sont possibles ?

Le congrès OSE, dont la 22^e édition s'est tenue le 29 septembre 2022, est l'un des aboutissements de ces réflexions. Il a été organisé par les étudiants du Mastère Spécialisé[©] OSE (Optimisation des Systèmes Énergétiques) du Centre de Mathématiques Appliquées de Mines Paris-PSL, en partenariat avec GRTGAZ et la Chaire Modélisation Prospective au service du développement durable ; soutenu par Data4, Deepki, Enedis, Huawei et Schneider Electric.

Les conférenciers et invités des tables rondes sont des experts et représentants d'industries et d'institutions à même d'apporter une contribution inédite et pertinente aux nombreuses questions soulevées par le rôle du numérique dans la transition énergétique.

Les présentations des différents acteurs institutionnels et industriels se sont articulées autour de deux tables rondes. Après un panorama général de George Kamiya de l'AIE, la notion de transition énergétique numérique et moderne a été abordée par différents intervenants (ADEME, Schneider Electric, The Shift Project, Engie Impact et Ericsson). Ensuite, le thème des technologies au service de la transition a été évoqué à travers les *data centers*, le traitement de données ou la gestion des énergies renouvelables (Data4, Deepki, Enedis, Grtgaz, Mines Paris-PSL, Engie Digital et Huawei). Ces présentations techniques ont été suivies d'une ouverture sur les opportunités risques et conséquences du numérique par des interventions de l'IPFEN et BPI France pour clôturer cette journée.

