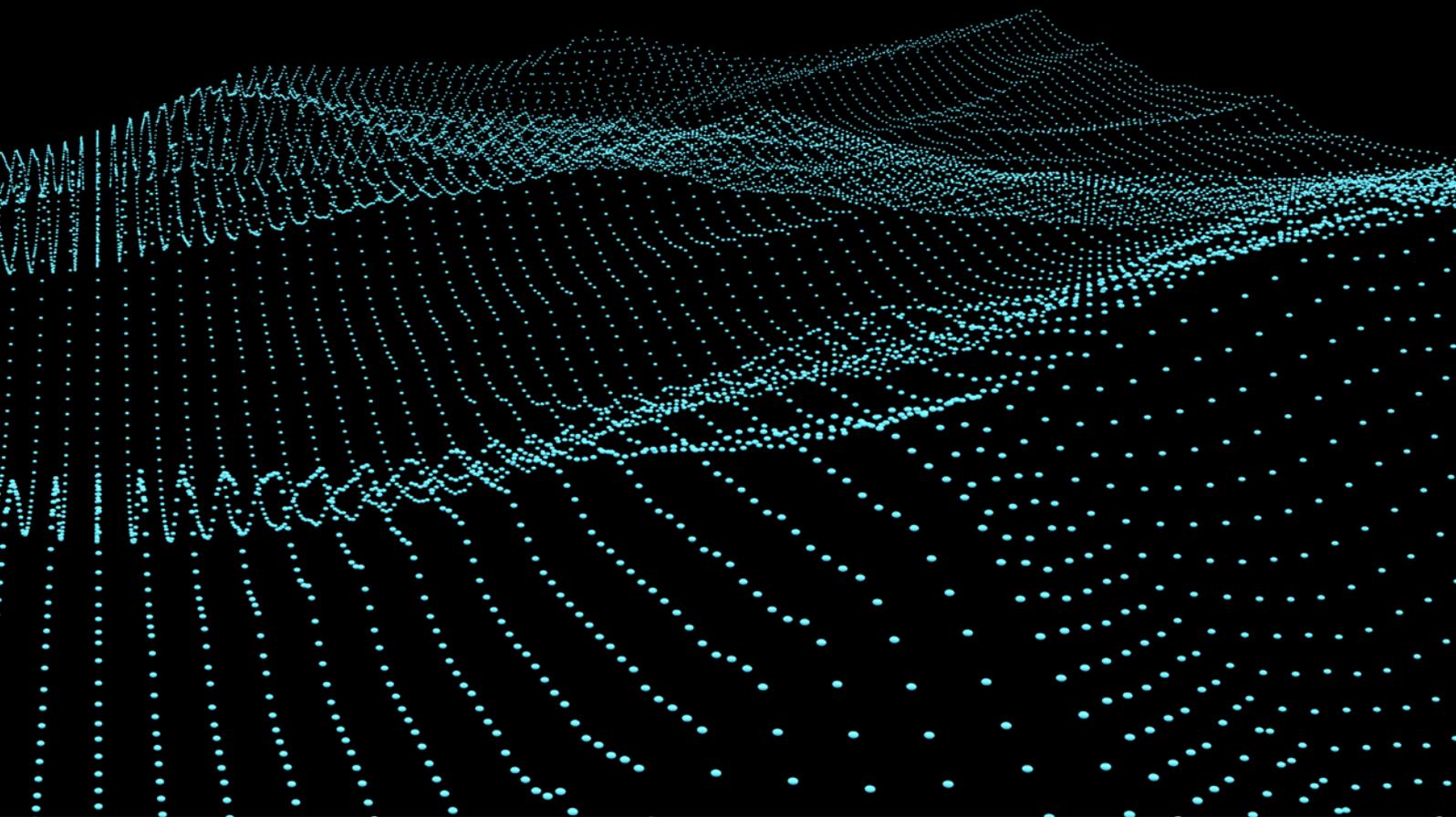


Déployer la sobriété numérique

OCTOBRE 2020



Avant-propos

The Shift Project, think tank de la transition carbone, a pour vocation de se saisir des enjeux-clés de la transition carbone. Sa mission est d'apporter les éléments factuels et quantitatifs qui permettront d'effectuer les arbitrages nécessaires à la réussite de la transition. Le développement exponentiel du numérique, et la façon dont ce développement peut interagir avec les objectifs de décarbonation de nos sociétés, constitue l'un des angles essentiels de ces enjeux.

The Shift Project a demandé à Hugues Ferreboeuf en avril 2017 de constituer un groupe de travail afin de mener une réflexion collective sur les possibilités de synergie entre transition numérique et transition énergétique. Cette première étape a donné naissance au rapport « [Lean ICT – Pour une sobriété numérique](#) » (*The Shift Project*, 2018), publié en octobre 2018 et complété par un second rapport sur les usages vidéos en ligne, « [Climat : l'insoutenable usage de la vidéo en ligne](#) » (*The Shift Project*, 2019) publié en juillet 2019. Le présent rapport constitue une nouvelle étape de ces réflexions, menées au sein d'un nouveau groupe de travail réuni par Hugues Ferreboeuf à partir de mars 2019.

L'objectif de l'intégralité de ces travaux est d'**identifier les apports essentiels du numérique à la transition énergétique** et de les mettre en regard du coût environnemental de leur mise en place pour, à terme, être en mesure de construire des stratégies quantitativement pertinentes et efficaces. Au vu des nombreuses thèses contradictoires circulant sur ces sujets, *The Shift Project* s'investit dans des efforts d'objectivation des constats, pour en tirer des **recommandations pratiques et systémiques en phase avec les objectifs de décarbonation**.

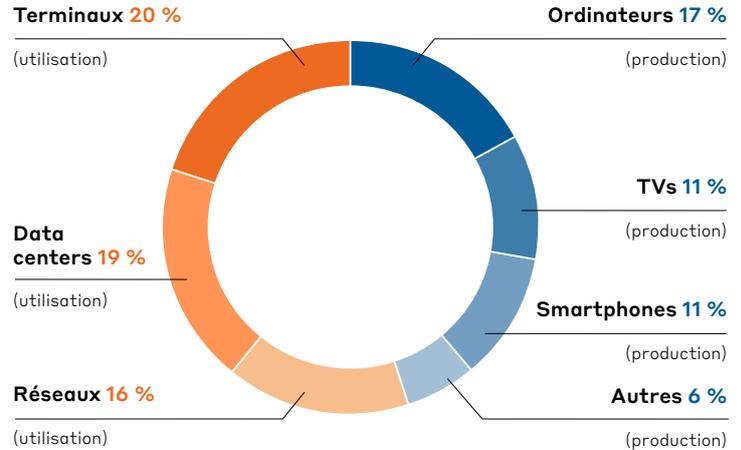
Le terme de *sobriété numérique* possède une longue histoire depuis sa première mention par GreenIT en 2008 (Bordage, F., 2018). Ces deux dernières années, la sobriété numérique s'est affirmée comme un concept rassembleur au sein des acteurs œuvrant pour un numérique résilient. Elle est maintenant régulièrement mise en avant comme une démarche centrale par des autorités publiques (Sénat, Conseil National du Numérique etc.) comme par des associations ou organisations professionnelles (Cigref, Syntec Numérique).

Nos deux premiers rapports (*The Shift Project*, 2018) (*The Shift Project*, 2019) nous ont permis de définir notre vision du concept de sobriété numérique. **Ce troisième volet propose des cadres méthodologiques opérationnels pour la mettre en place** : dans les stratégies et politiques publiques, dans l'entreprise, dans les systèmes d'usages du domaine privé.

Les conclusions et recommandations de notre groupe de travail sont destinées aux acteurs de la vie économique, sociale et politique, et aideront à éclairer les décisions afin d'évoluer vers une société technique résiliente. Dans le cadre de son [Plan de Transformation de l'Economie Française](#) (PTEF), *The Shift Project* est en train de construire une vision panoramique et systémique des enjeux de résilience pour nos secteurs, afin d'identifier les arbitrages incontournables qui en découlent. Le présent rapport « Déployer la sobriété numérique » fait partie des réflexions sectorielles menées en amont de ce travail et qui serviront de socle aux prochaines étapes du PTEF.

Contexte : le numérique, une transition à repenser

- Relever les défis du XXI^e siècle implique de comprendre les limites physiques auxquelles sont soumis nos systèmes. Le réchauffement climatique, et le tarissement progressif de notre approvisionnement en énergies fossiles constituent ensemble la « double contrainte carbone ».
- Le respect d'engagements comme les *Accords de Paris*, qui visent à assurer la survie de nos systèmes, impose de réduire drastiquement nos consommations énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre associées. Dans notre monde fini, il est ainsi important de se souvenir que chaque transformation physique et donc chacune de nos activités réclame de l'énergie. Y compris celle d'envoyer, traiter, ou stocker une information ; et bien sûr celle de produire les équipements qui le permettent.
- **Le numérique est donc à la fois outil et défi pour la transition carbone : les opportunités qu'il propose sont réelles, mais soumises aux mêmes contraintes que le reste de nos systèmes. Il est donc de notre ressort et de notre responsabilité de choisir les directions à donner à nos usages et infrastructures numériques pour en garantir la résilience et la pérennité.**
- Le défi d'innovation est d'apprendre à caractériser, notamment par une quantification des coûts énergétiques et environnementaux, les conditions de déploiement de nos technologies numériques qui les rendent pertinentes d'un point de vue environnemental.
- Aujourd'hui, la croissance de nos systèmes numériques est insoutenable – +9 % d'énergie consommée par an – et est construite autour de modèles économiques qui rentabilisent l'augmentation des volumes de contenus consommés et de terminaux et infrastructures déployés – notamment à travers l'« économie de l'attention ».
- **La sobriété numérique**, c'est passer d'un numérique instinctif voire compulsif à un numérique piloté, qui sait choisir ses directions : au vu des opportunités, mais également au vu des risques.



Distribution de la consommation d'énergie finale du numérique par poste pour la production (45 %) et l'utilisation (55 %) en 2017

Source : Lean ICT, The Shift Project 2018

- Déployer la sobriété numérique, c'est piloter nos choix technologiques, les déploiements d'infrastructures et d'usages associés afin de préserver les apports essentiels du numérique.
- **The Shift Project propose donc dans ce rapport de construire des outils pour évaluer la pertinence énergétique des technologies connectées, de guider les organisations vers un pilotage environnemental de leur système d'information et de comprendre comment reprendre la main sur nos usages numériques.**
- **Sans réflexion de cette nature, nos politiques et stratégies de déploiement des outils numériques resteront les opportunités gâchées d'une transition numérique qui, bien qu'omniprésente, échouera à contribuer à relever les défis physiques et sociétaux de ce siècle.**

Conclusions principales

L'évaluation de la pertinence environnementale doit être systématique

- Certaines innovations connectées recèlent un potentiel de gain environnemental et d'autres n'en ont **structurellement** pas la capacité : **il n'est donc justifié ni d'avoir une attitude de rejet généralisé ni de faire montre d'une foi aveugle à leur égard.**
- Construire un système résilient, c'est être en mesure d'identifier **les conditions dans lesquelles il est pertinent de déployer une solution numérique.** Ces conditions, propres à chaque situation, doivent être déterminées sur la base de **bilans prévisionnels environnementaux** des projets dits « smart » sans se reposer sur leur simple dénomination.

- L'impact de la consommation énergétique (énergie grise et en fonctionnement) de la couche numérique appliquée à un système peut surpasser l'économie d'énergie venant du gain d'efficacité énergétique du système.
- Le bilan énergétique net n'est souvent positif que si les comportements en phase d'utilisation sont orientés par une **gouvernance** alignée sur les objectifs d'économie d'énergie.

Les organisations peuvent et doivent piloter leurs Systèmes d'information

- La résilience des Systèmes d'information (SI) des organisations – **entreprises, organismes publics, collectivités locales** – ne se

fera pas sans introduire une rationalité à finalité environnementale dans le lancement et le pilotage des projets numériques.

- Compte tenu de l'omniprésence du numérique, nous avons décrit une approche **systemique** qui permet aux entreprises **d'intégrer la dimension environnementale dans le pilotage stratégique et opérationnel** de leurs initiatives numériques.
- Cette intégration implique une **démarche d'entreprise** à mener sous l'égide des directions générales et avec l'impulsion des directions du numérique.
- Il s'agit pour chaque organisation, **quelle que soit sa taille**, de changer son approche du numérique et non pas seulement d'acquiescer et d'exploiter de nouveaux outils d'optimisation (utiles par ailleurs) au sein de **stratégies et de politiques** qui seraient inchangées.

Piloter nos usages numériques relève de la politique publique

- Notre hyperconsommation numérique **telle qu'elle existe aujourd'hui** résulte de mécanismes psycho-sociétaux identifiés. Ce qui est en jeu dépasse les « bonnes pratiques » individuelles : il est urgent de recouvrer et de conserver **la maîtrise de nos interactions numériques à l'échelle collective**.

- **Comprendre la construction et les impacts des usages** numériques tels qu'ils existent aujourd'hui est indispensable pour s'assurer que le numérique soit pertinent au regard de nos objectifs collectifs et des défis de ce siècle.
- **Tout un champ d'actions publiques est à développer** et à mettre en œuvre, de l'éducation initiale au numérique à la régulation de techniques de design en passant par des campagnes de prévention contre l'obésité numérique.

Organiser une discussion autour de la sobriété numérique

- Les réflexions et pistes de solutions pour déployer la sobriété numérique peuvent également trouver à s'appliquer au sein des pays en développement : bien que les contextes initiaux et les trajectoires de référence soient différentes, les dynamiques régissant les usages et l'offre y sont sensiblement similaires.
- Il est essentiel d'objectiver les débats de société qui s'enclenchent autour de nos choix technologiques collectifs. A cette fin, The Shift Project publiera dans ses travaux à venir une mise à jour des scénarios prospectifs élaborés en 2018 afin d'éclairer les impacts potentiels des innovations technologiques en cours de déploiement (IoT, Intelligence Artificielle, edge computing, 5G etc.).

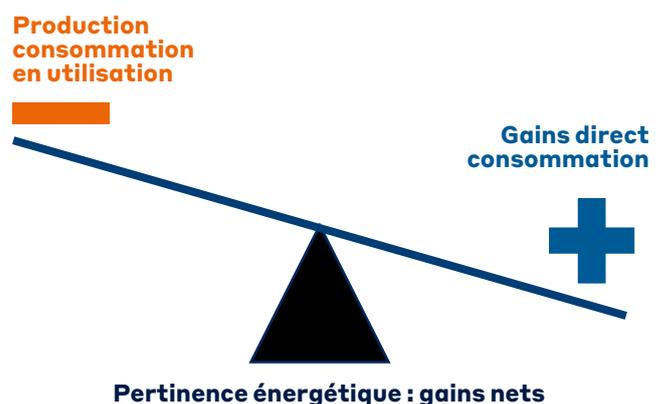
Une méthodologie pour analyser la pertinence énergétique des projets connectés

La pertinence des technologies connectées

- À l'échelle du territoire, **un choix technologique est un choix sociétal**. Nouveaux usages, influence sur d'autres activités (mobilité, circuits de consommation etc.), interdépendance du territoire et de certains acteurs privés de service ou de maintenance... : ces phénomènes impliquent des arbitrages qui doivent être compris par les acteurs territoriaux.
- Les solutions connectées appelées communément « smart » ne sont plus aujourd'hui des solutions autonomes (« standalone »), mais les composantes d'un véritable « système numérique ». **Les déployer doit se faire en toute connaissance de cause**, soit en prenant en compte de manière exhaustive : les coûts des technologies (notamment énergétiques et consommation 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.). De plus, le « besoin » auquel elles répondent doit être réinterrogé par rapport à l'importance d'autres « besoins » non satisfaits.
- Vérifier la pertinence énergétique, c'est être capable de quantifier la diminution ou l'accroissement net de consommation d'énergie permis par l'introduction d'une couche connectée (en comptabilisant le coût énergétique de la phase de production et de la consommation du matériel connecté en fonctionnement).

Une méthodologie et des cas d'étude

- Le modèle STERM (Smart Technologies Energy Relevance Model), développé par le groupe de travail du *Shift Project*, permet d'évaluer la pertinence énergétique nette de solutions connectées pour des cas d'étude définis.
- Ce modèle est un embryon d'outil, qui 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 *Shift Project* a fait le choix d'implémenter ce modèle mathématique sous Python, et de rendre le code accessible de manière libre.



- L'utilisation de l'outil et la mise en œuvre du type de méthodologie à suivre sont illustrées au travers de **trois cas d'étude** : deux pour l'éclairage connecté (local résidentiel privé et locaux professionnels tertiaires) ; un pour le compteur de consommation électrique communiquant.
- Ces études montrent que **la couche connectée n'est pas toujours indispensable pour rendre un système intelligent**. Elle doit être considérée pour les services supplémentaires qu'elle propose, les gains transversaux qu'elle peut engendrer, et les situations dans lesquels ces gains peuvent apparaître.
- Dans de nombreux cas, les technologies connectées en elles-mêmes ne peuvent devenir des solutions pertinentes que si elles font partie d'un programme plus large, d'accompagnement de changement des comportements de consommation par exemple.
- **La pertinence d'une technologie ne doit pas être présupposée selon des règles générales, mais évaluée pour chaque type de cas opérationnel**. Alors seulement serons-nous capables de déployer uniquement les outils que nous aurons jugés véritablement utiles, au vu de leur coût environnemental.

Un guide de pilotage environnemental du système d'information

Déployer une politique numérique durable



La motivation

Élaborer et lancer une stratégie informatique durable



Le bon entourage

S'engager avec les clients, les fournisseurs, les partenaires, les institutions vers des solutions et services durables



La salle de sport

Fabriquer un Système d'Information durable



Le style de vie

Développer une culture numérique durable



La pesée

Mesurer l'impact environnemental du Système d'Information de bout en bout



Le coach

Gouverner la transition vers un Système d'information durable



Fonction métier

Une fonction métier est un ensemble de comportements métiers basés sur un ensemble choisi de critères (généralement les ressources et/ou les compétences requises), étroitement alignés sur une organisation, mais pas nécessairement explicitement régis par l'organisation.



Capacité

Une capacité représente un potentiel qu'un élément de structure actif, comme une organisation, une personne ou un système, possède. Nous décrivons ici la capacité de l'organisation à fabriquer un système d'information soutenable.

Modèle de référence – vue de haut niveau – « Pour une remise en forme du Système d'Information » [Source : The Shift Project, production du groupe de travail]

- **Face au constat de l'augmentation de l'impact environnemental du numérique, les organisations doivent déployer une politique numérique durable.**
- Beaucoup de fournisseurs de services numériques ont fortement **optimisé leurs consommations d'électricité**. Les premières actions ont notamment été centrées sur les coûts directs de la consommation d'électricité des salles serveurs : renouvellement de matériels pour des équipements plus performants, travaux par des énergéticiens...
- Pour **maximiser la contribution à la neutralité carbone du secteur numérique**, il faut non seulement **optimiser l'usage de l'énergie et des ressources naturelles** mais également **minimiser le renouvellement des équipements et dédier les ressources aux usages qui ont la plus forte valeur sociétale**.
- À ce jour, peu d'organisations ont pris en compte **un périmètre holistique du système d'information** intégrant entre autres les services sous-traités, l'impact de la fabrication du matériel de l'infrastructure numérique, la performance du mix électrique des lieux de fabrication et d'opération, la formation et la gestion des compétences du numérique durable, les choix d'architecture et de développement logiciel. **Sans ce point de vue global**, le choix des solutions et les arbitrages sur les usages se fait avec des **angles morts qui peuvent cacher des impacts très conséquents de nature à changer les décisions**.
- Le secteur numérique suit actuellement des **dynamiques de croissance** inconscientes des limites physiques. Comme pour gérer une obésité croissante, il s'agit pour les organisations d'entamer **un programme «de remise en forme» de leur**

système d'information. Ce rapport a vocation à établir **un langage commun interprofessionnel** qui permette ce pilotage en s'appuyant sur la compréhension qu'ont les organisations de leur système d'information.

- Le cadre proposé sert à classer les activités déjà entreprises, évaluer leur maturité, les points forts et les points à développer ainsi qu'à se comparer au marché. Ce cadre, notamment inspiré de la pratique d'un grand groupe de l'assurance et du consortium de normalisation Open Group, devra être adapté au contexte particulier de chaque organisation.

Une étude de nos usages numériques : comprendre pour choisir

Des usages dont il faut retrouver la maîtrise

- Déployer la sobriété numérique nécessite de comprendre la manière dont nos choix technologiques impliquent de véritables choix de société. **Déployer une certaine infrastructure et les technologies attenantes, c'est choisir de favoriser, même par défaut, une certaine typologie d'usages** (qu'ils soient déjà existants ou émergents).
- **Nos usages numériques se construisent aujourd'hui autour d'automatismes**, de designs de captation de l'attention et de modèles économiques **rendant profitable la consommation continue de contenus rendus omniprésents**.
- Les technologies ne sont pas de simples outils mais une dimension supplémentaire et structurante de nos quotidiens, dans nos sphères professionnelles, académiques, familiales, individuelles voire intimes et dans les espaces publics.
- **La solution se construira à l'échelle collective.** L'échelle individuelle sert à comprendre comment se traduisent concrètement nos usages et leurs effets (positifs comme déléteurs). C'est ce qui alimentera le débat collectif, qui permettra de mettre en place des actions ayant un véritable effet systémique, à grande échelle.

Des politiques publiques à construire

- **Nos usages numériques doivent être pensés en termes de politique de santé publique, puisqu'ils présentent des risques de conséquences sanitaires** (sur le développement de l'enfant, les performances scolaires et académiques, de surcharge informationnelle etc.). Il est crucial de construire des palettes d'outils cohérentes et adaptées aux sphères concernées (éducatives, académiques, professionnelles, privées etc.).
- Pouvoirs publics, acteurs privés, régulateurs français et européens, communautés de designers et de consommateurs et experts des traductions sanitaires et sociologiques de nos choix d'usages sont les parties prenantes indispensables à impliquer. Il faut construire avec eux :
 - **Des outils de formation pour les acteurs collectifs** (milieu scolaire, académique supérieur et administrations publiques) sur l'évaluation des conséquences des choix technologiques (positifs comme déléteurs).
 - **Des supports pédagogiques pour les individus en position d'éducation (parents et autres rôles éducateurs).**
 - **Des leviers pour réguler les designs** de captation (autoplay, etc.) et d'exploitation des automatismes de consommation.
 - **Des réflexions sur les modifications à opérer dans les modèles économiques des fournisseurs de produits et de services numériques.**

Le présent rapport a bénéficié de la contribution de nombreux experts, réunis dans un groupe de travail piloté par Hugues Ferreboeuf.

La liste des membres du groupe de travail et la méthodologie sont disponibles dans l'avant-propos du rapport en version longue

Contact presse : Jean-Noël Geist, chargé des affaires publiques
06 95 10 81 91 / jean-noel.geist@theshiftproject.org

Remerciements

Hugues Ferreboeuf, directeur du groupe de travail « Déployer la sobriété numérique » pour *The Shift Project*, tient à remercier chaleureusement les experts qui nous ont étroitement accompagnés au sein de notre groupe de travail¹ :

- **Sylvain Baudoin** (Expert, Product Owner en production informatique – Axe 2)
- **Antoine Berthelin** (Kadensis, CTO – Rapport intermédiaire)
- **Amélie Bohas** (IAE Lyon School of Management - Université Lyon 3, EcoInfo - CNRS, Maître de conférence – Rapport intermédiaire)
- **David Bol** (Université Catholique de Louvain, Professeur en circuits et systèmes électroniques – Axe 1)
- **Jacques Combaz** (Université de Grenoble | CNRS EcoInfo, Enseignant-Chercheur – Axe 4)
- **Brunie Dayan** (ING, Architecte d'Entreprise – Axe 2)
- **Maureen Delaloi** (Rhapsodies Conseil, Senior Data Consultant – Axe 2)
- **Bruno Foucras** (Aix-Marseille Université, IUT Département Génie Thermique et Énergie, Professeur agrégé – Axe 1)
- **Raphaël Guastavi** (ADEME, Chef de service adjoint du Service Produits et Efficacité Matière – Axe 1)
- **Arnaud Gueguen** (7heures23, Formateur | Darwin-X, Consultant – Axe 2)
- **Philippe Guillouzic** (ADEME, Chef de projet transition numérique – Axe 2)
- **Axel Hurgon** (Association of Enterprise Architects Chapter France, Directeur Executif Architecture d'Entreprise Accenture France – Axe 2)
- **Leticia Iribarren** (Greenflex, Responsable Stratégie de l'offre RSE et Experte Numérique Responsable – Axe 3)
- **Céline Lescop** (AXA, Lead Data Architect – Pilote de l'Axe 2)
- **Jean-Pierre Loisel** (Institut National de la Consommation, Chef du service Communication Education Développement – Axe 3)
- **François Maitre** (Open Group France, Architecte d'Entreprise – Axe 2)
- **Kevin Marquet** (Université de Lyon, INSA Lyon, Inria, CITI | CNRS EcoInfo, Maître de Conférences – Axe 3)
- **Laurie Marraud** (EHESP, Maître de conférence | *The Shift Project*, Cheffe de projet Santé – Copilote de l'Axe 3)
- **Jean-Baptiste Piccirillo** (Rhapsodies Conseil, Consultant en Data Architecture et transformation – Axe 2)
- **Thibault Pirson** (Université Catholique de Louvain, Assistant de recherche (ICTEAM/ECS) – Axe 1)
- **François Richard** (The Shifters, Expert ICT – Rapport intermédiaire)
- **Laurent Trescartes** (Critical Building, Senior Consultant – Axe 4)
- **Xavier Verne** (SNCF Directeur de projet, Référent Sobriété Numérique – Axe 2)

¹ Axe 1 : « Analyse la pertinence énergétique des projets connectés » | Axe 2 : « Guider les organisations vers un Système d'Information durable » | Axe 3 : « Les usages numériques : une construction sociétale »

Nous remercions chaleureusement l'ensemble de nos autres relecteurs et relectrices pour leurs apports sur la rédaction de l'Axe 2 de nos travaux : **Nicolas Brogne** (Crédit Agricole Group Infrastructure Platform - consultant innovation), **Thomas Corvaisier** (Greenspector – cofondateur), **Audrey Danthony** (Consultante), **Isabelle Debeauvais** (Société Générale - Architecture Entreprise des systèmes d'information du Groupe), **Philippe Duret** (Consultant en transformation digitale), **Giulio Foresto** (Ingénieur en informatique - Architecte SI et Data), **Eric Fourboul** (Boavizta - Consultant Numérique Responsable), **Chloé Genin** (Crédit Agricole des Côtes d'Armor - Service Marché de l'Agriculture et de la mer - Chargée de mission RSE), **Erik Ghesquiere** (Associé du cabinet ORESYS /Animateur «AE écoresponsable» du Club URBA-EA), **Jean-Sébastien Goetschy** (Société Générale - Directeur Transverse des Systèmes d'Information du Groupe), **Philippe Guillouzic** (ADEME - Chef de projet transition numérique. Cellule Stratégie Numérique), **Anne-Laure Ligozat** (Université Paris-Saclay, CNRS, ENSIIE, LIMSI – Maîtresse de conférences), **Stephane Leclercq** (Société Générale - Innovation, Deep Tech et RSE des Systèmes d'Information du Groupe), **Nicolas Tarbes** (Centralp Embedded Electronics - Business Development Manager), **L'équipe « Digital Sustainability d'AXA »** dont les travaux ont inspiré ce document: Alexander Andin, Julien Albert, Joelle Allory, Virginie Bonnell, Guillaume Corve, Aurélie Jauneau, Julia Lepicier, Thomas Poignon, Iain Richardson, Yoann Walther. Nous remercions également l'ensemble des participantes et participants aux Ateliers collaboratifs du 16 janvier 2020, lors desquels la version intermédiaire de ce rapport a été présentée.

Nous remercions tout également nos contributrices pour leurs apports sur l'Axe 3 de nos travaux : **Florence Rodhain** (Docteure en systèmes d'information, Ecole polytechnique universitaire de Montpellier), **Elisabeth Baton-Hervé** (Docteure en sciences de l'information et de la communication).

Nous remercions également toute l'équipe du think tank *The Shift Project* pour son soutien, et particulièrement, pour la rédaction et le pilotage de ce rapport : **Maxime Efoui-Hess** (Coordinateur de Projet, *The Shift Project*) et **Zeynep Kahraman-Clause** (Directrice des Projets, *The Shift Project*).

Le soutien de l'**Agence Française de Développement**, de l'**ADEME** et du groupe **AXA**, qui ont parrainé ce projet et nous ont permis d'interagir avec leurs équipes, nous a été précieux.

Les interprétations, positions et recommandations figurant dans ce rapport ne peuvent être attribuées ni aux membres du groupe de travail, ni aux relecteurs, ni aux financeurs du projet. Le contenu de ce rapport n'engage que *The Shift Project*.

Table des matières

AVANT-PROPOS	3
RESUME AUX DECIDEURS	4
REMERCIEMENTS	8
TABLE DES MATIERES	10
INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES	12
INDICATIONS TECHNIQUES SUR LE RAPPORT	14
INTRODUCTION : LE NUMERIQUE, UNE TRANSITION A REPENSER	15
A. Le numérique, à la fois outil et défi pour la transition carbone	15
B. Des dynamiques numériques actuellement insoutenables	16
C. Pour une sobriété numérique.....	17
OBJECTIFS ET DEMARCHE DU GROUPE DE TRAVAIL	19
Les objectifs du projet.....	19
La démarche du groupe de travail.....	20
I. ANALYSER LA PERTINENCE ENERGETIQUE DES PROJETS CONNECTES	21
A. Comprendre les conditions de pertinence d’une technologie connectée : construction d’un outil de modélisation simple.....	21
B. Analyser les contextes de pertinence de déploiement des technologies : quelques cas d’étude pour l’éclairage connecté	26
C. Diversification du modèle pour d’autres technologies – l’exemple du Compteur communicant.....	38
D. Conclusions et recommandations méthodologiques générales.....	43
E. La « ville connectée » : du mot d’ordre à la stratégie territoriale intelligente.....	45

II. GUIDER LES ORGANISATIONS DANS LEURS EFFORTS VERS UN SYSTEME D'INFORMATION DURABLE	47
A. Contexte et objectifs	47
B. Le système d'information a un impact environnemental	48
C. Déployer une politique numérique durable pour la remise en forme du système d'information.....	52
D. Elaborer et lancer une stratégie informatique durable	55
E. Développer une culture numérique durable	57
F. Mesurer l'impact environnemental du Système d'Information de bout en bout.....	61
G. Fabriquer un Système d'Information durable	67
H. S'engager avec les clients, les fournisseurs, les partenaires, les institutions vers des solutions et services durables	76
I. Gouverner la transition vers un Système d'Information durable	82
III. LES USAGES NUMERIQUES : UNE CONSTRUCTION SOCIETALE AUX DIMENSIONS COLLECTIVES ET INDIVIDUELLES	91
A. La sobriété numérique : une question d'usages	91
B. Les usages numériques : une construction collective.....	92
C. La pénétration du numérique dans nos usages : une omniprésence non-pilotée	96
D. Conclusions : choisir un futur technologique, c'est faire le choix d'un certain avenir sociétal	103
CONCLUSIONS	106
BIBLIOGRAPHIE	108
AUTEURS PRINCIPAUX	115

Index des tableaux et figures

Tableaux

Tableau 1 - Résultats des modélisations des économies d'énergie directe pour les cas d'étude "locaux professionnels tertiaires" (calculs par DIALux®) Source : The Shift Project, production du groupe de travail..... 34

Tableau 2 - Résultats des modélisations d'économie directes (calculs par DIALux®) et d'économies nettes (par le modèle STERM) pour les cas d'études "locaux professionnels tertiaires" Source : The Shift Project, production du groupe de travail..... 34

Tableau 4 - Typologie des risques climatiques de transition et physiques..... 55

Figures

Figure 1 - Distribution de la consommation d'énergie finale du numérique par poste pour la production (45 %) et l'utilisation (55 %) en 2017 Source: (The Shift Project, 2018) 15

Figure 2 - Evolution 2013-2025 de la part du numérique dans les émissions de GES mondiales Source : (The Shift Project, 2018) 17

Figure 3 - Evolution de $\alpha(t)$ Source : The Shift Project, production du groupe de travail..... 26

Figure 4 - Temps de récupération T_{PB} en fonction de α , scénario 1 Source : The Shift Project, production du groupe de travail..... 29

Figure 5 - Gains énergétiques nets à la durée de vie du système en fonction de α , scénario 1 Source : The Shift Project, production du groupe de travail 29

Figure 6 - Courbes d'énergie cumulées en fonction du temps, scénario 1 Source : The Shift Project, production du groupe de travail..... 30

Figure 7 - Architecture du réseau "Compteur communicant". En bleu, modules composant le compteur communicant. Source : The Shift Project, production du groupe de travail..... 40

Figure 8 - Courbes d'énergie cumulées en fonction du temps, deuxième scénario Source : The Shift Project, production du groupe de travail..... 42

Figure 9 - les courbes d'explosion des données autrefois synonymes de croissance deviennent très préoccupantes Source : Reinsel, D., Gantz, J., Rydning, J., 2018 49

Figure 10 - System Thinking applied to the Information System of an organization - inspired by Thinking in Systems by Donella Meadows (Meadows, D., 2008) Source : The Shift Project, production du groupe de travail 50

Figure 11 - Modèle de référence – vue de haut niveau – pour une remise en forme du Système d'Information Source : The Shift Project, production du groupe de travail..... 52

Figure 12 - Modèle de référence – vue détaillée - pour une remise en forme du Système d'Information Source : The Shift Project, production du groupe de travail..... 54

Figure 13 – Risques, responsabilités et rôle de la DSI Source : The Shift Project, production du groupe de travail 56

Figure 14 - Transformation vers la sobriété numérique 61

Figure 15 – Schéma des différentes sources d'émissions liées aux activités d'une organisation. (PM = « Personne Morale ») Source : Méthode pour la réalisation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre – Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la terre (5)..... 62

Figure 16 - Bilan environnemental annuel du système d'information – modèle inspiré des travaux menés par le groupe AXA en 2020 dans le cadre du programme «Digital Sustainability» pour mesurer et piloter l'impact de son SI..... 63

Figure 17 - Mesurer l'impact environnemental du Système d'Information à différents niveaux Source : The Shift Project, production du groupe de travail 66

Figure 18 – Système d'information et de communication..... 67

Figure 19 – Une double approche pour identifier les exigences d'atténuation : par les usages et par l'infrastructure..... 68

Figure 20 - Influence sur la réalisation des exigences de la réduction de l'impact environnemental du SI..... 69

Figure 21 – Construire un système d'information sous contrainte 70

Figure 22 - Intégration des exigences environnementales dans la démarche agile Source : The Shift Project, production du groupe de travail..... 74

Figure 23 - Acteurs impliqués dans la chaîne de production d'une capacité numérique..... 76

Figure 24 - Schéma d'un modèle de gouvernance distribué Source : The Shift Project, production du groupe de travail..... 86

Figure 25 - Principes de gouvernance du système d'information durable..... 87

Figure 26 - Utilisation de l'iPad pendant un cours de 1h30 Source : (Rodhain, F., 2019) 101

Figure 27 - Corrélation entre les performances mathématiques et le nombre d'ordinateurs par étudiant Source : (OCDE, 2015)..... 102

Indications techniques sur le rapport

Liste des abréviations

IoT	Internet of Things – Internet des Objets
LED	Light Emitting Diodes
CFL	Compact Fluorescent Lamp
PUE	Power Usage Effectiveness
lm	lumen

Liste des symboles utilisés dans les calculs

T_{PB}	Payback time - Temps de récupération, ou d’amortissement
α	Coefficient d’économie d’énergie
β	Fraction du nombre d’heures d’utilisation autorisées sur 24h
$E_{savings}$	Diminution de consommation d’énergie permise par l’introduction de la couche connectée
E_{smart}	Consommation d’énergie totale associée à la couche connectée
$E_{smart,embodied}$	Consommation d’énergie associée à la phase de production de la couche connectée
$E_{smart,funct}$	Consommation d’énergie associée à la phase d’utilisation de la couche connectée
E_{ini}	Consommation d’énergie du système initial en fonctionnement, i.e. sans couche connectée

Interpréter les références bibliographiques

Les références bibliographiques sont citées dans ce rapport selon un code reprenant l’auteur principal et l’année de publication de la source. La référence (Byeon H. et al., 2015), par exemple, signifie qu’il faut se référer à l’article « *Relationship between television viewing and langage delay in toddlers* » publié dans la revue scientifique PLoS One en 2015 par Byeon H. et al. Les informations complètes sont accessibles dans la bibliographie, classée par auteurs par ordre alphabétique.

Introduction : le numérique, une transition à repenser

A. Le numérique, à la fois outil et défi pour la transition carbone

Les technologies de l'information, aujourd'hui centrales et essentielles dans tous les aspects de nos sociétés, possèdent de fait un rôle crucial dans la transition énergétique de nos économies. Cependant, si ces équipements numériques et les usages qu'ils permettent et promettent semblent être conçus pour relever des défis toujours plus grands, **cela ne les affranchit pas d'une réflexion sur leur pertinence.** Dans un monde où les ressources sont finies, il est important de se souvenir que chaque transformation physique et donc chaque action réclame de l'énergie. Y compris celle d'envoyer une information. **Les technologies numériques ne sont ainsi pas des outils virtuels, mais bien des supports physiques, même si nous n'en percevons pas directement la matérialité au travers des actions qu'ils permettent.**

Les technologies numériques forment un système d'envergure mondiale : les terminaux (smartphones, ordinateurs, tablettes etc.) se connectent entre eux via des infrastructures réseaux (câbles terrestres et sous-marins, antennes de réseaux mobiles, fibres optiques etc.) afin d'échanger des informations stockées et traitées dans les centres de données, cœurs battants de ce système. Or chacun de ces éléments nécessite de l'énergie non seulement pour fonctionner (phase d'utilisation) mais également, avant cela, pour être produit : **extraction minière des matières premières, processus industriels puis livraison aux consommateurs et consommatrices nécessitent des ressources conséquentes, loin d'être négligeables.**

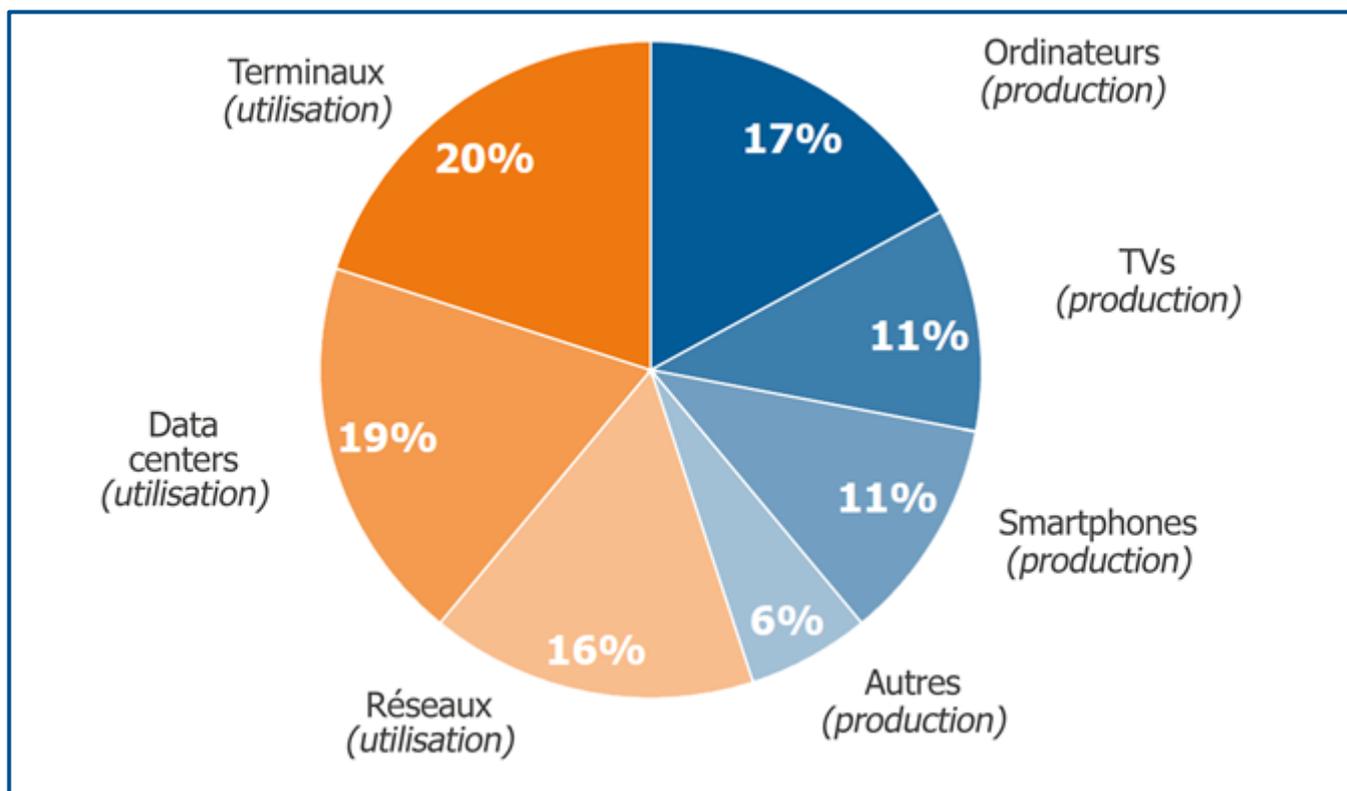


Figure 1 - Distribution de la consommation d'énergie finale du numérique par poste pour la production (45 %) et l'utilisation (55 %) en 2017
Source: (The Shift Project, 2018)

Chaque service numérique s'appuie sur des infrastructures physiques et induit donc certaines consommations d'énergie et de matière, elles-mêmes liées à des émissions carbonées. De ce fait, introduire une technologie numérique – même dans le but de diminuer une consommation énergétique, de réduire les émissions de carbone ou d'œuvrer aux transitions d'une quelconque manière – doit faire l'objet d'une réflexion. **Car si notre système numérique est un outil à la valeur certaine au vu des défis de ce XXI^{ème} siècle, il reste soumis aux mêmes contraintes physiques (disponibilité énergétique et en ressources minières,**

contrainte climatique, vulnérabilité des écosystèmes, autres contraintes environnementales) que l'ensemble des systèmes de la planète.

Cerné par ces contraintes, le système numérique est en danger. En effet, le caractère physique de ces contraintes les rend non-négociables, et elles s'appliqueront à nos systèmes qui devront y répondre avec le degré de préparation qu'ils auront alors. **A la fois outils cruciaux et porteuses de défis pour la transition énergétique, nos technologies ont besoin qu'une place leur soit construite avec rigueur et objectivité pour relever au mieux les enjeux de transition.**

Relever les enjeux de transition, c'est avant tout devenir résilient aux risques et perturbations qui s'annoncent pour les décennies à venir : modifications des conditions climatiques, risques sur la disponibilité des énergies fossiles et des ressources minières, risques géopolitiques et sanitaires généralisés d'une société mondialisée sont autant de situations pour lesquels nos systèmes ne sont pas conçus. La crise sanitaire a mis en valeur l'étendue des possibilités que les outils numériques offrent en termes d'adaptabilité et de réactivité pour nos activités.

Le constat est cependant double : les technologies de l'information peuvent être un atout des plus précieux, mais la dépendance de la stabilité de notre économie aux outils numériques est totale. Dans un contexte de risques physiques et mondialisés, réfléchir à la résilience de nos sociétés et activités est indispensable si nous souhaitons les préserver. **Dans le contexte qui est le nôtre pour ce siècle, il est inévitable de réfléchir aux stratégies à déployer pour assurer la solidité de nos infrastructures numériques.**

B. Des dynamiques numériques actuellement insoutenables

Le numérique tel qu'il est conçu et utilisé aujourd'hui évolue selon des dynamiques qui sont incompatibles avec les contraintes inhérentes à des ressources finies.

En 2019, près de 4 % des émissions carbonées mondiales sont dues à la production et à l'utilisation du système numérique. Cela représente davantage que les 2 % usuellement attribués au transport aérien civil et, avec une augmentation qui s'élève aujourd'hui à 8 % par an, cette part pourrait doubler d'ici 2025 pour atteindre 8 % du total – de l'ordre des émissions des voitures et deux-roues actuellement (cf. Figure 2).

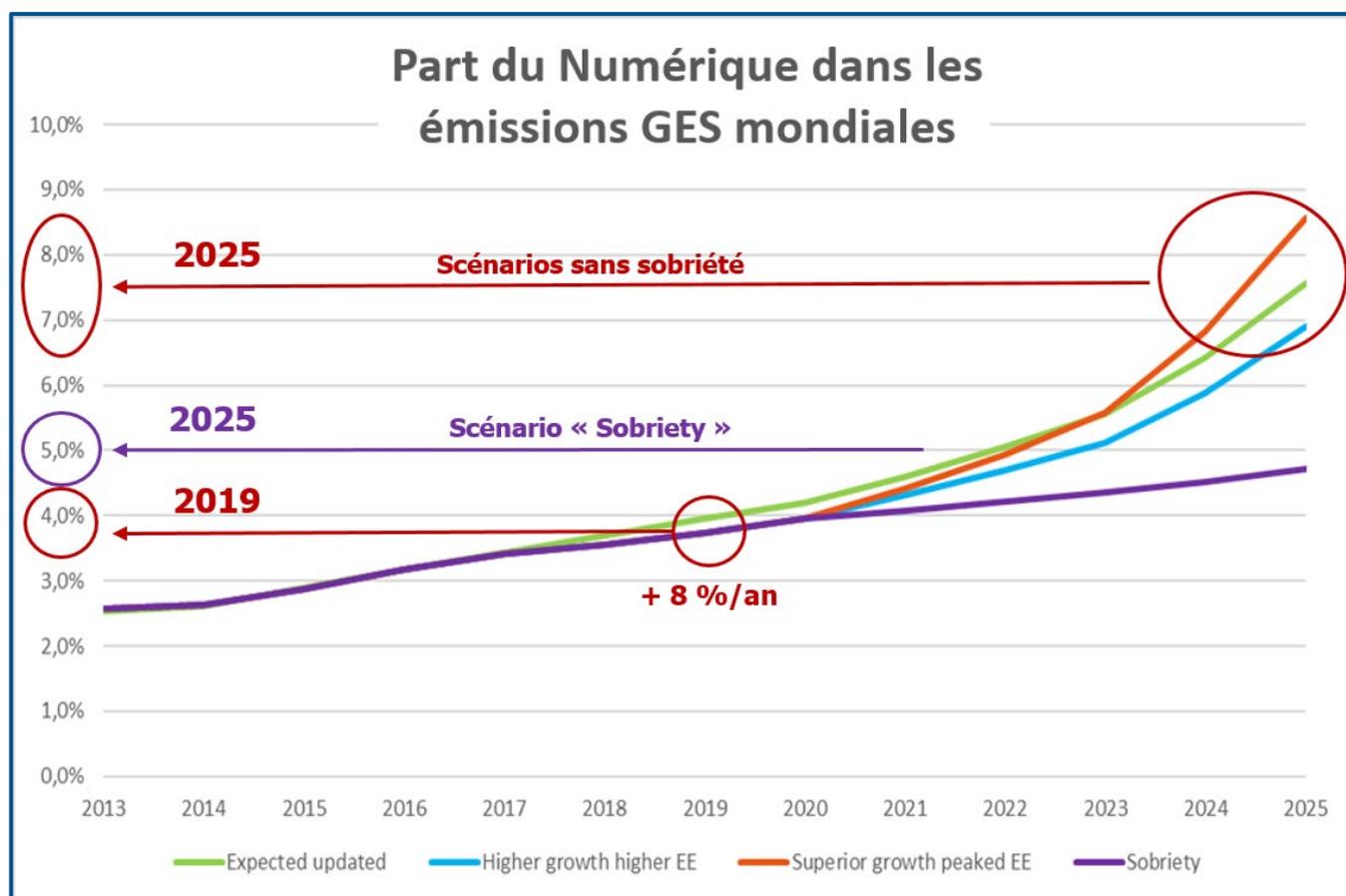


Figure 2 - Evolution 2013-2025 de la part du numérique dans les émissions de GES mondiales
Source : (The Shift Project, 2018)

Le respect des accords de Paris, dont l'objectif auto-imposé des 2 °C vise à assurer la résilience de nos systèmes, nécessite une diminution des émissions mondiales d'au moins 5 % par an. Or, à l'heure qu'il est, nos émissions mondiales continuent d'augmenter malgré la numérisation intensive de nos activités.

Lors de l'élaboration de notre premier rapport (*The Shift Project*, 2018), nous avons proposé un scénario « Sobriety », démontrant qu'il est possible d'infléchir une première fois la dynamique du numérique sans pour autant remettre en cause le principe même de la transition numérique². Bien que ce scénario permette de ramener l'augmentation de l'impact du numérique à la tendance globale actuelle tous secteurs confondus³, il ne suffit pour autant pas à rendre la transition numérique compatible avec les accords de Paris.

S'il n'est pas suffisant, ce scénario permet cependant de montrer que la trajectoire d'émissions suivie par notre système numérique est très fortement dépendante de la manière dont nous choisissons d'utiliser ces outils, bien plus que de l'avancement technologique lui-même : **malgré les avancées technologiques prodigieuses de ces dernières années, une réduction effective de la consommation énergétique totale de nos technologies ne peut se faire à court et moyen termes qu'au travers d'un système d'usages construit et réfléchi.**

Préserver les apports de nos systèmes numériques passe par le pilotage de leurs dynamiques de développement : en termes de généralisation de nouveaux usages, de déploiement de nouvelles infrastructures, de commercialisation de nouveaux terminaux et solutions techniques. A l'heure de la politisation forte et de la polarisation des débats sur les technologies numériques – comme celui attendant au déploiement de la 5G par exemple – il serait une erreur de continuer de considérer ces services comme de simples solutions à des problèmes actuels et futurs.

Notre compréhension des systèmes numériques, de leurs enjeux, de leurs atouts mais aussi de leurs vulnérabilités a aujourd'hui atteint un nouveau stade de maturité. Il doit nous permettre de passer d'un usage insouciant à un usage résilient, en comprenant les arbitrages que nous avons jusqu'alors fait implicitement et en construisant les conditions de pertinence de nos déploiements.

C. Pour une sobriété numérique

1. La sobriété numérique – son objectif

La sobriété numérique appelle à tirer parti de nos capacités d'analyse pour construire et utiliser un système numérique qui, en ramenant sa consommation de ressources matérielles et énergétiques à un niveau compatible avec les contraintes environnementales, préserve ses apports sociétaux essentiels.

2. La sobriété numérique – sa problématique

La question centrale de la réflexion sur la sobriété numérique est celle des usages.

Le système d'usages est intrinsèquement lié à la réalité physique des infrastructures : par exemple, l'évolution du volume de données entraîne le développement des infrastructures qui les transportent, les traitent et les conservent, permettant ainsi à de nouveaux usages d'apparaître, eux-mêmes plus gourmands en données grâce à cette nouvelle disponibilité. C'est cet enchaînement d'effets rebond qui régit aujourd'hui l'évolution du système numérique mondial et que la sobriété numérique questionne (*The Shift Project*, 2018) (*The Shift Project*, 2019) :

Comment construire notre système d'usages et le système technique qui le sous-tend pour rendre le numérique résilient ?

² Dans ce scénario, le volume de données transitant dans les centres de données augmente encore de 17 % par an, le trafic sur les réseaux mobiles de 24 % par an, et le nombre de smartphones et téléviseurs produits chaque année se stabilise au niveau de 2017 – alors que les marchés des pays occidentaux sont aujourd'hui proches de la saturation.

³ Ce scénario permet de ramener l'augmentation de la consommation énergétique du numérique à 1,5 % par an.

3. La sobriété numérique – un changement de paradigme

La démarche de sobriété numérique consiste à **passer d'un numérique devenu instinctif à un numérique conscient et réfléchi**. Il est nécessaire d'identifier les apports sociétaux du numérique à préserver et développer, afin de pouvoir leur allouer en priorité les ressources disponibles.

La question de « l'utilité » d'un apport est bien entendu une question subjective, mais qu'il est nécessaire de poser collectivement si l'on veut assurer la résilience du système numérique⁴. En tant que composante d'un projet de société, de manière explicite et ce malgré sa complexité. C'est donc une question qui est, au fond, éminemment politique au sens premier du terme.

Le changement de paradigme correspondant à l'adoption de la sobriété numérique concerne l'ensemble des acteurs interagissant avec, par et pour le numérique : il est donc de nature systémique.

⁴ Les acteurs compétents sur les questions des usages en lignes (organes régulateurs, pouvoirs publics, communautés de designers, plateformes de diffusion de contenus en ligne, groupement de consommateurs etc.) existent déjà au niveau national et international. Les convoquer au sein d'une réflexion sur les usages est possible et indispensable (The Shift Project, 2019).

Objectifs et démarche du groupe de travail

Les objectifs du projet

L'objectif de cette étude est d'explorer les questions qui sont soulevées lorsqu'il s'agit de mettre en pratique la sobriété numérique. Notre premier rapport, « Lean ICT – Pour une sobriété numérique » (*The Shift Project*, 2018), a permis de dresser les constats quantitatifs indispensables pour comprendre et caractériser l'impact environnemental du numérique. Notre second rapport, « Climat : l'insoutenable usage de la vidéo en ligne » (*The Shift Project*, 2019), a commencé à identifier les questions indispensables à la réalisation d'un système d'usages sobre opérationnel.

Le présent rapport met à disposition un ensemble de constats et de cadres méthodologiques utilisables par le grand public, les entreprises, les collectivités publiques et l'État pour définir et déployer des stratégies de sobriété numérique.

Axe 1 : évaluer et renforcer la pertinence énergétiques des technologies connectées

Le concept de « ville connectée », « ville intelligente », ou bien « Smart City », regroupe aujourd'hui de nombreuses réalités et ambitions différentes. A la fois mot d'ordre de politiques publiques et engouement du secteur privé, la ville connectée ambitionne de s'inscrire dans un futur qu'elle peine pourtant souvent à caractériser.

L'un des objectifs de ce rapport est de construire un cadre méthodologique illustré par des cas d'études (essentiellement autour de l'éclairage connecté) permettant aux acteurs stratégiques de la ville connectée (acteurs de politiques publiques, entreprises en transformation numérique, autres acteurs privés) d'évaluer la pertinence énergétique de leurs projets numériques, en les aidant à identifier les caractéristiques indispensables à donner à leurs outils d'analyse et décisionnels.

Axe 2 : piloter la transformation numérique d'une organisation pour rendre son système informatique soutenable

L'intégralité des organisations (entreprises, associations, institutions etc.) ont recours aux outils numériques dans leurs activités. Leurs stratégies de développement, d'optimisation ou de transformation s'appuient massivement sur des projets numériques sans qu'il y ait généralement de mesure ou d'évaluation prévisionnelle de leur empreinte environnementale.

L'un des objectifs de ce rapport est de proposer un cadre méthodologique qui s'intègre dans les processus de décision existants de l'entreprise (notamment au moyen des référentiels d'Architecture d'Entreprise) et qui permette d'accélérer la mesure et la réduction de l'empreinte environnementale du système d'information d'une organisation, afin d'assurer sa soutenabilité et la résilience des activités qui y sont liées.

Axe 3 : explorer et comprendre les articulations entre usages humains et outils numériques

Les infrastructures et équipements numériques sous-tendent un système d'usages qui les justifient et les légitiment. Mettre en place une sobriété numérique en pratique implique donc de comprendre comment ces deux composantes du système numérique, « technologies » et « usages humains », interagissent.

L'un des objectifs de ce rapport est de construire une vision factuelle des mécanismes de construction de nos usages numériques actuels ainsi que de leurs effets, aux échelles individuelles comme collectives. Cela permet de soulever certaines questions sociétales indispensables à traiter pour discuter de la sobriété numérique en pratique, d'identifier des leviers de transformation de nos systèmes d'usages et d'orienter les politiques publiques vers la sobriété numérique.

La démarche du groupe de travail

Le groupe de travail « Déployer la sobriété numérique » réunit 25 personnes issues du milieu universitaire, d'entreprises du secteur, du milieu associatif et des différentes sphères expertes des problématiques traitées. Au travers de réunions régulières, de travaux collaboratifs et d'interviews d'acteurs et experts extérieurs depuis mars 2019, ses membres ont pu produire les modélisations, analyses, conclusions et recommandations qui sont réunies dans ce rapport.

Ce groupe de travail s'est organisé en trois grands axes qui structurent les réflexions et les objectifs de ce rapport : la **pertinence énergétique des technologies connectées**, la **stratégie numérique des organisations**, et la **question des usages**.

I. Analyser la pertinence énergétique des projets connectés

A. Comprendre les conditions de pertinence d'une technologie connectée : construction d'un outil de modélisation simple

1. Contexte et objectifs

a. La sobriété numérique : savoir pourquoi et comment déployer ses technologies innovantes

La « ville connectée », la « ville intelligente », ou la « Smart City » : à la fois mot d'ordre de politiques publiques et engouement du secteur privé, la ville connectée regroupe aujourd'hui de nombreuses réalités et ambitions différentes, souvent peu clairement définies.

Fortement répandu au sein des stratégies territoriales, le concept de « ville intelligente » est l'un des deux impératifs des collectivités aujourd'hui : la stratégie de la ville du futur, c'est une stratégie qui traite de transition numérique d'une part et de transition environnementale de l'autre. Or, ces dynamiques deviennent concurrentes et contraires si l'effort de conception et d'évaluation quantitative n'est pas fait avec une rigueur et une envergure suffisante.

La ville intelligente appelle donc bien davantage que la mise en place d'une superposition de services et d'infrastructures connectées. Une ville intelligente, c'est une ville qui saura comprendre les implications des technologies auxquelles elle recourt. Elle sera capable d'identifier les variables à mesurer et ajuster pour s'assurer que sa numérisation soit avant tout compatible avec les contraintes naturelles. Elle sera ensuite et surtout un atout quantitatif pour sa stratégie de transition environnementale.

Pour construire une ville numérique viable et résiliente, il est nécessaire d'évaluer systématiquement la pertinence énergétique et carbone d'une technologie ou d'un service avant leur mise en place. Il est nécessaire de conditionner le déploiement d'une solution numérique à une évaluation quantitative en termes de réduction de la consommation énergétique. L'ajout d'une couche intelligente à un service ou à une activité engendre en effet des consommations et émissions indirectes ou contre-intuitives (lors de la phase de production ou des phases de veille, par exemple) qu'il est nécessaire de prendre en considération chiffrée pour assurer la résilience de la ville et de ses composantes.

Faire un choix de déploiement, c'est prendre un certain chemin technologique. Déployer une infrastructure sur son territoire, c'est soutenir certaines dynamiques d'usages ; en d'autres termes, il s'agit de conditionner les déploiements qui suivront dans tous les secteurs impactés, qui seront en accord avec ces évolutions. Ainsi, faire des choix technologiques sans se donner les moyens d'en évaluer la pertinence en amont, c'est risquer de rendre le territoire et ses acteurs davantage vulnérables aux risques des décennies à venir.

Le coût du déploiement (environnemental, énergétique, carbone, en termes de besoin de maintenance et donc de formation et d'intrants extérieurs etc.) doit être évalué de manière systématique et exhaustive. Alors seulement les territoires seront en mesure de construire des stratégies pertinentes de résilience. Ces évaluations et ces stratégies doivent être réalisées par les acteurs impliqués, aux différentes échelles : au niveau de l'entreprise, de l'organisation, de l'administration, du foyer ou du territoire.

b. Caractériser les conditions de pertinence d'une technologie « Smart »

Les technologies « connectées » se fondent de plus en plus avec les terminologies des technologies dites « intelligentes » ou « smart ». Or il est important de mener la discussion sur le sens véritable de ce champ lexical : s'agit-il d'objets simplement connectés entre eux ? Ou bien permettant la délégation de la gestion du système dans lequel ils sont intégrés à de l'électronique spécifique ? A une « intelligence » numérique ? Ou encore, cela implique-

t-il que l'ajout cette gestion déléguée soit réellement compensé par les économies et atouts qu'elle prétend garantir ?

L'ajout d'une couche intelligente dans une infrastructure engendre la délégation de sa gestion à des microcontrôleurs via l'introduction d'électronique, de capteurs, de dispositifs de communication entre eux ainsi que d'algorithmes de prise de décision et d'optimisation. Bien que les gains énergétiques directs permis par l'introduction de la couche connectée soient souvent quantifiés, deux dimensions essentielles sont souvent occultées :

- La quantification de l'énergie consommée par la couche intelligente elle-même n'est pas suffisamment systématique,
- L'énergie grise⁵ n'est quantifiée et prise en compte que de manière très rare,
- Les conséquences des « effets rebond⁶ » sont rarement étudiés et difficilement modélisables.

Il est pourtant fondamental d'être en mesure de quantifier le coût énergétique global et total de la technologie et du système dans lequel elle s'inscrit, de leur production à leur mise en place : c'est bien la mise en regard du coût énergétique et carbone total avec la réduction permise par la technologie qui permet d'en évaluer la pertinence de manière objective.

Ce travail vise ainsi à produire un cadre méthodologique illustré par certains exemples d'application devant permettre aux acteurs de la ville connectée (aux différentes échelles du territoire, des acteurs publics institutionnels aux foyers et entreprises) d'évaluer l'empreinte énergétique d'une technologie connectée et ses apports en termes de réduction des consommations. Ceci afin de calibrer leurs stratégies d'infrastructures connectées avec une pertinence démontrée et vérifiable.

Nous présentons ici un modèle explicitant les dimensions nécessaires à l'évaluation de la pertinence **énergétique**. Les cas d'études ensuite décrits servent non pas à construire des démonstrations générales, mais à illustrer :

- Les questions centrales qui émergent lorsque la pertinence est traitée de manière objective ;
- La manière dont peut être repris, utilisé et même adapté ce modèle par des acteurs qui souhaiteraient construire leurs propres outils et méthodologies d'évaluation.

Il est essentiel de comprendre qu'une réponse générale à la question « cette solution technologique est-elle pertinente vis-à-vis des défis énergétiques ? » n'existe pas. Elle doit être construite par les acteurs qui souhaitent déployer la technologie, pour chaque typologie de situation, afin de comprendre :

- Dans quel cadre et sous quelle condition cette technologie devient pertinente ;
- La manière de créer et favoriser ce cadre de pertinence.

2. Démarche et présentation du modèle

a. Le modèle STERM

Dans le cadre de l'élaboration de ce rapport, nous avons mis au point un modèle ayant vocation à rendre possible l'évaluation de la pertinence énergétique d'une technologie connectée.

⁵ Consommation d'énergie due à la phase de production (extraction des matières premières, production des composants et du produit fini et livraison aux points de vente), en amont de la phase d'utilisation.

⁶ Le terme « effet rebond » désigne le phénomène historiquement observé selon lequel une amélioration de l'efficacité (en termes de consommation de ressources) d'une technologie ou d'un service entraîne l'augmentation de son usage, ce qui va contrebalancer les économies directes qui avait été permises et aboutir à une atténuation des gains espérés, voire à une augmentation de la consommation totale nette de ressources.

L'approche développée ici est une approche ayant déjà été explorée dans la littérature scientifique. Les travaux ici menés l'ont été avec l'ambition de construire un cadre méthodologique clair quant aux mécanismes de construction du modèle et ses applications possibles.

Ces travaux ont vocation à être repris par les acteurs publics et privés susceptibles d'effectuer des choix technologiques, afin :

- **De construire leurs propres outils, à partir du modèle ici présenté, en le complétant, le complexifiant ou en le réadaptant aux besoins des acteurs ;**
- **D'acquérir les réflexes méthodologiques essentiels à une évaluation exhaustive de la pertinence du déploiement d'une technologie dans un contexte donné.**

Le modèle auxquels ont abouti nos travaux, **appelé modèle STERM – Smart Technologies Energy Relevance Model**, est construit selon une méthodologie et une formulation mathématique dont les détails sont disponibles de manière exhaustive dans le corps et les annexes de ce rapport, accompagnés d'une description de l'implémentation en langage Python utilisée pour effectuer les calculs présentés⁷.

b. L'objet d'étude « Smart light, lumière connectée »

Dans les travaux qui sont présentés dans ce rapport, les cas d'étude et le modèle sont construits sur la base d'un exemple de technologie connectée : la **lumière connectée**.

Cet exemple a été sélectionné pour plusieurs raisons :

- Son architecture simple mais illustrative d'un objet connecté : la couche connectée ajoutée au système luminaire initial.
- La pluralité des situations dans lequel il s'illustre : le local résidentiel, le milieu professionnel, l'éclairage public etc.
- La couverture des problématiques liminaires de l'introduction des technologies connectées : les économies directes d'énergie, les motivations du déploiement d'une couche connectée, la place de la couche connectée par rapport à une optimisation directe du système initial etc.
- La simplicité de modélisation, qui permet de servir de support à la mise au point d'un modèle qui pourra ensuite être complexifié pour devenir applicable à d'autres technologies et cas d'étude.

La lumière connectée sera ainsi ici étudiée non pas pour démontrer une pertinence de cette technologie en particulier, mais pour élaborer les outils méthodologiques qui permettront ensuite aux acteurs de construire leurs approches sur leurs propres cas d'étude et technologies.

c. Hypothèses

- La phase de fin de vie n'est pas prise en compte : en cohérence avec les méthodologies adoptées dans nos précédents travaux (*The Shift Project*, 2018) et au vu des données disponibles, ne sont considérées que les phases de production et d'utilisation des équipements.
- Les impacts de la phase d'installation du système (chez un particulier, par exemple) n'ont pas été pris en compte.

⁷ cf. Annexe

- La quantification de l'énergie grise pour l'électronique présente dans le système est établie sur la base d'une cartographie au meilleur candidat dans la base de données « GaBi Electronics XI » de la société SPHERA-THINKSTEP⁸, avec comparaison des ordres de grandeurs obtenus à la littérature disponible. La quantification est réalisée pour les composants structurants⁹.
- La quantification des gains énergétiques potentiels est exprimée en énergie primaire. Un facteur de conversion moyen (i.e. $C = 3$) a été considéré entre kWh_{elec} et kWh_{primaire} (Taylor, 2015).
- Le profil de puissance à l'utilisation a été défini par une limite basse, confirmée par les mesures électriques réalisées¹⁰.
- L'échange dynamique de données dans le système local n'est pas considéré et les communications vers un éventuel cloud ou réseau externe (par exemple, internet) ne sont pas considérées.
- Quelle que soit la configuration choisie, un *gateway*¹¹ doit systématiquement être présent puisqu'il fonctionne comme coordinateur de ce réseau connecté. Aussi, en accord avec les spécifications techniques du système considéré, un *gateway* peut gérer un maximum de 50 connexions (lampes, capteurs...).
- Concernant les gains énergétiques potentiels rendus possibles par l'intégration de ce genre de système, ils ont été évalués via une analyse de la littérature disponible (Martirano, L., 2011), (Lin, et al., 2019), (Tejani, Al-Kuwari, & Potdar, 2011).
- La durée de vie du système a été fixée à 5 ans.
- Les lampes connectées considérées sont uniquement de type LED.
- Trois cas sont considérés pour la phase d'utilisation et pour la phase de production :
 - Un cas « limite basse » : pour la phase d'utilisation, on considère une consommation de veille résultant d'une mesure¹² pour les lampes connectées lorsqu'elles sont éteintes. On considère que le *gateway* est en veille 99% du temps. Pour la phase de production, une quantification optimiste a été réalisée¹³.
 - Un cas « moyen » : pour la phase d'utilisation, on considère une consommation de veille respectant les spécifications annoncées par le fabricant pour les lampes connectées lorsqu'elles sont éteintes, hormis pour le *gateway* qui ne semble jamais rentrer en veille en pratique. Pour la phase de production, une quantification « au meilleur candidat » a été réalisée.
 - Un cas « limite haute » : pour la phase d'utilisation, on considère une consommation de veille respectant les spécifications annoncées par le fabricant pour les lampes connectées lorsqu'elles sont éteintes, hormis pour le *gateway* qui ne semble jamais rentrer en veille en pratique. Pour la phase de production, une quantification plus large a été réalisée.
- Le capteur de présence permet de basculer les luminaires entre les positions « allumés » et « éteints » en fonction de la présence de mouvement dans sa zone de détection. La fonctionnalité de *dimming*, qui consiste en une adaptation dynamique des luminaires en fonction de l'illumination courante et détectée par le capteur, n'est pas considérée ici¹⁴.

⁸ <http://www.gabi-software.com/support/gabi/gabi-database-2020-lci-documentation/extension-database-xi-electronics/>

⁹ Détails des hypothèses exactes en Annexe.

¹⁰ Détails de la campagne de mesures réalisées disponibles en Annexe.

¹¹ cf. définition dans la description du système : section B.1 de cette partie.

¹² Lien vers la mesure utilisée : <https://www.anandtech.com/show/6805/philips-hue-automated-home-lighting-gets-colorful/6>.

¹³ Détails des évaluations de l'énergie grise disponibles en Annexe.

¹⁴ Le modèle construit permet cependant d'intégrer une simulation de ce type d'usage : jouer sur une atténuation de l'éclairage fera varier la consommation du luminaire, ce qui peut être traduit par une variation du coefficient d'économie d'énergie α (comme détaillé dans ce rapport).

d. Formalisation mathématique de la pertinence énergétique

Afin d'évaluer la pertinence **énergétique** de l'introduction d'une couche smart dans un environnement, une fonction de coût global $G(t)$ peut être définie (démarche similaire à (Kumar T., 2017) et (Van Dam, 2013))¹⁵ :

$$G(t) = C \cdot E_{savings}(t) - E_{smart}(t)$$

Cette fonction évalue, en fonction du temps, le gain énergétique (en énergie primaire) net $G(t)$ réalisé en tenant compte :

- Du facteur de conversion C d'énergie électrique en énergie primaire¹⁶.
- De la diminution de consommation énergétique permise par l'introduction de la couche smart (meilleure gestion de l'infrastructure) – cette diminution est modélisée comme un pourcentage de la consommation énergétique initiale du système d'éclairage :

$$E_{savings}(t) = E_{ini}(t) \cdot \alpha$$

, où α est appelé « coefficient d'économie d'énergie ».

- De l'énergie de fonctionnement ainsi que de l'énergie grise nécessaire pour produire les différents éléments de la couche intelligente et connectée :

$$E_{smart}(t) = E_{smart,embodied} + C \cdot E_{smart,funct}(t)$$

L'analyse de cette fonction permet d'obtenir le point dit de **neutralité énergétique**, qui correspond au temps d'amortissement, ou **temps de récupération**, à partir duquel les économies permises par l'introduction de la couche intelligente compensent le coût énergétique de sa production et de son exploitation.

Ce point de neutralité énergétique est défini par $G(T_{PB}) = 0$, où T_{PB} ¹⁷ est le temps de récupération (i.e. « *payback time* ») mentionné précédemment. Par conséquent, plus la valeur de T_{PB} est faible, plus il est intéressant d'introduire une couche smart dans l'environnement considéré, à condition que des gains nets soient en même temps réalisés à la fin de vie du système¹⁸. Il est important de noter dès à présent que cet indicateur ne permet pas de capturer à lui seul toutes les informations nécessaires pour conclure sur la pertinence d'un projet smart. Cependant, **il motive une démarche plus systémique et davantage basée sur la méthodologie du cycle de vie**, ce qui est indispensable à la construction de stratégie de diminution **nette et réelle** des émissions de nos chaînes de valeur.

e. Modélisation de la variabilité des potentiels d'économie

En pratique cependant, les gains réalisés grâce à l'introduction de la couche intelligente et connectée ne sont pas systématiquement constants dans le temps – notamment, par exemple et comme exploré dans la suite de ce rapport, lorsque les gains d'énergie sont obtenus par des changements de comportement engendrés par l'utilisation des nouveaux outils connectés. Cette variation temporelle des gains permis par la technologie peut être modélisée par l'introduction d'une dépendance temporelle pour le coefficient d'économie d'énergie α , qui devient $\alpha(t)$.

¹⁵ Les détails des calculs et de la formalisation sont disponibles en annexe.

¹⁶ Une valeur de $C=3$ a été considérée dans ce rapport (Taylor, 2015)

¹⁷ Expression mathématique de T_{PB} disponible en annexe.

¹⁸ Les effets d'une variation dans le temps des économies permises par la couche intelligente (notamment quand liées à des changements de comportement) peuvent en effet rendre un système inefficace en fin de vie malgré un bilan positif en début de vie (exploré dans la suite de ce rapport).

Plusieurs modèles sont possibles pour décrire les variations du coefficient α , et leur pertinence dépendra du type de phénomène modélisé (type de changement de comportement, par exemple). Dans ce rapport, le modèle qu'il a été choisi d'explorer et mettre en œuvre est celui dit d'« évolution en escaliers » (cf. *Figure 3 - Evolution de $\alpha(t)$*). Ce choix a été motivé par deux raisons principales :

- Le fait que cette modélisation ait déjà été étudiée dans la littérature aujourd'hui accessible (Van Dam, 2013) nous permet d'en évaluer la pertinence sur la base de travaux précédents.
- Le développement mathématique à la base de ce modèle « en escalier » reste simple et accessible, ce qui facilitera la compréhension puis la réutilisation du modèle présenté dans ce rapport¹⁹.

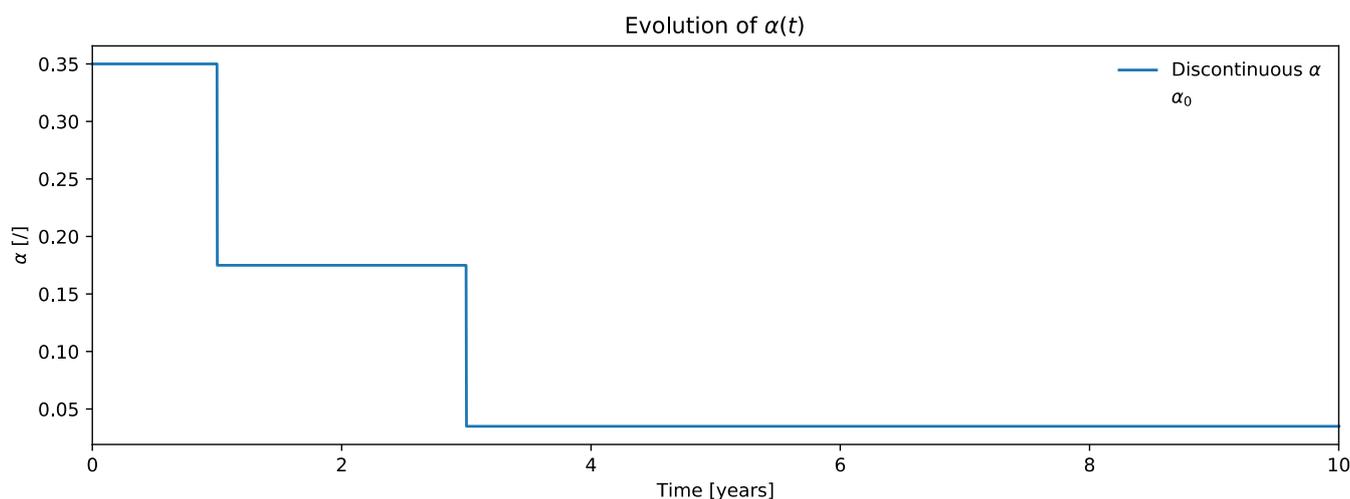


Figure 3 - Evolution de $\alpha(t)$ ²⁰
Source : The Shift Project, production du groupe de travail

B. Analyser les contextes de pertinence de déploiement des technologies : quelques cas d'étude pour l'éclairage connecté

Trois familles de figures sont présentées dans ce rapport :

1. Le temps de récupération T_{PB} en fonction de α
2. Les gains énergétiques nets à la durée de vie du système en fonction de α
3. Les courbes des gains énergétiques cumulés en fonction du temps

La visualisation du temps de récupération T_{PB} en fonction de α pour toute la gamme de α – plutôt que pour une valeur unique du coefficient – permet principalement d'observer :

- La limite basse de α en-dessous de laquelle le temps de récupération est inférieur à la durée de vie et d'ainsi évaluer la possibilité pratique de rendre le système pertinent.
- L'influence du comportement de l'utilisateur sur le temps de récupération (via le changement de la valeur du coefficient).

¹⁹ La modélisation de $\alpha(t)$ par une exponentielle décroissante a également été développée et implémentée par les membres du groupe de travail dans le cadre des recherches menées (référénts : David Bol, Thibault Pirson), mais n'est pas publiée dans ce rapport. Il s'agit cependant des pistes de complexification possible du modèle, qui pourront être explorées par les acteurs s'en saisissant.

²⁰ La modélisation utilise ici le paramétrage suivant : $\alpha_0 = 0.35$, $r_0 = 1$, $r_1 = 0.5$, $r_2 = 0.1$, $t_1 = 1$, $t_2 = 3$, $t_3 = 10$. Liste des paramètres et description exhaustive de la modélisation disponible en Annexe.

Les différentes courbes observables sur les figures présentes dans ce rapport sont les suivantes :

Courbes du temps de récupération T_{PB} en fonction de α :

- *Typical* : estimation correspondant au cas « moyen » défini précédemment (cf. « A.2. Hypothèses »)
- *Upper boundary* : estimation correspondant au cas « limite haute » défini précédemment
- *Lower boundary* : estimation correspondant au cas « limite basse » défini précédemment
- *Influence of a varying α on the typical scenario* : estimation correspondant au cas « moyen » défini précédemment mais avec α variant au court du temps
- *System's lifetime* : durée de vie du système (borne maximale pour le temps de récupération T_{PB})
- *W-savings boundary* : limite basse pour α afin d'assurer un bilan énergétique nul à la durée de vie du système

Courbes des gains énergétiques nets à la durée de vie du système en fonction de α :

- *Best case savings* : gains énergétiques à la durée de vie du système pour α constant dans le temps
- *Worst case savings* : gains énergétiques à la durée de vie du système pour α qui a varié dans le temps
- *No savings* : bilan énergétique nul à la durée de vie du système
- *W-savings boundary* : limite basse pour α afin d'assurer un bilan énergétique nul à la durée de vie du système

Courbes des gains énergétiques cumulés en fonction du temps :

- *Embodied energy* : consommation d'énergie due à la phase de production (énergie grise)
- *Use-phase energy* : consommation d'énergie de tout le système en phase d'utilisation
- *Energy for the smart layer* : consommation d'énergie de la couche connectée en phase d'utilisation
- *Energy saved thanks to the smartness* : économies d'énergie due à la couche connectée
- T_{PB} : temps d'amortissement
- $T_{lifetime}$: durée de vie du système

1. Cas d'étude : le local résidentiel – Le « fonctionnel *only* » et les technologies de confort

a. Description du cas d'étude

- **Situation décrite par le cas d'étude**

Ce premier cas d'étude porte sur l'éclairage connecté dit « intelligent » conçu à destination des espaces résidentiels. C'est un domaine dans lequel plusieurs produits existent déjà sur le marché, permettant ainsi à n'importe quel particulier de se procurer ce matériel. L'intérêt de ce cas d'étude vient également des **tendances actuelles** concernant l'IoT et notamment leurs application domotiques au sein des « maisons connectées » (qui participent aux prévisions d'augmentation exponentielle du nombre de dispositifs de ce type) (CISCO, 2019).

L'objectif ici est d'interroger l'intérêt de l'introduction d'une technologie dit « intelligente » au sein d'un ménage, dans le cadre résidentiel. En appliquant la **méthodologie de modélisation** décrite à la section précédente de ce rapport, il s'agit de vérifier si des gains énergétiques sont possibles **sur la durée de vie d'un système** d'éclairage intelligent pour une infrastructure représentative de celle d'un ménage typique.

Autrement dit, il s'agit de **questionner l'utilité d'une technologie lumineuse connectée et intelligente pour l'usage privé.** L'un des premiers arguments de vente pour ce genre de système est généralement une augmentation du confort (Strengers & Nicholls, 2017) (Salman, Easterbrook, Sabie, & Abate, 2016), qui n'est pas une grandeur quantifiable de manière objective, et donc incomparable de manière directe avec la consommation

énergétique associée. Il arrive cependant que l'argument de l'économie énergétique soit également utilisé. Il est dans ce cas justifié de **mettre la pertinence énergétique de ce système à l'épreuve**.

Pour rappel, **le but central de la méthodologie développée dans ce rapport est de mettre le coût énergétique de production et d'utilisation de l'infrastructure permettant « l'intelligence » en regard des gains énergétiques effectués en pratique.**

- **Construction du cas d'étude**

Les modélisations réalisées reposent sur la typologie d'un système accessible sur le marché pour l'utilisation privée d'éclairage connecté et dit « intelligent »²¹. Ce système se compose de :

- Une ampoule connectée (c'est-à-dire munie d'une couche communicante),
- Un capteur de mouvement,
- Un *gateway*²².

Trois scénarios sont considérés dans ce cas d'étude :

- **Le premier scénario est un scénario d'éclairage fonctionnel, qui consiste à modéliser une utilisation type dans un ménage type.** L'infrastructure comprend 1 *gateway*, 2 capteurs de mouvements et 8 lampes connectées. Cette installation fournit environ 5800 Lumens, ce qui donne un niveau d'éclairage moyen correct de 100 Lux pour un logement, bien qu'aucun texte normatif ne s'applique aux logements²³, pour un espace à vivre d'environ 58 m² (salon, cuisine, petit bureau ouvert). Une illumination de 1000h/an est considérée²⁴.
- **Le deuxième scénario a pour but de modéliser un éclairage récréatif superposé à l'éclairage fonctionnel du premier scénario.** Sont ici considérées 12 lampes connectées et 5 capteurs de mouvements, ainsi qu'un temps d'illumination 2 fois plus important (i.e. 2000h/an) afin de modéliser une occupation et une utilisation lumineuse plus importante. Ce scénario représente une utilisation de l'éclairage intelligent dans une optique de confort et divertissement (par exemple, luminaires derrière l'écran télé, à l'intérieur d'armoires, etc.) en plus de l'éclairage fonctionnel²⁵.
- **Le troisième scénario consiste à modéliser une utilisation intégralement récréative ou liée au confort.** Cela se traduit par la mise en place de seulement quelques lampes (4), pas de capteur de mouvements et un *gateway*. Une illumination de 1000h/an est considérée.

b. Résultats de la modélisation

- **Scénario 1 : éclairage uniquement fonctionnel**

L'application, à ce cas d'étude, du modèle STERM nous permet d'obtenir les résultats ici présentés.

²¹ Un système réel a été obtenu afin d'étudier les principes de fonctionnement de ce type de technologies, entre autres au travers de campagnes de mesures. Description exhaustive du système et des campagnes de mesures disponible en Annexe.

²² Centralisateur, ou passerelle de communication : permet de centraliser et distribuer les communications des différents éléments communicants.

²³ La norme NF EN 12464-1 qui s'applique aux lieux de travail intérieur préconise 100 lux moyen dans les zones d'usage général, c'est-à-dire les zones où il n'est pas effectué de tâche précise ou complexe.

²⁴ Aucun texte de référence n'indiquant de durée d'éclairage dans le résidentiel, hypothèse basée sur les fiches techniques du matériel grand public – par exemple : durée de vie 15000h pour 15 ans.

Ce scénario revient à remplacer les lampes disponibles dans un salon typique par des luminaires PHILIPS HUE E27 White et d'utiliser le système sans abus.

²⁵ Ce scénario est assez proche de la conformation proposé sur le site PHILIPS HUE et qui propose la visite d'un salon modèle en immersion 360° (Philips HUE (site web), 2019).

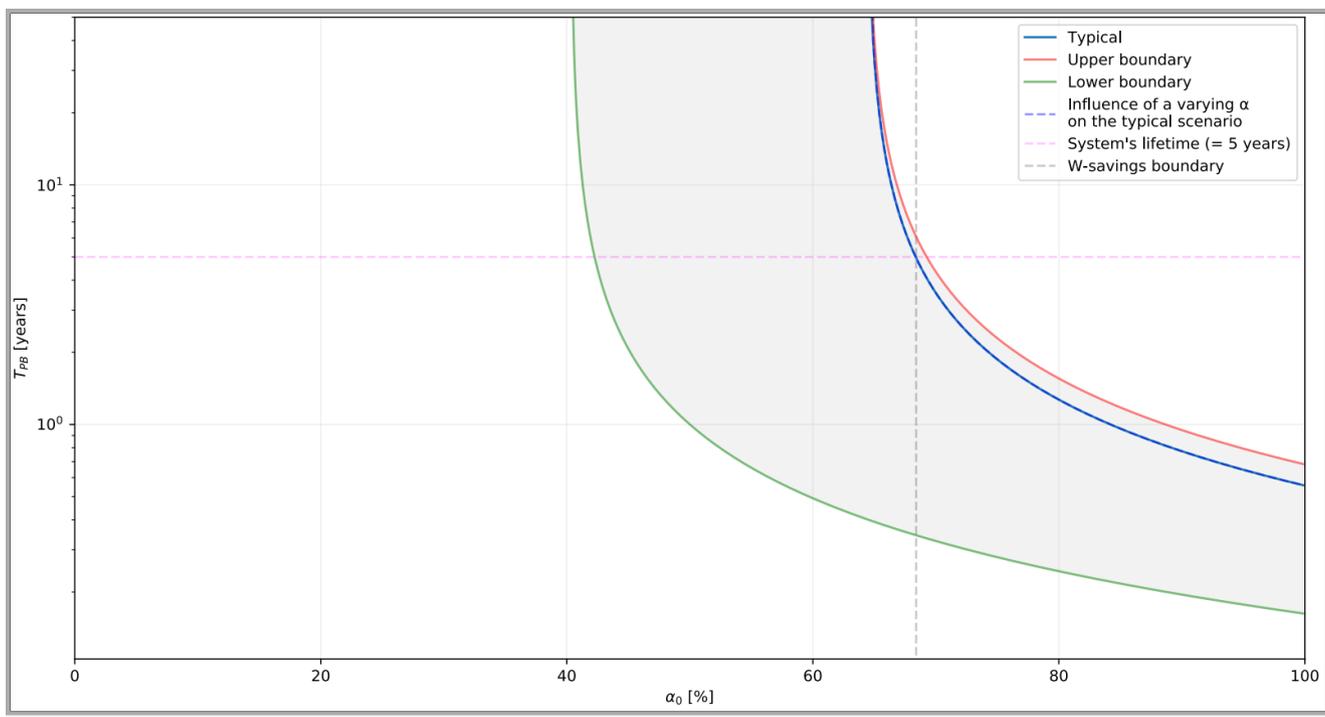


Figure 4 - Temps de récupération T_{PB} en fonction de α , scénario 1
Source : The Shift Project, production du groupe de travail

La première conclusion pouvant être formulée (Figure 4) est qu'il est impossible d'obtenir un temps de récupération inférieur à la durée de vie du système si $\alpha < 40\%$ pour la limite basse et $\alpha < 65\%$ environ pour le cas moyen.

En pratique, 40% de gains énergétiques sur cette configuration système correspondraient à une situation où l'introduction de la couche intelligente permettrait d'économiser environ 1h d'illumination par jour. Les 65% correspondraient quant eux à une économie d'illumination d'environ 1h45 par jour. Dans le scénario considéré, c'est-à-dire en utilisation résidentielle et au vu des profils usuels d'illumination, une telle économie semble difficilement réalisable en pratique²⁶.

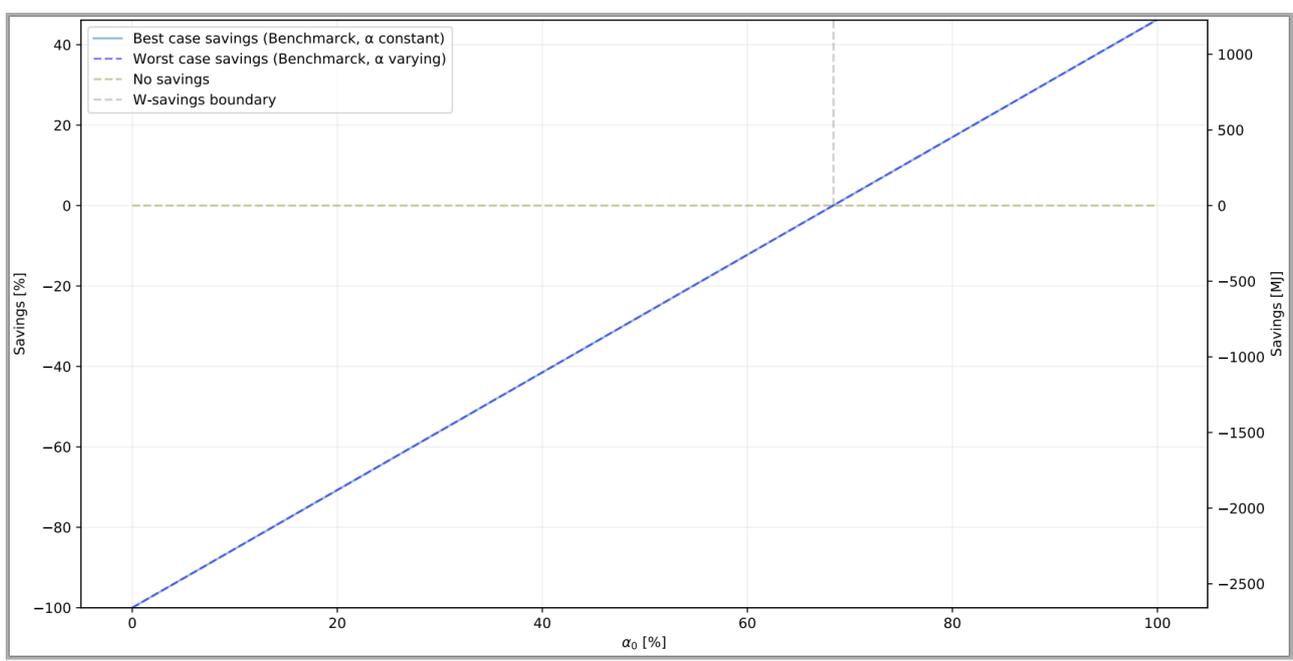


Figure 5 - Gains énergétiques nets à la durée de vie du système en fonction de α , scénario 1
Source : The Shift Project, production du groupe de travail

²⁶ C'est-à-dire qu'au regard des durées totales d'illumination des pièces résidentielles, sur une journée (de l'ordre de quelques heures), pouvoir diminuer l'illumination de 1h à 1h45 signifierait que les pièces sont éclairées inutilement d'autant de temps sur cette période.

Comme présenté en *Figure 5* pour le cas moyen, il est nécessaire d'avoir $\alpha > 65\%$ (i.e. que la couche permette des économies de 65 % sur la consommation du luminaire) environ afin de réaliser des gains énergétiques nets sur la durée de vie du système.

Les courbes énergétiques ont ainsi été tracées pour une valeur du coefficient d'économie d'énergie de $\alpha = 70\%$ (*Figure 6*) : les gains énergétiques nets restent faibles, bien que positifs à partir d'un temps d'utilisation de T_{PB} d'environ 3,5 ans. Cela s'explique par le fait que les économies permises par la couche connectée évoluent avec l'utilisation de la technologie : elles évoluent donc de manière similaire à l'énergie nécessaire pour faire fonctionner la couche intelligente.

Par ailleurs, il est important de noter qu'une valeur de $\alpha = 70\%$ semble inatteignable en pratique, au vu des études aujourd'hui disponibles dans la littérature (Martirano, L., 2011), (Lin, et al., 2019), (Tejani, Al-Kuwari, & Potdar, 2011). **Il apparaît donc en pratique impossible de rentabiliser énergétiquement l'introduction de la couche intelligente dans le système lumineux étudié dans ce cas d'étude.**

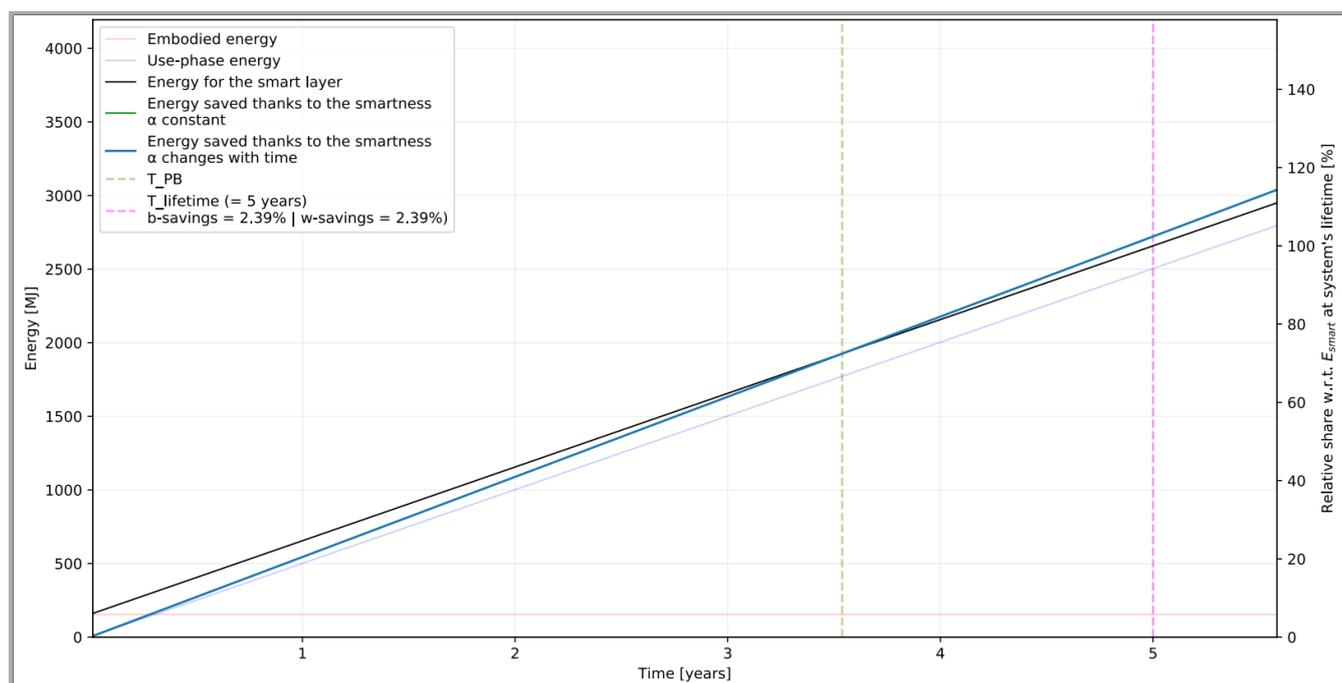


Figure 6 - Courbes d'énergie cumulées en fonction du temps, scénario 1
Source : The Shift Project, production du groupe de travail

- **Scénario 2 : éclairage fonctionnel et récréatif/de confort**

Les résultats pour ce scénario sont disponibles en Annexe.

L'exploitation de ce scénario fait apparaître un effet paradoxal essentiel. Des gains énergétiques nets sont envisageables dans cette configuration, contrairement au scénario précédent avec un éclairage uniquement fonctionnel. Cependant, si ces économies nettes deviennent possibles dans ce scénario, c'est parce que le temps total cumulé d'illumination augmente notablement (le nombre de luminaires étant supérieur dans ce scénario par rapport au précédent, le temps d'illumination annuel est doublé d'un scénario à l'autre). En effet, les économies d'énergie permises par la couche connectée sont indexées sur la consommation électrique du système en utilisation : plus le nombre d'heures d'illumination est important, plus le socle de consommation sur lequel effectuer des économies est important.

Autrement dit, ce scénario fait apparaître l'effet paradoxal de la rentabilisation d'un système permettant des économies sur la consommation directe : **un système connecté ne peut devenir pertinent d'un point de vue énergétique qu'à partir d'une certaine consommation du système initial. Il sera donc pertinent**

de déployer la technologie connectée sur ce système initial seulement si la consommation initiale est à la fois suffisamment importante et considérée comme étant optimisée le plus possible.

- **Scénario 3 : éclairage uniquement récréatif/de confort**

Les résultats pour ce scénario sont disponibles en Annexe

Ce scénario n'a pas pour objectif de réaliser des gains énergétiques quelconques : l'éclairage connecté étant ici uniquement mis en place dans un objectif de divertissement, sa pertinence n'est pas en rapport avec l'effet de la couche connectée sur la consommation d'énergie. Il n'est ainsi pas surprenant de constater que ce système conduira probablement à des pertes sèches énergétiques. L'intérêt, ici, est de pouvoir objectiver le coût énergétique de l'augmentation du confort.

Cela correspond au cas de modélisation où $\alpha = 0$ %. La consommation énergétique totale sera alors de l'ordre de 400 kWh sur la durée de vie du système (5 ans).

c. Conclusions et discussions

L'éclairage connecté tel qu'il est utilisé et tel qu'il existe aujourd'hui sur le marché ne semble pas permettre des gains énergétiques évidents ou automatiques sur la durée de vie du système dans la sphère résidentielle. Dans le contexte actuel, avec des objectifs visant à la diminution des impacts énergétiques de nos modes de vie, il convient donc de questionner la pertinence de ce type de système pour un usage privé. L'évaluation de la pertinence énergétique ici développée ne peut en effet en aucun cas prendre en compte les apports de ces technologies lorsqu'elles sont utilisées dans un objectif récréatif ou de confort. **Cependant, il est essentiel de permettre la comptabilisation et la visualisation de la consommation supplémentaire associée à l'introduction d'un système de confort, et ce en intégrant non pas uniquement la consommation directe, mais bien l'énergie mobilisée sur l'intégralité de la chaîne de valeur, notamment lors de la phase de fabrication des équipements.**

Les conclusions présentées ici n'ont pas été, à notre connaissance, discutées dans la littérature pour un système semblable. Certaines études sur l'intérêt de l'éclairage intelligent présentent des conclusions opposées (Dubberley, Agogino, & Horvath, 2004), mais elles portent généralement sur des systèmes n'étant pas accessible au grand public et sur des technologies lumineuses plus anciennes et donc avec une consommation à l'utilisation plus élevée (par exemple, la technologie CFL plutôt que LED).

Un élément impactant dans le système est la consommation des lampes connectées en phase d'utilisation. En effet, afin d'assurer la continuité de la connectivité, la partie communicante de ces systèmes doit rester alimentée même lorsque la lumière est éteinte. L'énergie grise du système semble relativement faible (moins de 10% de l'énergie totale nécessaire pour la couche intelligente sur la durée de vie du système) pour le système modélisé dans ces travaux. Ces résultats devraient être vérifiés sur d'autres infrastructures lumineuses privées. En effet, au regard de résultats déjà existants sur la quantification de l'énergie grise de dispositifs électroniques, il semblerait que la part des impacts imputée à la production soit souvent non négligeable voire plus importante que la phase d'utilisation, constat qui semble en général accentué si les systèmes observés sont de petite taille²⁷ (Ryan, Smith, & Wu, 2019).

Au vu des hypothèses importantes prises pour la quantification de l'énergie grise dans ce cas d'étude²⁸, les conclusions doivent donc être comprises comme étant une limite basse. Par ailleurs, **une différence flagrante sur les profils de consommation d'énergie a été observée entre les nœuds sur batterie (capteur de présence) et les nœuds connectés au réseau électrique (gateway et lampe).** Dans le dernier cas, il semblerait que les spécifications ne soient pas toujours respectées et que les contraintes pour la consommation en utilisation soient relaxées, les problèmes d'autonomie ne se posant pas²⁹. **Cela pourrait**

²⁷ Bien entendu, ces tendances ne peuvent pas être généralisées à l'ensemble des dispositifs et le cadre dans lequel ils seront employés a lui aussi une forte influence.

²⁸ Détails disponibles en annexe.

²⁹ Détails disponibles en annexe.

expliquer en partie la faible contribution relative de l'énergie grise pour ce type de système. Dans tous les cas, une analyse de sensibilité plus poussée sera à effectuer pour toute reprise et adaptation du modèle.

2. Cas d'étude : Les locaux professionnels tertiaires – différentes topologies pour différentes conclusions

a. Description du cas d'étude

- **Situation décrite par le cas d'étude**

Ce second cas d'étude porte sur l'intégration d'un éclairage connecté au sein d'espaces accueillant des activités professionnelles de type tertiaire.

L'objectif ici est d'interroger l'intérêt de l'introduction d'une technologie dite « intelligente » au sein d'un espace professionnel. Notre démarche explore les potentiels d'économie d'énergie proposés par un pilotage connecté de l'éclairage pour une infrastructure classique de ce type de locaux. La méthodologie ici développée se construit en deux temps : elle s'appuie sur des modélisations normées réalisées à l'aide du logiciel *DIALux*³⁰ afin d'évaluer les potentiels d'économie d'énergie directe³¹, pour ensuite évaluer les économies nettes à l'aide du modèle STERIM.

De la même manière que pour le cas d'étude précédent, il sera étudié ici la pertinence énergétique des installations connectées, c'est-à-dire leur pertinence vis-à-vis d'un objectif de réduction des consommations d'énergie.

- **Construction du cas d'étude**

Les modélisations ont été réalisées pour quatre typologies de locaux, illustratives de différents usages professionnels dans le milieu tertiaire³² :

- Le bureau individuel (de l'ordre de 10 m²),
- Le bureau collectif (2 à 3 personnes, de l'ordre de 25 m²),
- Le plateau de bureaux (de l'ordre de 150 m²),
- La salle d'enseignement (de l'ordre de 70 m²).

Les hypothèses essentielles retenues sont les suivantes³³ :

- Les fenêtres courent sur toute la longueur du mur. L'allège est de 80 cm et la hauteur de la fenêtre de 1,25 m.
- Les quatre locaux étudiés sont orientés de la même manière. Ainsi, les variations de consommation entre les locaux ne sont pas liées à l'orientation.
- Les cas d'études ont été calculés à Marseille, Paris et Bruxelles afin de voir si l'influence de la latitude peut induire des conclusions différentes³⁴.
- Les luminaires utilisés sont des encastrés fonctionnels neufs. Ce sont des modèles standards dédiés au tertiaire, donc adaptés pour l'éclairage de bureaux et de locaux d'enseignement.

³⁰ Logiciel gratuit, financé par les fabricants de matériel d'éclairage et édité par la société DIAL (Deutsches Institut für angewandte Lichttechnik) <https://www.dialux.com/en-GB/about-dial>

³¹ Correspondant au facteur d'économie d'énergie α .

³² Les descriptions exhaustives des paramètres choisis sont disponibles en annexe.

³³ Les détails exhaustifs sur les hypothèses et normes utilisées sont disponibles en Annexe.

³⁴ Détails disponibles en annexe.

- Pour chaque local, la photométrie la plus adaptée a été sélectionnée. Ils ont tous un flux unitaire de 2700 lm, et selon les photométries, leur efficacité lumineuse va de 100 à 122,7 lm/W.
- La conformation de la couche intelligente, qui sert au pilotage de l'infrastructure lumineuse, est la suivante³⁵ :
 - Un capteur ou ensemble de capteurs, permettant de détecter les mouvements (capteurs infrarouges) et de mesurer le niveau d'éclairage (avec une puissance nominale de l'ordre de 1 W) ;
 - Les modules de communication radio associés (émetteurs et récepteurs) aux luminaires et aux capteurs (d'une puissance de l'ordre de 20 à 30 mW pour la plupart) ;
 - Des fonctionnalités possibles :
 - Allumage automatique à la détection d'un usager ;
 - Extinction automatique si aucun usager n'est détecté au bout d'une temporisation de quelques minutes (réglable selon les cas d'usage) ;
 - Gradation du flux lumineux émis par le luminaire pour prendre en compte la lumière du jour entrant dans le local par mesure du niveau d'éclairage sur le plan utile ;
 - Gradation du flux lumineux du luminaire tout au long de sa durée de vie pour limiter la puissance électrique consommée en début de vie et l'augmenter au fur et à mesure pour compenser la perte d'efficacité lumineuse liée au vieillissement et à l'encrassement.

Les niveaux d'éclairage retenus sont définis sur la base de la norme NF EN 12464-1³⁶, applicables aux cas d'études ici définis, qui permet de caractériser l'illumination des locaux sur la base des facteurs quantifiés (éclairage moyen, uniformité de l'éclairage, seuil d'éblouissement etc.)³⁷.

Une fois le cas d'étude construit, le logiciel *DIALux*[®] permet le calcul des consommations associées à l'infrastructure lumineuse, en prenant en compte³⁸ :

- La consommation électrique directe des luminaires,
- La consommation électrique des auxiliaires (uniquement auxiliaires présents dans les luminaires et les batteries des luminaires de secours) ;
- Les paramètres influant sur ces consommations (facteur d'éclairage, temps de charge de l'éclairage de secours, éclairage naturel, taux d'occupation etc.).

Une hypothèse importante, inhérente à la norme régissant l'implémentation du logiciel *DIALux*[®], considère que les auxiliaires de régulation sont intégrés aux luminaires et éteint lorsque les luminaires sont éteints. La consommation des capteurs déportés et des modules communicants a donc été ajoutée explicitement. Les gains potentiels ont été calculés avec la norme NF EN 15193³⁹, ils peuvent donc être modulés en fonction de l'utilisation réelle et sont donc à considérer en ordre de grandeur.

b. Résultats de la modélisation

Sur chacun des quatre locaux ont été réalisés deux calculs :

- Le premier avec les luminaires pilotés par un simple interrupteur ;
- Le second avec la gradation en fonction des apports de lumière naturelle et détection de présence pour l'allumage et l'extinction.

³⁵ Les tableaux des spécifications techniques, notamment les puissances nominales issues des données constructeur, des différentes composantes (capteurs, modules communicants), sont disponibles en annexe.

³⁶ NF EN 12464-1 Juillet 2011 : « Lumière et éclairage - Éclairage des lieux de travail - Partie 1 : lieux de travail intérieurs »

³⁷ Liste exhaustive des paramètres et valeurs quantitatives disponibles en Annexe.

³⁸ Liste exhaustive des paramètres et de la formalisation mathématique utilisée disponible en Annexe.

³⁹ NF EN 15193-1 de Mai 2017 : « Performance énergétique des bâtiments - Exigences énergétiques pour l'éclairage - Partie 1 : spécifications, module M9 »

Pour chaque local sont calculés, conformément à la norme NF EN 15193, la consommation totale annuelle des luminaires en kWh/an pour le local entier, ainsi que la consommation surfacique, consommation totale ramenée au m² de local.

A titre d'exemple, les résultats pour le site de Marseille sont résumés dans le tableau suivant⁴⁰ :

Local	Simple interrupteur		Détection et gradation		Economie d'énergie [%]
	Consommation totale [kWh/an]	Consommation surfacique [kWh/m ² /an]	Consommation totale [kWh/an]	Consommation surfacique [kWh/m ² /an]	
Bureau individuel	141,03	11,75	71,69	5,97	-49,17
Bureau 2-3 personnes	257,66	10,74	165,53	6,90	-35,76
Plateau de bureaux	2117,05	14,11	1795,63	11,97	-15,18
Salle d'enseignement	901,05	13,04	646,41	9,35	-28,26

Tableau 1 - Résultats des modélisations des économies d'énergie directe pour les cas d'étude "locaux professionnels tertiaires" (calculs par DIALux®)

Source : The Shift Project, production du groupe de travail

L'introduction de la couche connectée – avec fonctionnalité de détection de présence et d'adaptation de la luminosité en fonction de l'éclairage naturel – permet d'obtenir des gains sur la consommation d'énergie en utilisation, qui peuvent directement se traduire en valeurs quantitatives pour le coefficient d'économie d'énergie α .

Développer ces cas d'étude une première fois sous DIALux® permet ainsi l'extraction des valeurs de facteur α correspondant à chaque cas d'étude, qui servent ensuite de paramétrage à notre modèle STERM.

Ainsi, lorsque DIALux® rend possible l'évaluation de l'économie d'énergie sur la consommation directe permise par la couche connectée, l'application de notre modèle permet quant à elle d'y ajouter la prise en compte de l'énergie grise et de la consommation effective de toute la couche intelligente⁴¹.

Local	Economie d'énergie directe	Economie d'énergie nette
Bureau individuel	- 49 %	- 41 %
Bureau 2-3 personnes	- 36 %	- 31 %
Plateau de bureaux	- 15 %	- 13 %
Salle d'enseignement	- 28 %	- 24 %

Tableau 2 - Résultats des modélisations d'économie directes (calculs par DIALux®) et d'économies nettes (par le modèle STERM) pour les cas d'études "locaux professionnels tertiaires"

Source : The Shift Project, production du groupe de travail

L'application du modèle STERM sur ces quatre cas d'étude permet de conclure que les gains prédits par la NF EN 15193 et calculés sous DIALux® semblent surestimés, étant donné la non-prise en compte de l'activité de la couche smart en continu ainsi que de son énergie grise. Cependant, malgré cette surestimation, la prise en compte des impacts de la couche intelligente ne modifie pas fondamentalement les conclusions.

⁴⁰ On remarque que même si la latitude a une influence, elle impacte relativement peu la consommation en utilisant le calcul de la NF EN 15193 (moins de 10% entre les extrêmes). Néanmoins la différence de nébulosité sur une année entière, non prise en compte par la norme, peut amplifier cette différence. Résultats pour les autres sites disponibles en Annexe.

⁴¹ Détails exhaustifs du paramétrage du modèle disponibles en Annexe.

c. Conclusions et discussions

Dans nos cas d'étude « locaux professionnels tertiaire » tels qu'ils sont définis, l'introduction d'une couche connectée permet bien des économies nettes d'énergie sur la durée de vie des dispositifs. **Il s'agit donc de cas dans lesquels ces technologies sont pertinentes.** De là viennent des conclusions essentielles :

- La différence entre ces conclusions et celles des cas d'étude résidentiels illustre bien le fait qu'il est **essentiel de mener une étude de pertinence complète et transparente pour chaque type de déploiement**, plutôt que de laisser un choix technologique être motivé par des impressions ou observations générales qui ne peuvent pas être formulées de manière pertinente.
- La phase de production n'est ici pas prépondérante, notamment au regard des durées de vie importantes de nos dispositifs (15 ans). Dans la plupart, il sera une fois encore essentiel de déployer de nouveaux systèmes dans des situations où leur durée de vie est importante⁴².

Les constats quantitatifs ici formulés ne sont bien entendu pas des constats généraux, mais uniquement valables dans le cadre de nos cas d'étude et de nos modélisations, dont voici certaines des limites principales et nuances à apporter :

- Ne sont pas ici pris en compte les surplus d'impact dus à la maintenance sur les 10 ans de durée de vie,
- Les hypothèses d'énergie grise et de consommation en fonctionnement utilisées ici sont extrapolées de nos cas d'étude dans le cadre de systèmes domestiques, donc pour des technologies pouvant différer dans certaines dimensions. Il serait ainsi crucial d'effectuer une évaluation fine de la véritable énergie grise embarquée par ces systèmes,
- Il est utile de rappeler que seul est pris en compte ici l'impact énergétique. Or, produire et disposer de ces dispositifs entraînent d'autres impacts environnementaux (pollution des sols, consommation d'eau, consommation de ressources minières à réserves finies etc.).

Si l'analyse quantitative montre ici que l'introduction d'un système intelligent permet des économies d'énergie nettes effectives, une dimension reste essentielle à souligner : **la mise en place d'une couche connectée n'est pas nécessaire à l'obtention de ces résultats.** Les fonctions véritablement responsables des économies (gestion de l'allumage suivant présence d'usagers et gradation lumineuse) peuvent intégralement être remplies par des systèmes et capteurs filaires⁴³.

Ce qu'apporte la fonction « connectée », c'est un service supplémentaire de supervision, qui peut être intéressant pour la gestion de parcs d'éclairage important ou à distance, et qui pourra avoir l'avantage d'améliorer la qualité du service rendu (détection de pannes, compteur d'heures, planification de la maintenance...).

La pertinence du déploiement d'une infrastructure connectée pour les systèmes lumineux ne peut pas être justifiée par un argument d'efficacité énergétique. L'arbitrage technologique devra être réalisé de manière éclairée :

- En prenant en considération les apports véritables de la technologie connectée (qui ne relèvent donc pas de l'économie d'énergie, la fonction pouvant être remplie par des systèmes non-connectés),
- En prenant en compte le coût énergétique de l'ajout de ces fonctions : intégrer une couche connectée ajoute bien une consommation supplémentaire,
- En assurant la prise en compte des besoins de formation d'opérateurs dédiés et qualifiés sur ce type de technologie afin d'en exploiter les possibilités.

⁴² Il sera ainsi utile d'analyser les types d'obsolescence auxquelles sont soumis les différents types de technologies, par exemple entre les technologies à but récréatif (soumises à l'obsolescence marketing, pour exemple) et professionnel (où l'obsolescence fonctionnelle est plus souvent prédominante).

⁴³ La forme aujourd'hui la plus répandue dans les systèmes d'éclairage professionnel.

De manière plus générale, tout déploiement de technologie doit se faire en toute connaissance de cause. Et c'est l'objectif des méthodologies développées dans ce rapport : **tous les systèmes connectés ont un coût énergétique qu'il est essentiel de prendre en compte, afin de comprendre l'arbitrage qui est fait lors d'un choix de déploiement.**

3. Cas d'étude : Rénovation d'un local tertiaire – une méthodologie d'évaluation de la pertinence des solutions

a. Description du cas d'étude

- **Situation décrite par le cas d'étude**

Ce troisième cas d'étude porte sur l'intégration d'un éclairage équipé d'une régulation au sein d'un local tertiaire **existant**, dont la transition entre éclairage classique et infrastructure régulée a été suivie. L'infrastructure installée ici n'est pas de type « connectée ».

L'objectif ici est de confronter les conclusions théoriques formulées au travers des cas d'étude précédents à un retour d'expérience en situation réelle. En s'appuyant sur une documentation des observations *in situ* réalisées sur un démonstrateur, il s'agira ici de valider la pertinence des approches par modélisation développées dans les précédents cas d'étude et de comprendre les arbitrages qui se présentent en situation réelle. L'intégration, ici, d'une infrastructure de pilotage non connectée permet d'illustrer en situation réelle nos réflexions sur le choix technologique.

- **Description du cas d'étude**

Le local considéré est une salle de travaux dirigé du Département Génie Thermique et Energie de l'IUT de Rouen. Cette pièce a toutes les caractéristiques habituelles des locaux d'enseignement, à savoir une paroi comportant un large nombre de fenêtres, les trois autres n'en ayant pas⁴⁴.

L'éclairage de la salle a été réhabilité en 2005 avec du matériel disponible dans le commerce à l'époque, ce qui permet d'obtenir un retour d'expérience sur plusieurs années.

L'installation d'origine datait de 1993, année de la livraison du bâtiment.

Après étude et simulations, la solution retenue et installée a été :

- 9 luminaires en tube fluorescents (CFL) en plafonnier, répartis en 3 lignes (côté fenêtre, centrale et côté couloir) ;
- 2 capteurs de luminosité sur deux des lignes de luminaire (ligne côté fenêtre et ligne centrale)⁴⁵ directement connectés aux luminaires pour leur indiquer un niveau d'éclairément ;
- 1 capteur de présence pour toute la pièce ;
- 3 compteurs d'énergie, 1 par phase, chaque phase étant dédiée à une des trois lignes de luminaires.

b. Résultats de la rénovation lumineuse

Après plusieurs mois d'utilisation, le relevé des compteurs a permis d'observer une division par 3 de la consommation d'énergie grâce à cette rénovation. Il a également montré que la gradation à elle seule engendre

⁴⁴ Le plan et les documents sources sont disponibles en Annexe.

⁴⁵ La ligne côté couloir n'étant pas équipée pour servir de témoin afin de quantifier le gain de la gradation.

une diminution de consommation directe⁴⁶ de l'ordre de 35 à 50 % ici, respectivement pour les lignes du milieu et côté fenêtre par rapport à la ligne témoin côté couloir dont l'éclairage est fixe⁴⁷.

c. Conclusions et discussions

Les résultats obtenus avec la technologie de 2005 sont cohérents avec les ordres de grandeurs obtenus dans les simulations de nos cas d'étude précédents sur les locaux professionnels tertiaires. Les économies observées étant ici dues à l'intégration d'une technologie de pilotage non-connectée, ce cas d'étude montre également que le matériel connecté n'est ici pas indispensable au gain d'énergie : la régulation nécessite en premier lieu des capteurs et des luminaires compatibles. Comme développé dans l'analyse du cas d'étude précédent, la couche connectée présente l'intérêt de fournir de nouveaux services comme la télégestion ou le croisement de données entre plusieurs métiers.

Il est également à noter que la rénovation de la salle a entraîné une augmentation de sa fréquentation par les enseignants et étudiants, en comparaison aux autres salles. Outre la performance, donc, la question du confort est un facteur ici important dans le bilan de pertinence de l'implantation de la technologie.

L'introduction d'un système de pilotage potentiellement connecté n'affranchit pas d'une réflexion sur le matériel d'éclairage lui-même, quant à sa pertinence actuelle, les possibilités d'optimisation sur le luminaire en lui-même, ainsi que la pertinence du matériel qui peut être proposé par défaut avec la solution connectée.

4. L'éclairage public – un exemple de questions pour les autorités territoriales

L'éclairage public représente selon les sources⁴⁸ 10 à 13% de l'énergie consommée par l'ensemble de l'éclairage en France. L'éclairage représente quant à lui de 10 à 12% de l'électricité consommée en France. Par conséquent, la consommation de l'éclairage public est de l'ordre de 1% de l'électricité consommée en France. La conformation de l'éclairage public est structurante pour l'espace public, ce qui rend les choix technologiques qui le concernent essentiels pour les collectivités.

Depuis le début des années 2000, le monde de l'éclairage public a vécu de grands bouleversements. Après avoir eu comme objectifs au XXème siècle d'étendre l'éclairage à l'ensemble des zones urbanisées, puis d'améliorer le niveau de service en augmentant la quantité de lumière fournie, les collectivités ont pris le virage de la baisse des dépenses⁴⁹, qui est allé de pair avec la diminution de la consommation d'électricité.

La technologie LED, dont le déploiement à grande échelle a été lancé il y a une dizaine d'années, a été et reste l'un des piliers de cette stratégie de diminution de la consommation. La présence d'électronique dans ces nouveaux luminaires offre de nouvelles fonctionnalités, dont notamment la possibilité de piloter plus finement le flux lumineux et d'assujettir ce pilotage à des informations remontées par des capteurs.

Une installation d'éclairage public étant fortement dépendante du site où elle est déployée, l'objectif n'est pas de proposer ici un modèle prédictif de calcul des économies d'énergie ou d'émissions de CO₂. Il s'agit de soulever les questions qui apparaissent lorsque les réflexions construites dans nos différents cas d'étude sont déployées à l'échelle de choix territoriaux.

Les premiers retours d'expérience sur l'introduction de technologies de pilotage au sein de l'éclairage public commencent en effet à émerger, comme celui d'une rue de Strasbourg cité ci-après en guise d'exemple⁵⁰. Ils nous permettent de formuler certains questionnements qui répondent aux points de vigilance soulignés dans ce rapport⁵¹ :

⁴⁶ Diminution correspondant à l'économie de consommation directe, c'est-à-dire au facteur α du modèle STERM.

⁴⁷ La diminution de consommation est fortement liée à la configuration des locaux, à l'environnement du bâtiment et à sa fréquentation. Elle est donc à considérer en ordre de grandeur.

⁴⁸ (ADEME, 2013) (Association Française de l'Eclairage, 2019) (Syndicat de l'Eclairage, 2014)

⁴⁹ (ADEME, 2014)

⁵⁰ Détails et documentation disponible en annexe.

⁵¹ Les retours d'expérience ici exploités concernent des technologies de pilotage non-connectées. Elles proposent cependant des services de pilotage de l'éclairage public également déployés par les solutions connectées, ce qui permet de soulever la question des services supplémentaires permis par la couche connectée, comme évoqué plus tôt dans ce rapport.

- L'intérêt de technologies de détection de présence dépend du taux de fréquentation de l'espace concerné : il aura tendance à être plus important dans les zones peu fréquentées (résidentielle, cheminements piétons ou modes doux isolés) que dans les zones animées en période nocturne (bars, restaurants, salles de spectacles...). **Il est donc essentiel de répondre à la question des cadres de pertinence de déploiement de la technologie.**
- Mettre en place de la détection de piétons permet, dans le retour d'expérience de la rue Saint-Dié de Strasbourg, de réaliser des économies du même ordre de grandeur qu'avec une technologie de variation horaire, tout en garantissant un meilleur niveau de service (les piétons ayant une illumination toujours suffisante à leur passage). **Il est donc essentiel de répondre à la question des apports supplémentaires véritables de la technologie, vis-à-vis des autres solutions disponibles.**
- **L'évaluation de la pertinence véritable de ces dispositifs n'est pas effectuée avec une approche en « cycle de vie »**, puisque n'est prise en compte ni l'énergie associée à la phase de production, ni celle associée au fonctionnement de la couche de pilotage.

L'enjeu aujourd'hui pour les pouvoirs publics est de comprendre les véritables arbitrages qu'ils sont amenés à faire lors de leurs prises de décisions technologiques. Choisir de déployer une technologie, c'est choisir une direction pour son territoire : parce que les outils numériques déployés font système, et qu'un système ordonne et influence obligatoirement les dynamiques des autres secteurs afférents. Ainsi, construire sa stratégie numérique, c'est construire sa stratégie de mobilité, de bâti, de circuits de consommations etc.

Lorsque les acteurs territoriaux choisissent parmi les solutions accessibles, il est ainsi indispensable qu'ils se donnent les moyens de comprendre les véritables justifications du projet de déploiement :

- De quels nouveaux services, qui ne peuvent être garantis que par l'utilisation du numérique, la collectivité a-t-elle réellement besoin ?
- Quels coûts énergétiques et environnementaux pour sa production et sa mise en place ?
- Quelles directions technologiques son déploiement enclenche-t-il ensuite pour les années et cycles suivants ?

Sur l'espace public, le numérique est présenté comme pouvant « tout faire ». Encore faut-il savoir ce que l'on en attend et c'est aux collectivités de donner les orientations des services qui méritent une dépense énergétique supplémentaire par l'introduction d'outils numériques.

C. Diversification du modèle pour d'autres technologies – l'exemple du Compteur communicant

1. Description de l'objet de l'étude

- **Contexte**

Le « smart meter », ou « compteur communicant », est un cas d'étude pertinent pour comprendre les implications de la sobriété numérique pour le domaine de l'Internet de objets (ou IoT, pour *Internet of Things*). En effet il combine une stratégie industrielle à grande échelle à une appropriation par le grand public de nouvelles fonctionnalités dont la valeur n'est pas toujours perceptible de manière évidente.

Il est donc important d'analyser méthodiquement à la fois les dimensions techniques et les dimensions sociétales de l'impact environnemental d'un tel déploiement, le tout dans le cadre des contraintes physiques auxquelles sont soumis nos choix de stratégies numériques.

La volonté politique, au niveau européen, de déployer une nouvelle génération de compteurs électroniques pour les divers fluides que sont l'électricité, le gaz et l'eau remonte maintenant à plus de dix ans. L'objectif mis en avant était d'éviter le déplacement annuel du technicien et d'informer en quasi-temps réel le consommateur de sa consommation, grâce à un comptage électronique et un relevé radio fréquent. Il était supposé que le consommateur

ainsi informé régulièrement, des attitudes d'économies allaient s'instaurer dans les habitudes individuelles ou familiales.

Un autre objectif était la mesure de la qualité du réseau de distribution de ces flux. En effet les compteurs électromécaniques relevés une fois par an ne permettaient pas de suivre l'ensemble des incidents qui pouvaient apparaître sur les derniers mètres connectant l'installation du client au réseau général. La recherche d'une meilleure efficacité du réseau, et d'une consommation mieux pilotable, ont inspiré les spécifications de ce compteur communicant.

Dans cette étude nous ne nous intéressons qu'à la mesure des flux électriques dans les foyers (et non aux compteurs associés aux autres flux)⁵².

La question à laquelle nous souhaitons répondre au travers de cette étude est celle de l'**impact environnemental du compteur communicant, uniquement dans sa dimension énergétique**. En effet pour permettre une meilleure qualité des réseaux de distribution de ces flux, et une incitation du citoyen à un plus grand et meilleur contrôle de sa consommation, il a été décidé d'installer de nouveaux équipements électroniques dans les foyers (notamment des technologies domotiques entrant dans le cadre des « maisons connectées ») et dans les réseaux eux-mêmes.

Ces nouveaux équipements, bien que permettant potentiellement des économies d'énergie, vont être des postes de consommation d'énergie tant dans leur usage au quotidien que dans leur fabrication et production (énergie grise). Il convient donc de questionner les conditions qui permettent que la somme de ces consommations supplémentaires, soit bien compensée par les économies réalisées par les exploitants et les consommateurs.

- **Constitution d'un réseau « smart meter »**

Outre le réseau de collecte des données issues des compteurs installés aux domiciles des consommateurs ou des entreprises, les spécifications européennes précisent que le compteur communicant doit également fournir les services suivants :

- Au consommateur :
 - Lecture directe de sa consommation (en kWh et en €) avec rafraichissement toutes les 15mn ;
- A l'opérateur de distribution d'électricité :
 - Relevé des données de manière régulière (au moins une fois par jour et jusqu'à toutes les 15 minutes selon le contrat du client),
 - Mise à disposition d'une voie bidirectionnelle pour faciliter la gestion du réseau (ajuster l'offre à la demande en quasi-temps réel) ;
- Aux opérateurs commercialisant l'électricité :
 - Pouvoir mettre en œuvre plusieurs systèmes tarifaires (8 boucles sur le système Linky en France),
 - Permettre un contrôle on/off de la fourniture d'électricité et en tout cas la capacité d'en limiter la consommation (prépaiement).
- De sécurité :
 - Fournir un système de transfert des données protégé,
 - Assurer la prévention et la détection des fraudes.

Pour réaliser l'ensemble de ces fonctions, le « smart meter » du domicile intègre les modules suivants :

- Le compteur,
- L'afficheur, donnant la consommation électrique directement en kWh mais non valorisés en € (car dépend des tarifs du commercialisateur)

⁵² Il est intéressant de constater que certains pays européens ont pris la décision de déployer les infrastructures techniques de connexion de ces compteurs électroniques, communes au gaz et à l'électricité.

- Un module de communication longue distance permettant d'être raccordé au réseau de collecte choisi ou imposé au distributeur d'énergie :
 - En France la collecte des données du système Linky est faite en CPL⁵³ sur le réseau d'énergie puis en GPRS⁵⁴ jusqu'aux serveurs du gestionnaire du réseau électrique, Enedis ;
 - Au Royaume-Uni, le réseau de collecte est opéré par un opérateur indépendant des énergéticiens. Le réseau mis en place est un réseau GSM⁵⁵ dédié. Le module de communication longue distance du compteur est alors fourni par l'opérateur dédié.
- Des modules de communications locales (filaire ou radio ZigBee⁵⁶) vers les capteurs et actionneurs des éventuels équipements du domicile à télécommander.

Architecture du réseau « Smart Meter »

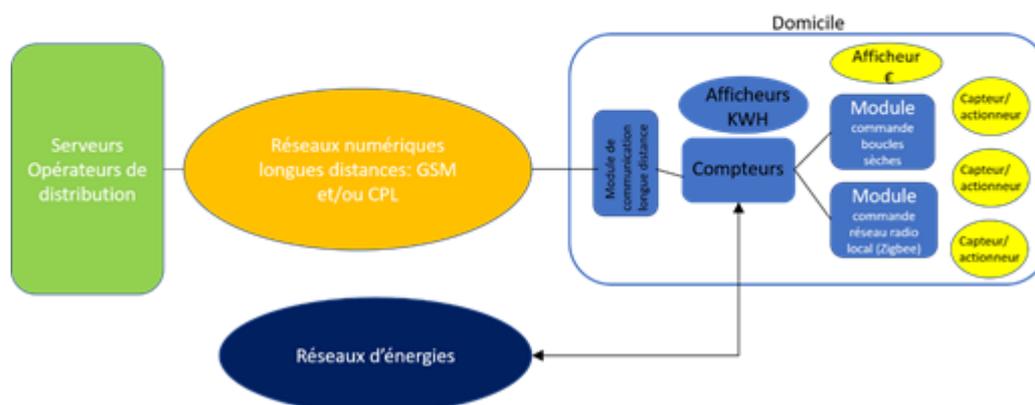


Figure 7 - Architecture du réseau "Compteur communicant". En bleu, modules composant le compteur communicant.
Source : The Shift Project, production du groupe de travail

Dans l'analyse des impacts énergétiques que nous détaillons plus loin, seules sont prises en compte les consommations des quatre modules décrits ci-dessus.

Les capteurs, actionneurs et l'afficheur en € sont optionnels et donc non évalués dans cette étude.

a. Modélisation : adaptation du modèle et du jeu d'hypothèses

Comme indiqué précédemment dans ce rapport, notre méthodologie consiste à **évaluer la consommation d'énergie de l'ensemble des modules électroniques constituant la couche connectée du compteur communicant et ce sur le cycle de vie complet de cet équipement, afin d'analyser les conditions dans lesquelles ces consommations peuvent être compensées par les économies permises.**

L'évaluation de la pertinence de l'équipement sera effectuée en prenant en compte les paramètres suivants :

- L'énergie grise nécessaire à la production des différents modules du compteur communicant,
- La durée de vie de l'équipement,
- L'énergie consommée par ces équipements en phase d'utilisation, ce sur la durée de vie de l'équipement,
- Les économies annuelles permises par le système sur la consommation électrique du foyer,

⁵³ Courant Porteur en Ligne

⁵⁴ General Packet Radio Service

⁵⁵ Global System for Mobile communications

⁵⁶ Protocole de communication

- L'attitude du foyer vis-à-vis des mesures d'économie préconisées par le commercialisateur d'énergie au regard de la consommation effective (c'est-à-dire l'intégration de nouveaux comportements de consommation d'énergie).

• Modélisation du changement de comportement

Dans le cas d'étude du compteur communicant, le changement de comportement est en effet une variable structurante des gains d'énergie réalisés. Les économies permises par le compteur communicant ne résultent pas mécaniquement de l'installation du compteur communicant au sein du foyer. **Elles résultent de la modification par les individus de leurs habitudes de consommation (choix et utilisation de leurs équipements domestiques), déclenchée par la visualisation de la consommation du foyer et les conseils du fournisseur d'énergie.**

Il s'agit donc de la mise en place volontaire, par les habitants du foyer, d'une nouvelle typologie de comportements, suite à la sensibilisation permise par le compteur.

Selon certaines études aujourd'hui disponibles (ADEME, 2018) (TBH Alliance, 2016), cette attitude est variable. Les changements de comportements, s'ils apparaissent en effet pour la plupart des foyers lors de l'introduction du compteur, s'atténuent avec le temps de manière plus ou moins rapide, jusqu'à souvent disparaître s'ils ne sont pas soutenus par des dispositifs pédagogiques et d'accompagnement. Dans ce cas les habitants, une fois l'effet de « nouveauté » passé, reviennent à leurs habitudes de consommation initiales, rendant nul les gains directs permis par la technologie connectée.

L'implémentation, dans le modèle STERM, de ce changement de comportement et de l'évolution des efforts réalisés par le foyer peut se faire à l'aide de l'intégration d'une dépendance temporelle dans le facteur d'économie d'énergie, comme présenté précédemment dans ce rapport.

La démarche ici présentée vise ainsi à illustrer la manière dont le modèle STERM peut être réutilisé et rattaché par les acteurs concernés (pouvoirs publics, organisations, acteurs de services etc.) afin de décrire des situations plus complexes et précises que celles présentées dans ce rapport. Ainsi, l'objectif de ce travail s'inscrit une fois encore dans une **démarche méthodologique visant à mettre en évidence les questions et éléments à intégrer dans la construction d'outils d'évaluation de la pertinence énergétique d'une technologie.** Or cette évaluation ne peut s'effectuer que pour chaque groupe de cas particuliers et correctement définis, afin de limiter le nombre d'hypothèses moyennes à prendre, et ce en vue d'assurer la pertinence des modélisations et conclusions.

b. Modélisation et conclusions

• Description du cas d'étude

Pour analyser l'impact énergétique de la couche « smart » du compteur communicant, nous avons choisis trois scénarios d'usage concernant un foyer d'une consommation électrique moyenne annuelle de 4590 kWh :

- **Le premier scénario (1) se caractérise par une attitude du foyer intermédiaire** quant à l'évolution des comportements au cours de la durée de vie du compteur. Economie de 3% sur la première période, d'une durée d'un an, et de 0.69%⁵⁷ sur la seconde période, qui couvre le reste de la durée de vie du compteur (14 ans).
- **Le deuxième scénario (2) correspond à un foyer où aucune nouvelle habitude se met en place de manière durable** malgré les informations données par le compteur communicant. La nouveauté incite à des changements de comportements (3% d'économie) sur la première période, d'une durée de 6 mois, puis un gain nul sur la seconde période, qui couvre le reste de la durée de vie du compteur (14,5 ans).

⁵⁷ (Taylor, 2015)

- **Le troisième scénario (3) caractérise un foyer maintenant ses efforts de changements de comportement**, ce qui mène à des économies de 1,5 % chaque année, sur toute la durée de vie du compteur (15 ans). Au vu des observations en situation réelle aujourd’hui disponibles, ce scénario est davantage théorique que réaliste.

Chacun des trois scénarios sert de base à une paramétrisation du modèle STERM, qui nous permettra d’appliquer la méthodologie d’évaluation de la pertinence énergétique développée dans ces travaux.

• Résultats de la modélisation

Les modélisations des trois scénarios, réalisées via le modèle STERM, permettent de percevoir l’impact d’un changement de valeur du coefficient d’économie d’énergie sur la conclusion finale⁵⁸. La non-persistance des comportements initialement mis en place par le foyer pour réduire sa consommation électrique va en effet *a minima* augmenter le temps d’amortissement T_{PB} (voir les résultats du premier scénario, en annexe), voire rendre impossible l’amortissement de l’impact de production par les économies réalisées au cours de la phase d’utilisation (cf. *Figure 8*, courbe bleue⁵⁹).

Cela signifie que la non-persistance du changement de comportement sur toute la durée de vie du compteur impacte les économies totales réalisées : en augmentant la durée à partir de laquelle les économies réalisées compensent l’énergie grise du compteur, voire en rendant cette compensation impossible sur la durée de vie du dispositif.

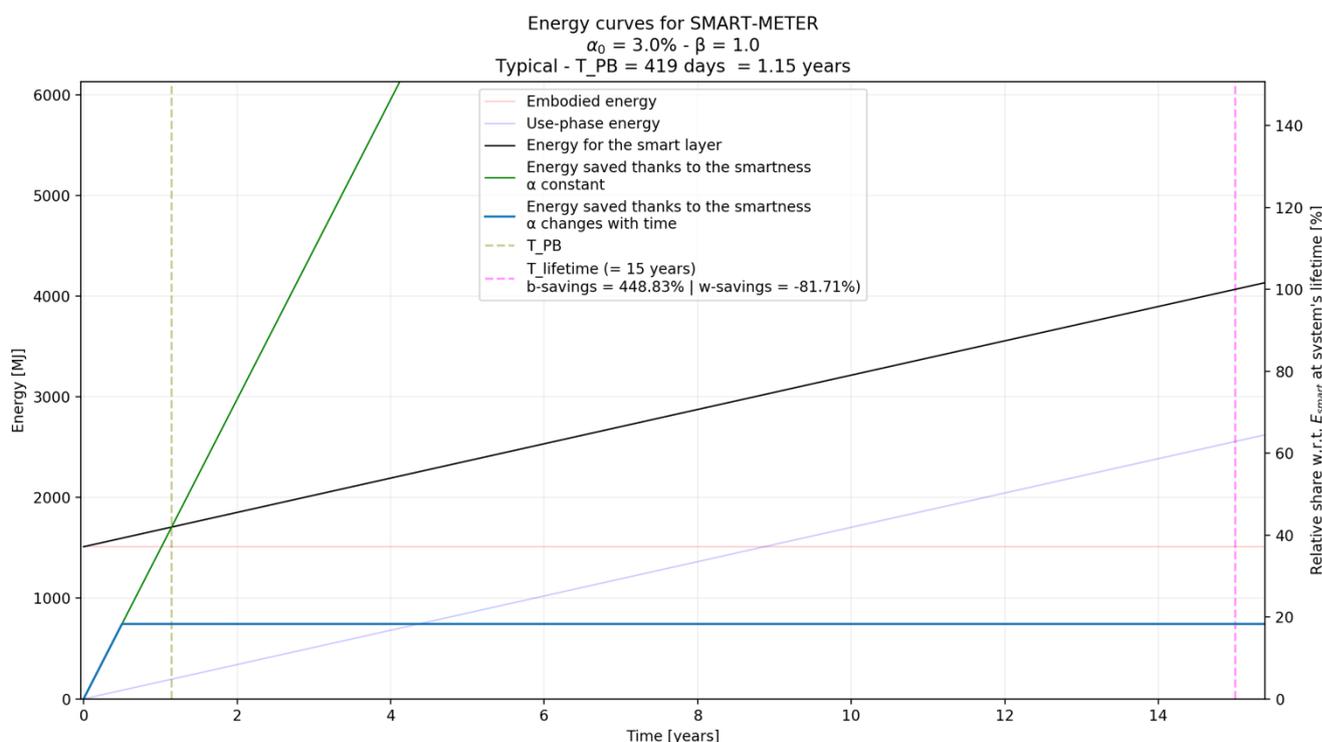


Figure 8 - Courbes d’énergie cumulées en fonction du temps, deuxième scénario
Source : The Shift Project, production du groupe de travail

• Conclusions et discussions

Les conclusions que nous pouvons formuler à ce stade concernent un angle précis : la pertinence du compteur en tant qu’outil d’économies d’énergie directement au niveau du foyer, et sans accompagnement supplémentaire. **Nous n’avons pas pris en compte dans cette étude les économies et les impacts positifs réalisés grâce au compteur communiquant sur le réseau de distribution (meilleure gestion du réseau, suppression**

⁵⁸ Résultats et figures exhaustives disponibles en Annexe.

⁵⁹ L’inflexion de la courbe au bout d’une durée de 0,5 ans traduit la fin du maintien de changements de comportements par le foyer, et l’effet du retour aux comportements initiaux sur les économies réalisées, qui deviennent nulles dans ce scénario. La courbe verte représente, elle, l’évolution des économies d’énergie (cumulées) si les changements de comportements se maintiennent en continu.

des déplacements liés à la relève annuelle des index par les techniciens etc.). Les conclusions ici formulées n'ont ainsi vocation qu'à alimenter une part des réflexions à mener afin d'étudier les véritables conditions de pertinence de ces systèmes.

Comme dans les autres cas d'étude explorés dans ce rapport, rien ne permet de conclure à l'automatisme d'un gain en termes de consommation d'énergie au sien du foyer lors de l'introduction de la technologie. En effet, les économies permises par le compteur étant directement liés à un changement des habitudes des habitants, elles dépendent *in fine* du comportement humain.

La visualisation des consommations énergétiques associées aux habitudes de consommation peut cependant être rendue utile voire essentielle au changement de comportement. L'information en quasi-temps réel de la consommation du foyer peut ainsi devenir un atout pour inciter les citoyens à mieux gérer leur consommation d'énergie. Mais si l'on souhaite en exploiter le potentiel, le déploiement de ces nouveaux outils se doit d'être accompagné d'une réflexion stratégique, dont voici certains des points clés :

- Le déploiement d'un outil de visualisation des consommations du foyer n'engendre un changement de comportement que s'il est correctement approprié et intégré dans une démarche définie. **Il est donc essentiel de mettre au point et de généraliser des démarches d'accompagnement des ménages.** Au-delà de la simple sensibilisation, changer les habitudes d'un foyer passe par la mise en place de conseils précis sur les objectifs à atteindre, les actions à mettre en place ainsi qu'une **explication claire des nouveaux arbitrages qu'impliquent ces changements de comportements.**
- Le déploiement de ces nouveaux outils, qui peuvent permettre une évolution par les foyers de la manière de gérer leur parc d'appareils domestiques (choix d'achats, manière d'utiliser les appareils etc.) **ne doit pas encourager la généralisation sans réflexion d'outils connectés proposant de nouveaux services.** En effet, il a été réaffirmé au travers des différents cas d'étude de ce rapport, que les impacts de production sont souvent conséquents dans l'appréciation de la pertinence énergétique des outils connectés⁶⁰. Laisser se développer une obsolescence déclenchée par l'introduction d'un outil visant à diminuer la consommation énergétique serait donc une erreur, qui annulerait les potentiels de l'outil.
- Il sera plus intéressant de pousser la mise au point d'outils fonctionnant sans renouvellement nécessaire des parcs d'appareils des foyers et d'analyser précisément, selon la méthodologie utilisée dans ce rapport, les véritables économies apportées par les outils de « gestion de l'énergie du domicile ».

D. Conclusions et recommandations méthodologiques générales

Dans un contexte de recherche de résilience, la problématique essentielle à traiter lors de prises de décision relatives au déploiement de technologies connectées est celle de la **pertinence** : pertinence vis-à-vis des enjeux de résilience, vis-à-vis de la compatibilité des stratégies environnementale et numérique des territoires ou organisations, vis-à-vis des enjeux indirects amenés par le déploiement (maintenance, multi-services, rôle-clé d'acteurs externes et/ou privés etc.).

Le modèle construit par notre groupe de travail, le modèle STERM, permet de mener une première approche objective de la pertinence énergétique, en prenant en compte les paramètres essentiels :

- Coût énergétique de production des composants de la couche connectée,
- Durée de vie des dispositifs,
- Consommation électrique associée au fonctionnement des dispositifs connectés,
- Economies d'énergie permises par l'introduction de la couche connectée,
- Paramètres pouvant influencer sur ces économies d'énergie (c'est-à-dire le contexte de pertinence)⁶¹.

⁶⁰ Une fois encore, la généralisation ne doit pas être faite de manière absolue, il s'agit ici uniquement de la tendance observée sur les cas d'étude traités ainsi que les travaux précédents de The Shift Project (The Shift Project, 2018).

⁶¹ Taux de fréquentation des salles pour la lumière connectée, persistance des changements de comportement pour le compteur communiquant etc.

Intégrer ces paramètres est indispensable à une évaluation qui ne soit pas partielle. Les cas d'étude ici développés ont en effet démontré que l'intégration d'une véritable approche « cycle de vie » peut modifier la conclusion finale quant à la pertinence. **Il est ainsi courant pour un système intelligent de permettre des économies sur la consommation électrique en phase d'utilisation. au vu de l'importance de l'énergie nécessaire à produire ces technologies, il est cependant moins évident de trouver des conditions de déploiement qui mènent effectivement à réduire les émissions totales.** Or ne pas prendre en compte les émissions sur toute la chaîne de valeur, c'est ne pas comprendre qu'il est indispensable d'adopter des considérations systémiques de type « analyse de cycle de vie » si l'on souhaite relever sérieusement les défis de décarbonation de nos activités.

Les cas d'études de nos travaux permettent également de formuler certaines des recommandations les plus fréquentes quant aux choix de déploiements de technologies permettant des économies d'énergie :

- Un système connecté ne peut devenir pertinent d'un point de vue énergétique qu'à partir d'une certaine consommation du système initial. Il sera donc **pertinent de déployer la technologie connectée sur ce système initial seulement si la consommation initiale est à la fois suffisamment importante et considérée comme étant optimisée le plus possible**⁶².
- **Le déploiement d'une technologie intelligente, si elle appelle à l'installation d'autres technologies ou infrastructures, réduit fortement voire totalement ses possibilités de pertinence énergétique**⁶³.
- Les changements de comportement engendrés s'atténuent le plus souvent avec le temps. **L'introduction d'un nouvel outil ne suffit donc pas à changer une habitude** si cela réclame des efforts de la part de l'individu. Il est donc inévitable de réfléchir au type d'accompagnement que nécessite un véritable changement des modes de consommation. L'introduction de nouveaux outils peut être un atout essentiel pour parvenir à cet objectif, mais uniquement **si son déploiement est réfléchi pour comprendre son cadre de pertinence, puis accompagné (formations, accompagnement au pilotage etc.) afin de créer et favoriser ce cadre de pertinence.**

Ces conclusions servent à orienter les réflexions des acteurs concernés, en leur permettant de **construire leurs propres analyses**. Il est impossible de construire une réponse objective à une pertinence générale des technologies connectées pour la transition énergétique. Il est cependant possible de produire des estimations cohérentes des coûts de leur déploiement, ce qui permet d'élaborer des visions claires et explicites des objectifs poursuivis lorsqu'un choix technologique est fait.

Le but de ces travaux est de produire des exemples illustratifs d'une démarche qui permette aux territoires et leurs parties prenantes (privées comme publiques) d'assurer la pertinence de leurs choix.

Les travaux ici réalisés s'intéressent à l'évaluation de la pertinence énergétique lorsque les économies d'énergie sont directes, c'est-à-dire lorsque la couche connectée permet une économie directement sur la consommation de l'objet sur lequel elle est intégrée. Pour les processus indirects (couche connectée pour optimiser des flux de mobilité par exemple, ou bien pour optimiser les gestions des flux de matières ou de déchets etc.), il sera nécessaire de mettre à jour la modélisation des gains d'énergie permis (en intégrant une traduction plus complexe des procédés associés, au sein de la modélisation du facteur d'économie d'énergie α). L'évaluation devra cependant absolument continuer d'intégrer l'évaluation des consommations directes de la couche connectée et de l'énergie grise associée. Au-delà de la consommation énergétique, **le développement de ces outils devra intégrer les critères environnementaux qui ne le sont pas ici et dont la prise en compte est essentielle (impact carbone, indicateurs de pollutions associées à la production, à l'utilisation et à la fin de vie des outils numériques).**

⁶² Dans l'exemple de la lumière connectée, il apparaît qu'améliorer l'efficacité énergétique de la technologie lumineuse (en passant d'incandescence à LED par exemple) rend souvent non-pertinente l'introduction d'une infrastructure connectée et intelligente, la consommation devenant alors trop optimisée pour que la couche connectée puisse devenir efficace.

⁶³ Déployer de nouveaux outils, c'est devoir les produire et les faire fonctionner, ce qui a toujours historiquement poussé un développement d'infrastructures plus importantes et à un impact matériel plus important.

Le modèle ici développé a pour ambition d'être un embryon d'outil qui soit repris, réapproprié et adapté aux besoins des acteurs, **afin que soit mise au point la palette d'outils nécessaire à la construction de dynamiques co-construites et cohérentes au sein des territoires.**

E. La « ville connectée » : du mot d'ordre à la stratégie territoriale intelligente

La ville connectée appelle à être clairement définie. Parce qu'elle résonne avec l'appel des territoires à construire leurs « villes de demain », elle se doit d'en être à la hauteur.

Nos technologies numériques et connectées offrent des opportunités certaines, mais qui ne s'affranchissent pas des risques que les aléas des décennies à venir font courir à la résilience de nos systèmes : risque climatique, risques sur l'approvisionnement en ressources fossiles, risques sanitaires et géopolitiques. Il est indispensable que la ville de demain se saisisse de ses responsabilités pour devenir véritablement « responsable ». Parce qu'elle est désormais responsable des choix stratégiques qu'elle fera et dont elle est désormais capable de comprendre les effets et implications sur sa transition vers la résilience.

Les choix technologiques ne sont plus de simples choix techniques. **Le déploiement d'une technologie engendre la mise en place d'un système d'usages autour de lui** et appelant d'autres déploiements dans le futur. Tout choix technologique est donc un choix sociétal et systémique, qui aura des impacts sur les autres systèmes et infrastructures du territoire (mobilités, systèmes sociaux et sociétaux, circuits de consommation etc.).

Rendre nos territoires résilients ne passera pas par une « numérisation » de toutes les activités qui s'y déploient. Les acteurs de nos systèmes numériques doivent développer les réflexions poussées sur les données produites, leur volume, les dynamiques qu'elles servent – qui ne doivent plus être simplement expansionnistes –, les infrastructures nécessaires à les stocker et les faire circuler, l'énergie associée, la question de leur disponibilité et utilisation sur le long terme, la question de leur fin de vie, de leur véritable valeur...

La résilience réclamera de construire des visions claires des objectifs à atteindre, des solutions disponibles pour les atteindre, de la place des technologies connectées dans ces combinaisons de solutions et de la manière de favoriser l'apparition et le maintien de leurs cadres de pertinence. **Il est du devoir des pouvoirs publics territoriaux de déterminer des objectifs quantifiés pour les transitions environnementales de leurs territoires, afin de pouvoir construire des stratégies opérationnelles et concrètes en concertation intense avec les acteurs locaux** (entreprises, organisations, associations, foyers etc.).

Mettre au point ces stratégies et concertations nécessitera de répondre aux questions essentielles :

- Quelles politiques et quels outils d'accompagnements des habitants du territoire sur leurs utilisations des outils numériques ?
- Quelles véritables politiques de fin de première vie des outils numériques (réparation, reconditionnement, recyclage etc.) ?
- Quelles stratégies pour contenir les dynamiques d'effets rebonds inhérentes à la mise en place d'usages numériques, et qui en contrebalancent les effets positifs ?
- Quelles sont les motivations véritables des projets technologiques du territoire (gains énergétiques effectifs ou augmentation de la connectivité, du profiling client, etc.) ? Quelles en sont les pertinences au vu des coûts énergétiques, environnementaux, en termes de perte de résilience etc. ?
- Quelles dépendances d'acteurs apparaissent lors du déploiement de nouvelles infrastructures et technologies (notamment les dépendances entre acteurs publics et privés sur l'opération ou la maintenance des systèmes, outils, infrastructures) ? Sont-elles compatibles avec les autres impératifs du territoire ?

« La ville connectée » ne sera « ville du futur » que si elle est réfléchie par un territoire qui saura créer des dynamiques cohérentes avec les acteurs œuvrant en son sein, qui saura construire une stratégie numérique qui devienne véritablement un atout pour sa trajectoire environnementale et qui sera en mesure de la traduire aux

différentes échelles qui le composent (entreprises, foyers, institutions, pouvoirs publics). **Parce que construire une ville connectée sans se soucier de la résilience des infrastructures technologiques qui y sont déployées, c'est manquer le pari technologique de ce siècle : la véritable innovation aujourd'hui est celle qui se choisit en toute connaissance de cause.**

II. Guider les organisations dans leurs efforts vers un Système d'Information durable

A. Contexte et objectifs

1. Objectifs

Du point de vue des enjeux environnementaux, la part de l'ICT (*Information & Communication Technologies* - Technologies de l'Information et de la Communication) dans les émissions de CO₂, l'usage des ressources naturelles et les pollutions des eaux et des sols sont tels que **chaque organisation, quelle que soit sa taille, va devoir changer son approche du numérique pour apporter sa part dans la réduction collective du poids environnemental des activités humaines.**

Ce chapitre a l'ambition d'inspirer **une vision d'un Système d'Information (SI) durable pour une organisation** en support à ses opérations. Il propose un **cadre méthodologique et des outils à mettre en place pour accélérer la mesure et la réduction de l'empreinte environnementale du SI.** L'objectif est de guider les acteurs du numérique pour qu'ils contribuent à la trajectoire vers la neutralité carbone mondiale, décrite dans la Stratégie Nationale Bas Carbone de la France [9] qui vise à atteindre la neutralité carbone à horizon 2050 et à contenir d'ici à 2100 le réchauffement climatique planétaire en dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels, conformément à l'accord de Paris (COP21) en 2015.

Ce rapport est écrit à plusieurs mains, en partie en période de confinement des suites de l'impact du COVID-19. Dans ce moment particulier, l'usage du numérique dans la société s'est renforcé et montre à quel point il peut être un levier de résilience dans le monde de demain. Il appartient aux professionnels du numérique de le faire évoluer rapidement vers un modèle durable, alliant sobriété des usages et optimisation des systèmes et des opérations.



À noter

Dans ce chapitre, **le terme organisation** désigne un groupe organisé vers une finalité commune, qui peut être une entreprise du secteur industriel ou des services, une administration ou une association. Les fournisseurs tels que les hébergeurs de services numériques ou les fabricants de matériel informatique sont également concernés.

Le terme système d'information ou SI, désigne l'ensemble des infrastructures informatiques qu'une organisation utilise ou fabrique pour supporter ses activités et fournir à ses clients le produit ou le service vendu. Ni les émissions de gaz à effet de serre [GES] des bâtiments comme les centres de données ou les locaux accueillant les ressources humaines informatiques, ni celles du transport et de l'alimentation du personnel travaillant à la Direction des Systèmes d'Information, ni celles des bâtiments et des systèmes de climatisation requis pour héberger les serveurs pour les professionnels de l'informatique ne sont traités dans le cadre de ce chapitre.

Le cadre défini ici doit permettre à une organisation de **déployer une politique numérique durable.** Il s'articule autour de 6 grandes activités :

- Elaborer et déployer une stratégie informatique durable,
- Développer une culture numérique durable,
- Mesurer l'impact environnemental du système d'information de bout en bout,
- Fabriquer un système d'information durable,
- S'engager avec les clients, les fournisseurs, les partenaires, les institutions vers des solutions et services durables,
- Gouverner la transition vers un système d'information durable.

Les bénéfices suivants, non exhaustifs, peuvent être attendus de cette approche :

- Réduire les émissions de GES et l'utilisation de ressources,
- Améliorer l'efficacité opérationnelle, réduire les coûts du SI en étant plus sobre, plus soucieux de minimiser les ressources numériques à faible valeur ajoutée,

- Renoncer aux stratégies aboutissant à des impasses environnementales et financières,
- Être prêt le jour où la législation sera contraignante sur ces sujets – ce qui est imminent en France et en Europe,
- Être prêt lorsque les métaux rares manqueront, et que les équipements informatiques seront impactés,
- Être attractif pour recruter et motiver les collaborateurs de leur entreprise en leur permettant de mettre leur action professionnelle au service d'une préoccupation sociétale forte,
- Proposer aux clients, actionnaires et salariés une vision et une démarche en phase avec leurs préoccupations citoyennes.

	<p>En plus de ce chapitre, sont fournis en annexe et sur le site de The Shift Project :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une liste de bonnes pratiques permettant de décliner les différentes activités du cadre en action concrètes • Un PowerPoint avec les schémas de ce rapport pour faciliter leur réutilisation • L'export XML des modèles Archimate® pouvant être importé dans tous les outils de modélisation compatibles avec le standard de The Open Group®
--	--

2. Population adressée

Ce chapitre est à destination des :

- **Directeurs des organisations** porteurs de la stratégie informatique,
- **Métiers utilisateurs des services numériques** tels que les propriétaires applicatifs, managers, donneurs d'ordre et autres qui portent la responsabilité de l'usage du système d'information et qui devront repenser ces usages au regard de leur impact environnemental,
- **Métiers du marketing ou des ventes** chargés de concevoir les services utilisés par les clients de l'organisation, qui devront promouvoir des cas d'usage et des modalités de consommation plus sobres,
- **Directeurs des systèmes d'information** qui ont la responsabilité de le développer et de l'opérer,
- **Architectes d'entreprise** chargés de dessiner les architectures à venir et d'éclairer les décisions, soit pour optimiser le patrimoine numérique de l'organisation, soit pour faire évoluer ses capacités,
- **Professionnels de l'informatique**, métiers et propriétaires applicatifs, managers, donneurs d'ordre et autres, qui portent la responsabilité de ce système pour leur organisation,
- **Enseignants des disciplines du numérique** dans les universités, les laboratoires de recherche, les écoles de l'enseignement supérieur ou les organismes de formation professionnelle,
- **Professionnels de la responsabilité sociétale et environnementale (RSE)** du fait de leur rôle dans la transformation vers des organisations durables,

Et plus largement de **toute personne impliquée dans la transformation numérique d'une organisation.**

B. Le système d'information a un impact environnemental

- **La fausse idée de la dématérialisation du numérique**

En première approche, le numérique dématérialise des flux physiques, et semble «alléger» et rendre plus agiles les organisations en réduisant l'usage du papier et le nombre des intermédiaires pour accéder à un service. En réalité, il matérialise des flux d'informations qui sont stockées dans des serveurs et qui cheminent dans des canaux matériels. Il crée une autre forme de matérialité très intensive en énergie, en espace et en matières premières parfois rares : salles machines, terminaux, réseaux, etc.

- **Nos systèmes d'informations sont obèses ...**

Poussées par des décennies de numérisation des processus internes, de mise en place de calculs d'indicateurs (réglementaires, de contrôle, de risque, ou d'aide à la décision) et de support à la croissance de l'entreprise (économie numérique), l'informatique est maintenant utilisée dans la totalité des processus des organisations. Ce succès du numérique et le rythme des innovations qui l'ont caractérisé ont laissé peu de temps à la rationalisation. **La quasi-totalité des organisations se retrouvent dans une situation «d'obésité» technologique due à un empilement partiellement contrôlé de différentes architectures, applications, données et technologies.** L'actif SI, stratégique, handicape l'entreprise dans son adaptation aux nouvelles réalités économiques. Jusqu'alors, les phases de rationalisation du SI ont plutôt été «subies» : l'explosion de la bulle

Internet de 2001 et du krach financier de 2008 ont déclenché des vagues plus ou moins « dures » de re-factoring du SI... qui sont toujours en cours aujourd’hui. Ainsi, **le temps de la transformation du SI est un temps long**, souvent incompatible avec les attentes des clients et des métiers. Comprendre que les nouvelles exigences environnementales auront un effet similaire signifie de **mettre en place dans un temps court une stratégie nouvelle** pour éviter le choc d’une transition abrupte.

- ... et ça se voit sur la balance

Dans notre premier rapport publié en 2018 (*The Shift Project*, 2018), nous faisons état des constats macroscopiques sur l’impact environnemental du numérique. Ce sont aujourd’hui les courbes d’explosion des données qui nous interrogent – le Big Data, parfois qualifié de « new oil ».

Selon une récente étude d’IDC, cabinet de recherche international dans le domaine des technologies, le volume de données stocké atteindra 175Zo (zettaoctet) en 2025, soit 5,3fois plus que ce qui était stocké en 2018. Or chaque octet supplémentaire nécessite de l’énergie pour être stocké, et induit donc un surplus d’émissions carbonées. Puisqu’il faut aujourd’hui stabiliser et réduire les émissions de CO₂, on comprend qu’il faut parvenir à stabiliser cette courbe en dédiant nos capacités de stockage aux données les plus utiles.

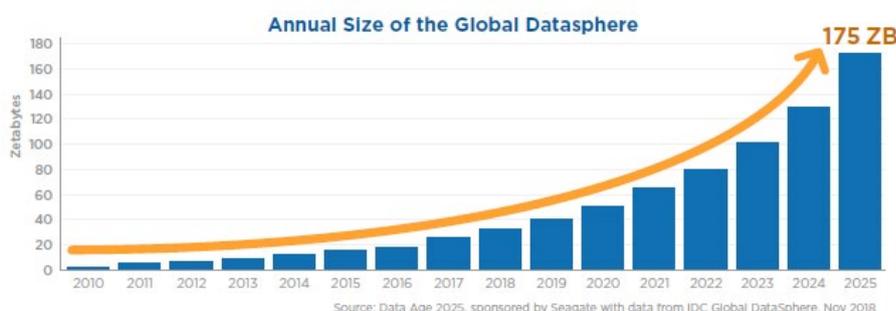


Figure 9 - les courbes d’explosion des données autrefois synonymes de croissance deviennent très préoccupantes
 Source : (Reinsel, D., Gantz, J., Rydning, J., 2018)

Si l’augmentation des volumes de données est un symptôme d’un emballement du numérique, d’autres indicateurs tels que les unités d’équipement numériques, les déchets numériques, les services numériques disponibles, le nombre de flux de données, le nombre de solutions opérées et disponibles, l’électricité consommée, ou les flux réseaux sont tous dans des dynamiques de croissance qui s’entretiennent mutuellement.

Le schéma ci-dessous est une illustration des boucles de rétroaction positive à l’œuvre. Il illustre la manière dont l’augmentation des volumes de données augmente mécaniquement les services disponibles, qui eux-mêmes augmentent les besoins matériels qui génèrent de nouvelles données...

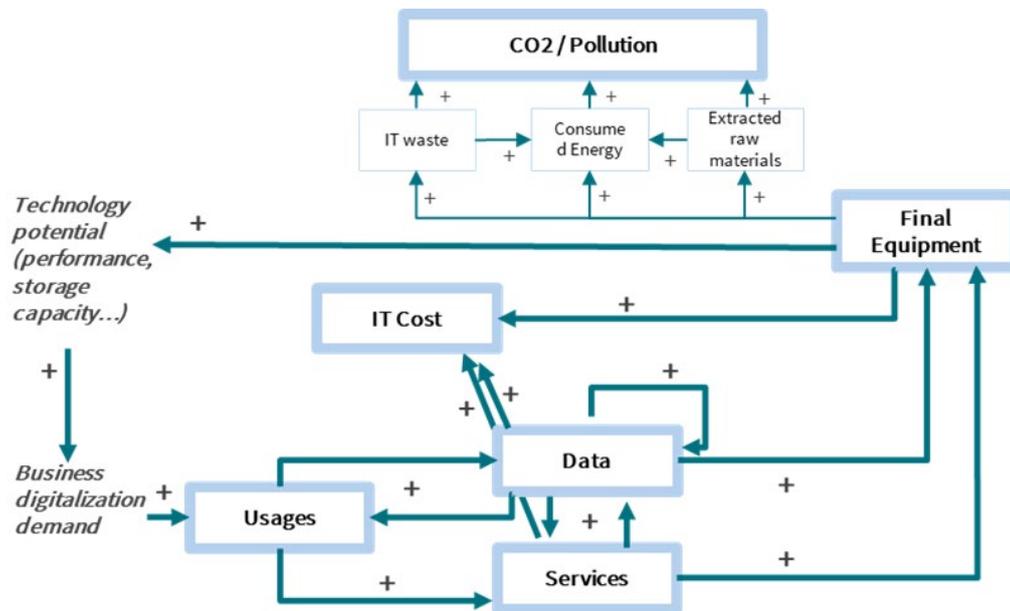


Figure 10 - System Thinking applied to the Information System of an organization - inspired by Thinking in Systems by Donella Meadows (Meadows, D., 2008)
Source : The Shift Project, production du groupe de travail

Une mesure de l'impact environnemental mondial du numérique a été établie dans le rapport «Pour une sobriété numérique» (*The Shift Project*, 2018). La part des ICT dans les émissions de gaz à effet de serre a augmenté de moitié depuis 2013 passant de 2,5% à 3,7% en 2018 pour atteindre **4% en 2020** : c'est davantage que l'aviation civile. La transformation numérique de la société a pour conséquence une forte augmentation des besoins en énergie du secteur ICT. Cette empreinte inclut l'énergie nécessaire à la production et à l'utilisation des équipements numériques tels que les serveurs, le réseau, les terminaux et augmente de 9% par an. Dans un contexte où les émissions globales de gaz à effet de serre doivent être mondialement réduites de 5% par an pour éviter une augmentation de la température supérieure à 2°C, il faut parvenir à stabiliser les besoins en énergie du secteur numérique comme proposé dans le rapport «Pour une sobriété numérique» (*The Shift Project*, 2018), et si possible les réduire.

Voici quelques ordres de grandeur — à noter que selon les référentiels utilisés, il peut y avoir des variations mais que l'objet est de prendre la mesure les ordres de grandeur.

Exemples	kg eqCO2	Source
Un aller-retour en avion Paris New York		
Par passager	1 047	https://eco-calculateur.dta.aviation-civile.gouv.fr/
Par passager	2 870	Calculateur carbone de la fondation GoodPlanet (https://www.goodplanet.org/fr/calculateurs-carbone/particulier/)
Une voiture – Modèle Peugeot 208 II		
Fabrication en Europe	8 407	ADEME : 1,1 T x 7643 = 8407 Kg
40 000 km/an pendant 8 ans (durée de vie)	33 280	40000x8x0,104 = 33 280Kg (données constructeur)
Une voiture – Berline		
Fabrication	7 100	http://www.fondation-nature-homme.org/magazine/quelle-contribution-du-vehicule-electrique-la-transition-energetique
25 000 km/an pendant 10 ans	3 840	http://www.fondation-nature-homme.org/magazine/quelle-contribution-du-vehicule-electrique-la-transition-energetique
Un data center de 1 000 m2, 1 MW installé, PUE 1,7		
kWh de fabrication (hors bâtiment, câble, dim...)	7 119 000	7,119kgCO2e/w x 1000m2 x 1000w/m2 = 7 119 000 KgCO2e
Exploitation annuelle kWh - PUE 1,7	14 892 000	1000 KW x 1,7 x 24 x 365
Exploitation annuelle en France - PUE 1,7	850 333	Mix énergétique données ADEME Détail du calcul 1000 KW x 1,7 x 24 x 365 x 0,0571 = 850 333
Exploitation annuelle en Inde - PUE 1,7	13 581 504	Mix énergétique données ADEME Détail du calcul 1000 KW x 1,7 x 24 x 365 x 0,912 = 13 581 504
Flotte de 1 000 téléphones PRO pour 3 ans (durée de vie)		
Fabrication Iphone 8	141 000	Données constructeurs Apple : 1000x3x47
Utilisation en France 1 charge par jour et par	938	Données constructeurs Apple : 3 x 1000 x 5,475 x 0,0571
Flotte de 1 000 PC portables PRO pour 3 ans (durée de vie)		
Fabrication	61 000	The Shift Project, lean ICT v1 (2018)
Utilisation annuelle en France	200	The Shift Project, lean ICT v1 (2018)
1 serveur en centre de données pour 3 ans (durée de vie)		
Fabrication	588	The Shift Project, lean ICT v1 (2018)
Utilisation annuelle en France	200	The Shift Project, lean ICT v1 (2018)
Vidéo		
30 minutes (par ex. e-learning 100% vidéo de 30)	9	The Shift Project, lean ICT v1 (2018)
Courriel		
10 courriels avec PJ de 1 Mo envoyés par jour	66	The Shift Project, lean ICT v1 (2018)
Papier		
ramette de papier blanc 80g/cm2	2	ges.ademe.fr/fr/accueil/
1 français pendant 1 an		
Pour un français en moyenne	11 900	https://www.gouvernement.fr/indicateur-empreinte-carbone

Sources : GreenIT, NégaOctet, The Shift Project, ADEME - 1 kWh élec. France = 0,0571 kg eqCO2



• Un programme de remise en forme pour les SI

À l'échelle d'une organisation, piloter et réduire l'impact environnemental de son SI signifie :

- mesurer la dépendance à une ressource qui risque de devenir rare et chère,
- évaluer le risque économique lié à un changement réglementaire futur qu'il faudra subir,
- estimer la «forme physique» du SI, i.e. son efficacité (rapport valeur/énergie).

Il s'agit de **reprenre le contrôle de l'empreinte environnementale du numérique** avec un **programme continu de remise en forme !**

C. Déployer une politique numérique durable pour la remise en forme du système d'information

- Déployer une politique numérique durable

Beaucoup de fournisseurs de services numériques ont **optimisé leurs consommations d'électricité**. Les premières actions ont notamment été centrées sur les coûts directs de la consommation d'électricité des salles serveurs (renouvellement de matériels pour des équipements plus performants ou travaux par des énergéticiens...).

Pour **maximiser la contribution à la neutralité carbone du secteur numérique**, il est nécessaire d'**optimiser l'usage de l'énergie mais aussi les ressources naturelles (ressources minières etc.)**. Il faudra également **consentir à dédier les ressources aux usages qui ont la plus forte valeur sociétale**.

À ce jour, très peu d'organisations ont pris en compte **un périmètre holistique du système d'information** intégrant **les services sous-traités**, l'impact de la **fabrication du matériel de l'infrastructure numérique**, la **performance du mix électrique des lieux de fabrication et d'opération**. **Sans ce point de vue global, le choix des solutions et les arbitrages sur les usages se fait avec des angles morts qui peuvent cacher des impacts très conséquents de nature à réorienter les décisions**. Le présent cadre de travail a **l'ambition d'accompagner les organisations dans cette transformation**.

Des activités nouvelles ou existantes à développer sont à mettre en place pour **déployer une politique numérique durable**. Celles décrites ci-dessous sont communes à toutes les organisations utilisant un **Système d'Information**. Il est pertinent de les décrire dans un cadre de référence pour établir **un langage commun interprofessionnel**.

Ce cadre «de remise en forme» du système d'information a vocation à servir de point de départ pour les équipes. Il sert à classer les activités déjà entreprises, évaluer leur maturité, les points forts et les points à développer et à se comparer au marché. **Il devra être adapté au contexte particulier de chaque organisation**.

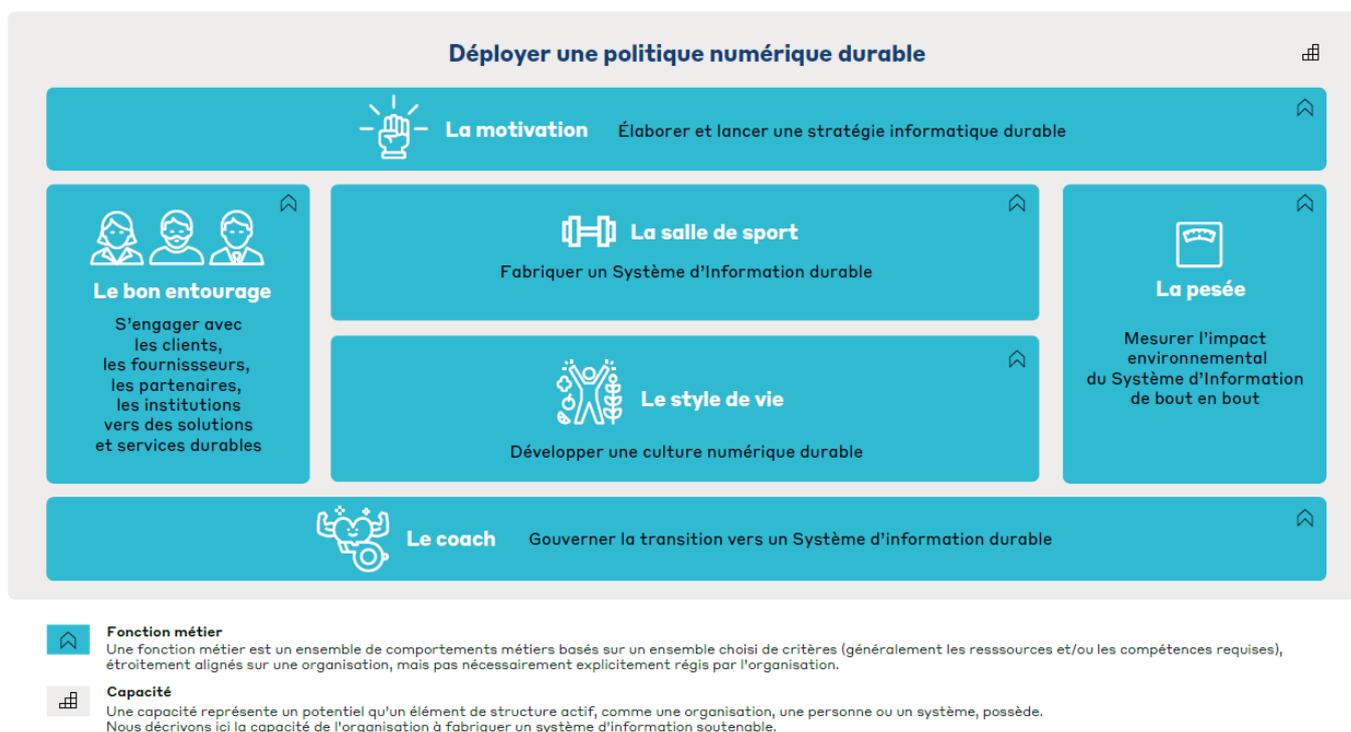


Figure 11 - Modèle de référence – vue de haut niveau – pour une remise en forme du Système d'Information
Source : The Shift Project, production du groupe de travail

- **Elaborer et lancer une stratégie informatique durable**

Le système d'information a besoin d'un **programme continu de remise en forme sur le long terme**. Cela nécessite **le support de la direction** et d'un sponsor fort tel que le directeur des opérations ou le directeur des systèmes d'information. Il implique de formuler et partager les motivations et les objectifs de transformation vers un Système d'Information durable. Ces objectifs doivent s'inscrire dans une stratégie d'ensemble de la durabilité de l'organisation et s'intégrer dans la stratégie informatique. Ils doivent également se décliner dans les démarches d'architecture d'entreprise au travers des principes d'architecture qui portent des exigences de mutualisation et de simplification du SI. Une fois **la stratégie informatique durable** définie, il faut **identifier un acteur avec une équipe qui seront responsables de mener la transformation** au travers des activités décrites ci-dessous.

- **Développer une culture numérique durable**

La méconnaissance du complexe **problème énergie-climat** et de l'impact environnemental du numérique est probablement l'une des causes fondamentales de notre difficulté à faire face à ces enjeux. Ce programme a besoin du support convaincu de tous les collaborateurs qui doivent être formés et sensibilisés, afin d'incarner une culture de sobriété et de durabilité qui s'inscrira sur le long terme dans l'ADN de l'organisation.

- **Mesurer l'impact environnemental du Système d'Information de bout en bout**

La mesure est **le moyen de piloter une réduction quantitative**. Il faut développer les outils pour contrôler, mesurer les progrès et la réduction effective de l'impact du Système d'Information sur l'environnement sur tout le cycle de vie des composants matériel «du berceau à la tombe». La fabrication du matériel est responsable de plus de la moitié des émissions de CO₂, elle puise quantitativement dans les ressources en métaux, elle génère des déchets et pollue les sols, l'eau... La recherche de l'optimisation de la consommation électrique conduit à des rythmes de renouvellement du matériel intense (*The Shift Project, 2018*). Il s'agit de prendre en compte les impacts de bout en bout, y compris le « scope 3 » des bilans carbone des référentiels RSE, pour construire un système d'information durable. Pour la mise en place de la mesure dans une organisation, le présent rapport a choisi de faire porter les efforts de l'organisation sur les émissions de CO₂, sur le périmètre complet et sur les premières actions de réduction. Développer cette nouvelle capacité représente des efforts mais elle est indispensable pour suivre la transformation et l'atteinte d'objectifs de réduction significatifs.

- **Fabriquer un Système d'Information durable**

Adapter les méthodes de fabrication des outils numériques pour intégrer, dès la conception des systèmes et leur fabrication, les principes de minimisation de l'impact environnemental. Ces nouvelles exigences pourront alimenter les méthodes agiles utilisées pour la fabrication des solutions informatiques. Les architectures seront choisies en fonction de leur impact environnemental. Tous les domaines d'architecture sont concernés :

- Les **métiers** remettront en question le principe du tout numérique et sélectionneront les offres les plus efficaces sur le plan environnemental, de la fabrication à la consommation, parmi celles qui leur apportent une réelle valeur métier.
- Les **applications** seront économes en ressources sur les serveurs de l'organisation et sur les terminaux des clients.
- Les **données** stockées seront gérées de façon rigoureuse et économe, et leur présence justifiée par des usages et une valeur précise.
- Les **solutions techniques** seront choisies notamment pour leur réparabilité, leur durabilité, leur efficacité énergétique, la provenance de leurs composants (ex : économie circulaire).

- **S'engager avec les fournisseurs, les partenaires, les institutions vers des solutions et services durables**

À ce jour, le système d'information est caractérisé par une obsolescence rapide. Elle est au cœur du modèle économique actuel du secteur, et il faut aller vers une **pérennité programmée**. Par ailleurs, le mix énergétique des pays dans lequel exercent les employés et prestataires IT est rarement pris en compte dans le choix des services, alors qu'il peut faire varier de plusieurs ordres de grandeur les impacts environnementaux.

Cette transformation requiert une mobilisation collective des différents acteurs du secteur, que ce soient les fabricants de matériel, les fournisseurs de services ou les entreprises utilisatrices. En effet, solutions et services numériques sont le plus souvent achetés à des tiers.

L'entourage, l'écosystème de l'organisation est clef dans sa transformation. Pour atteindre les objectifs de durabilité, il faudra choisir des partenaires qui souhaitent s'inscrire dans un cadre durable, définir une stratégie d'approvisionnement tenant compte de l'impact environnemental des fournisseurs, s'impliquer dans les échanges interprofessionnels sur les sujets environnementaux pour créer une émulation autour de la transformation du secteur.

Enfin, si l'organisation qui souscrit les services ou achète les solutions ne les opère pas, elle reste responsable de ses volumes de données, de ses traitements, de ses usages réseaux et du choix de fournisseurs qui partagent ses valeurs. Le fournisseur externe ne peut être la « poubelle à carbone » de l'organisation qui se remplit tandis que le périmètre concerné par l'obligation légale se réduit. Une collaboration intense avec les différents sous-traitants est nécessaire pour assurer la complétude de la mesure et des actions de réduction des émissions indirectes issues de ces tiers pour les usages de l'organisation.

- **Gouverner la transition vers un Système d'Information durable**

La transformation nécessite une rigueur sur le long terme et une gouvernance associée : **le critère environnemental doit entrer au cœur des processus de prise de décision** relatifs aux évolutions du système d'information.

Les activités sont détaillées dans le modèle de référence ci-dessous et dans les chapitres qui suivent.

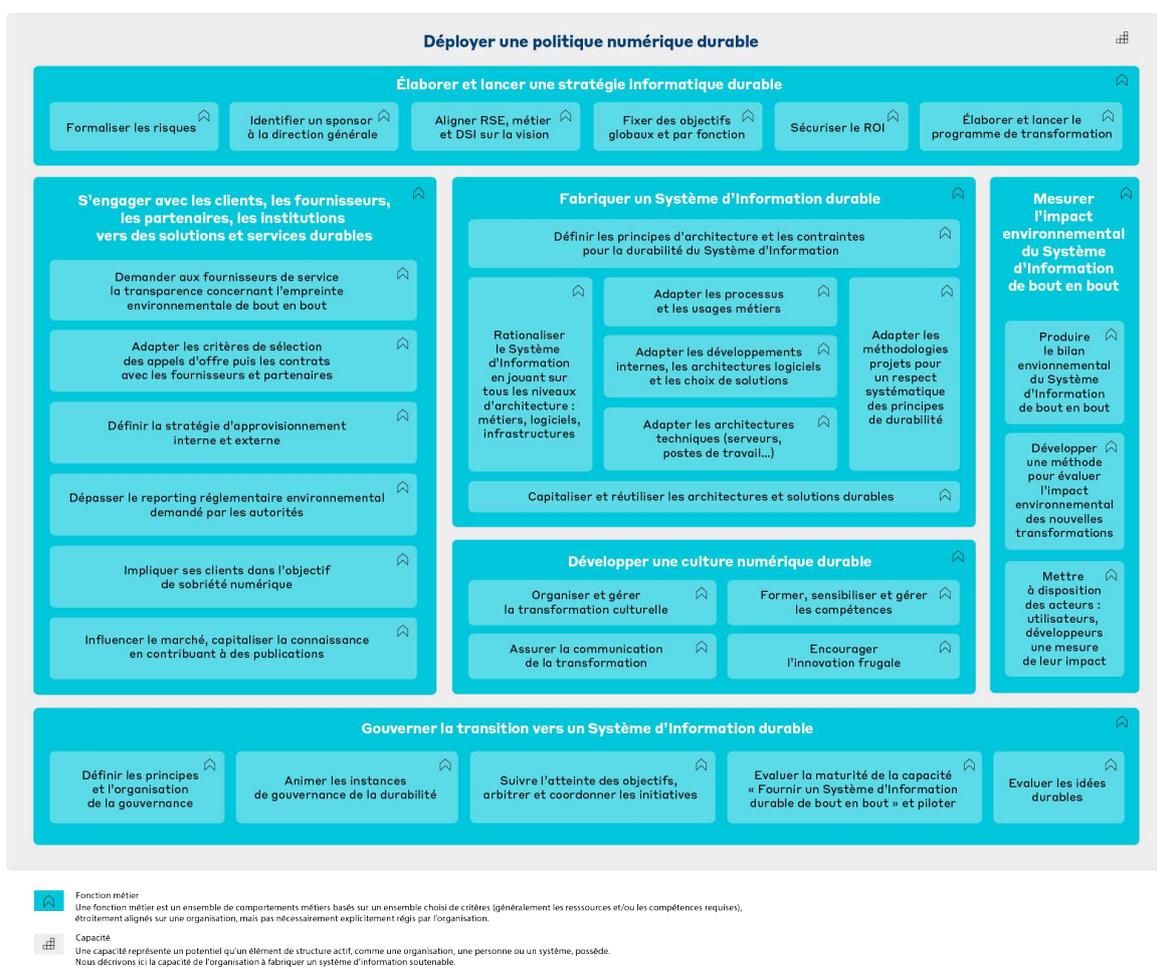


Figure 12 - Modèle de référence – vue détaillée – pour une remise en forme du Système d'Information
 Source : The Shift Project, production du groupe de travail

Ce modèle est également rendu disponible au format Open Exchange XML file défini dans le cadre du standard Archimate de The Open Group. Chaque fonction est documentée avec une description et le fichier xls des bonnes pratiques liste des actions à réaliser en rapport avec chacune d'elles.

D. Elaborer et lancer une stratégie informatique durable

1. Stratégie informatique : entre support de la croissance et gestion des risques associés

La stratégie informatique est l'incarnation numérique de la stratégie des organisations : elle est tirée par **une recherche permanente de croissance et d'amélioration des marges**. Selon les contextes, elle a pris diverses formes :

- **Recherche d'efficacité** systématique par la numérisation des processus.
- **Aide à la décision** par la démultiplication de calculs et gestion d'indicateurs.
- **Prédominance du Web** pour la vente et marketing.
- Développement de **nouveaux modèles d'affaires entièrement numériques** (transformations « digitales », économies de plateformes).

Ces stratégies ont été soutenues par des budgets qui ont été multipliés par deux entre 2006 et 2018 (IDC, 2017) (1).

La transformation numérique qui en a résulté a considérablement augmenté **l'exposition de l'entreprise aux risques liés au numérique** qui ont commencé à être traités au début du XXI^{ème} siècle. Des programmes de rationalisation motivés par le contrôle des coûts, le contrôle de l'obsolescence et la dette technologique, ou le contrôle de la complexité et de l'évolutivité du système ont été mis en route. Enfin, des investissements massifs dans la cybersécurité ont été multipliés par 35 entre 2004 et 2017 (Cybersecurityventures, 2019), et ces risques sont maintenant supervisés directement au niveau des directions générales.

2. Risque environnemental lié au numérique : nécessaire responsabilisation de la direction générale

L'expression « **infobésité** » exprimait jusqu'alors le risque pour l'entreprise à ne pas avoir la capacité de s'adapter rapidement aux nouvelles conditions de marché à cause de son SI à la taille incontrôlée. Aujourd'hui il s'agit aussi et surtout de savoir si son SI ne constitue pas une menace face aux nouvelles contraintes et exigences environnementales de demain, et ne devient pas un facteur aggravant des risques climatiques auxquels l'entreprise fait face, et qui sont rappelés ci-dessous.

RISQUES DE TRANSITION		RISQUES PHYSIQUES
Réglementations	Marchés	Aigus
<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation du prix des émissions de GES • Renforcement des obligations de reporting • Réglementations sur les produits et services existants 	<ul style="list-style-type: none"> • Modification des comportements des consommateurs • Incertitude des signaux du marché • Augmentation des coûts des matières premières 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de l'intensité et de la fréquence des événements extrêmes : <ul style="list-style-type: none"> - Cyclones - Ouragans - Inondations <p><i>(causes de dommages sur les installations, de réduction des capacités de production...)</i></p>
Technologies	Réputation	Chroniques
<ul style="list-style-type: none"> • Substitution de produits et services existants par des options moins émissives • Investissement infructueux dans de nouvelles technologies • Coûts initiaux de développement de nouvelles technologies bas-carbone • Impact environnemental du Numérique 	<ul style="list-style-type: none"> • Modification des préférences des consommateurs • Stigmatisation d'un secteur • Augmentation des commentaires négatifs des parties prenantes (ex: greenwashing...) 	<ul style="list-style-type: none"> • Modification des régimes de précipitations et augmentation de leur variabilité • Augmentation des températures moyennes • Augmentation du niveau des mers <p><i>(causes de dommages sur les installations, d'augmentation des coûts d'exploitation, impact sur la productivité des salariés)</i></p>

Tableau 3 - Typologie des risques climatiques de transition et physiques
Adapté de I4CE, à partir de (I4CE, 2017)

À noter que cette taxonomie officielle est limitée aux enjeux énergie-climat mais que les risques induits par le SI et sa construction physique vont au-delà : pression sur les ressources minières finies, pollution des eaux et des sols, tensions sociales et politiques.

En conséquence, **la prise de conscience et le déclenchement de la transformation au niveau de la direction générale** est le premier acte d'une stratégie informatique durable.

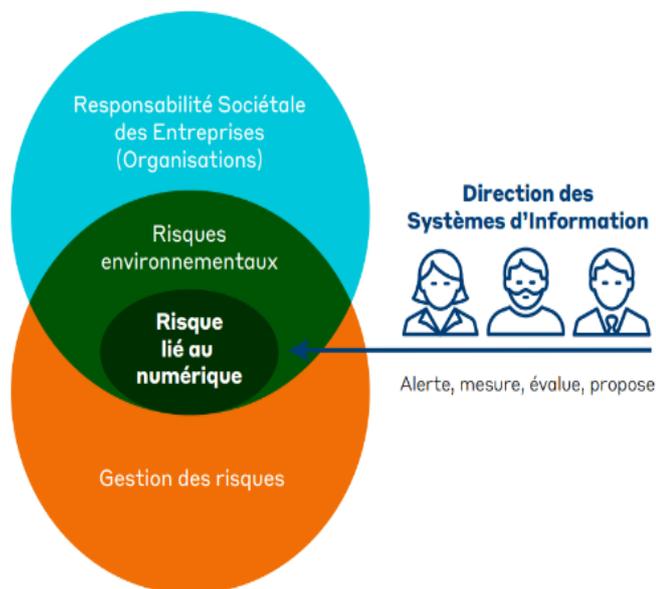


Figure 13 – Risques, responsabilités et rôle de la DSI
Source : The Shift Project, production du groupe de travail

3. Stratégie informatique durable : expression d'une stratégie d'entreprise responsable

L'ensemble de ces risques présente la particularité de dépasser largement le simple périmètre de l'entreprise : prendre conscience de sa part de responsabilité en tant qu'organisation est un enjeu sociétal, qui s'affiche dans sa « **raison d'être** ». Cette notion a été institutionnalisée récemment par la loi PACTE (Ministère de l'économie, des finances et de la relance, 2019), permettant légalement aux sociétés de « *préciser une raison d'être, constituée des principes dont la société se dote et pour le respect desquels elle entend affecter des moyens dans la réalisation de son activité* » dans leurs statuts. L'influence croissante de cette « *raison d'être* » sur la stratégie est de plus en plus revendiquée (BCG, 2019).

La stratégie pour une informatique durable est le versant numérique de cette « *raison d'être* ». Elle nécessite **une approche holistique de la problématique du numérique et du coût de ses externalités dans l'entreprise** qui doit être considérée dans son ensemble : ses contraintes externes, son modèle d'affaires, son organisation au sens large – localisations géographiques, processus, gouvernance, fonctions – ses partenaires et fournisseurs, sa culture et, bien évidemment, son SI. L'ampleur de la transformation est à ce titre comparable à celle des transformations dites « *digitales* », qui ont eu besoin tout autant de *sponsorship* fort et se sont vues représentées officiellement aux Comex, sous la forme de « *Chief Digital Officer* » par exemple.

La vision de cette stratégie informatique durable doit être construite avec le département RSE, la gestion des Risques et les Métiers : une nouvelle articulation est à mettre en place pour la définir, et pour assurer une cohésion globale à la fois avec les autres aspects environnementaux (voyages, bâtiments,...) et le développement de l'activité de l'entreprise.

4. Ambition d'une stratégie numérique durable

Déterminer l'ambition de cette stratégie requiert un premier exercice de mesure assez complexe, qui vise d'abord à cerner et quantifier l'empreinte numérique actuelle de l'entreprise dans sa globalité : due à sa consommation électrique directe (dite «scope2») mais aussi et surtout aux impacts amonts et aval indirects (dite de «scope3») – de la construction et acheminement du matériel à son utilisation dans un *data center* d'un fournisseur externe par exemple – qui représentent de loin la part la plus importante de l'équation (Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, 2016).

Modéliser et redistribuer cette empreinte globale par chaîne de valeur au sein de l'entreprise aidera au second exercice de définition des objectifs de réduction, de quantification et de choix des moyens pour y parvenir — les usages de chacune des fonctions devant être questionnés au regard du rapport gain économique/impact environnemental. Les objectifs au global pourront être mis en regard des accords de Paris (COP21), **qui engagent à une réduction des émissions globales de 5% à 7% par an** (*The Shift Project*, 2018). En France, l'ambition de la Stratégie Nationale Bas Carbone est de diviser les émissions par 6 d'ici 2050 (MTES, 2020).

Comme pour la mise en œuvre de toute stratégie, des investissements sécurisés par la Direction Générale sont nécessaires. Certaines des initiatives auront peut-être des impacts économiques positifs, d'autres des impacts négatifs, et s'il est difficile d'évaluer *a priori* le bilan cumulé d'actions aussi diverses que la rationalisation du SI, le changement de fournisseurs (plus responsables), et la relocalisation de certaines opérations (vers des pays au mix énergétique propre), l'impact potentiel sur la rentabilité de l'entreprise doit être posé. La recherche d'équilibre entre les objectifs économiques à court terme et les objectifs environnementaux doit amener à la formulation des limites acceptables de l'augmentation éventuelle du budget de fonctionnement, facteur limitant de l'ambition à formuler clairement. A noter que des initiatives pour assurer le financement d'une telle stratégie (CAPEX et impact OPEX) commencent à voir le jour avec des mécanismes de taxe carbone internes, facturant les métiers en fonction de leur empreinte CO₂ (Société générale, 2020).

5. Implémentation de la stratégie

Le présent document propose un cadre de référence pour aider à la définition du programme de transformation qui déclinera cette stratégie au sein de l'ensemble des fonctions l'entreprise. Le «**RACI**» haut niveau de ce programme peut être simplifié de la sorte :

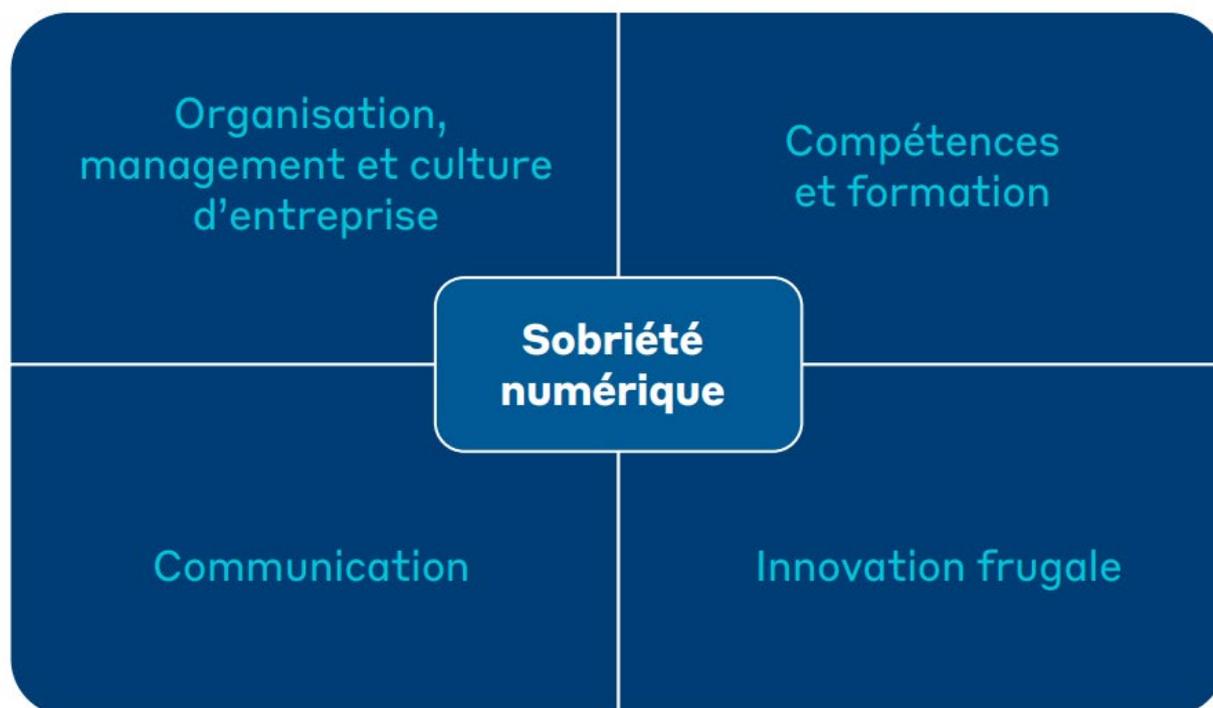
R	A	C	I
Réalisateurs (<i>Responsible</i>)	Responsables et sponsor (<i>Accountable</i>)	Consulté (<i>Consulted</i>)	Informés (<i>Informed</i>)
CIO (DSI)	Membre du Comex ayant autorité sur la DSI CEO (<i>Chief Executive Officer</i>), CDO (<i>Digital</i>), COO (<i>Operation</i>)	RSE, Métiers, Fonctions support, Partenaires, Fournisseurs	Clients

On notera l'importance croissante des départements Achats au sein de ce programme au vu de l'importance de la sous-traitance informatique et de la forte tendance du marché XaaS («*everything as a service*»). Et comme tout programme de transformation, son succès est conditionné à l'adhésion de l'ensemble des employés et partenaires, de la modification de leurs pratiques au quotidien, pour aboutir à un changement de culture qui rendra pérenne ce changement de paradigme.

E. Développer une culture numérique durable

Comme vu précédemment, la pollution numérique est multifactorielle. Dans les entreprises, l'heure n'est pas vraiment à la diminution des usages. Mais cette croissance n'est pas tenable. Ces limites doivent pousser les entreprises à mener des actions pour **accompagner leurs collaborateurs** et **développer la sobriété numérique de leur organisation de manière transverse**. C'est une véritable transformation organisationnelle et culturelle qu'il faut opérer afin d'assurer l'appropriation et l'intégration des problématiques climatiques et environnementales dans les usages (internes et externes) et les méthodes de travail.

Cette transformation peut s’effectuer et se mesurer selon 4 axes principaux qui servent l’objectif commun de sobriété numérique :



1. Organisation, management et culture d’entreprise

Pour bâtir une transformation légitime et durable, **la crise climatique doit être comprise au plus haut niveau de l’entreprise et intégrée dans les décisions**. Il faut continuer à s’appuyer sur les principes et orientations prises dans le cadre de la RSE, mais il faut aller au-delà. En s’engageant dans cette transformation, le management libère l’envie des collaborateurs de contribuer à une transformation porteuse d’un sens qui transcende l’organisation.

Cette **motivation vers le changement** doit être soutenue par **les outils usuels du management** tels que la définition des objectifs, l’intéressement, etc. Chaque acteur doit être conscient de l’objectif stratégique de décroissance carbone et l’intégrer dans ses activités quotidiennes. Sur un plan opérationnel, les objectifs sont déclinés individuellement mais l’engagement sur l’objectif climatique doit, plus que jamais, être collectif.

Des **méthodes plus informelles** peuvent également être utilisées pour créer de l’émulation. Les bonnes pratiques peuvent être partagées au travers des guildes et des communautés IT : ce sont des outils puissants de valorisation et de motivation.

La **mesure de l’empreinte environnementale disponible pour le périmètre de chaque acteur** est un élément clef du dispositif. Elle permet à chaque équipe, projet agile, collaborateur, métier ou professionnel de l’informatique d’agir à leur niveau en définissant leurs propres objectifs et indicateurs de pilotage.

Le développement d’une culture d’entreprise à même de fédérer les collaborateurs autour des objectifs stratégiques climatiques est nécessaire. Plus cette culture sera portée et incarnée par une équipe de direction exemplaire et plus elle inspirera l’ensemble des collaborateurs. Elle doit permettre notamment le développement et l’ancrage de principes et de réflexes basés sur des valeurs fortes telles que la frugalité, l’exemplarité, le droit à l’erreur (et l’apprentissage par l’erreur), la simplicité, l’humain d’abord, l’esprit critique... Les populations IT devront être motrices au sein des organisations pour accompagner le changement vers la sobriété numérique.

Les professionnels intervenant dans le secteur numérique ont un rôle charnière à jouer dans le développement d’une culture numérique durable. Tous les acteurs du SI et particulièrement ceux qui en ont le plus haut niveau d’expertise doivent s’impliquer. Ainsi doivent-ils, en fonction de leurs postes :

- Faire l'objet de plans de formation et d'attribution de moyens spécifiques pour l'accomplissement de leur mission.
- Participer à la construction et au suivi des différents indicateurs de pilotage des impacts du SI.
- Participer aux différentes instances de gouvernance du SI pour s'assurer que les projets et les décisions sont en ligne avec les objectifs de sobriété.
- Jouer un rôle de prescripteur des nouvelles pratiques de la sobriété numériques aux différents niveaux (développement, métier, etc.) et à tout moment du cycle de vie du SI.

Par ailleurs, du fait de leur rôle pivot entre l'IT et les métiers, les **product owners** devront établir un pont entre deux mondes bien différents autour d'une problématique commune. Leur pratique quotidienne devra évoluer pour intégrer les objectifs du numérique durable sur l'ensemble de leur périmètre : charge à eux de questionner la valeur environnementale et d'établir l'équilibre entre la valeur métier et les objectifs environnementaux.

Enfin, les fonctions qui permettent d'adresser la transformation de l'organisation dans son ensemble telles que l'**architecture d'entreprise**, qui est particulièrement adaptée du fait de son approche systémique, le **pilotage** et les **gouvernances** en place dans l'organisation devront **être adaptées pour intégrer l'objectif de sobriété numérique** tel que décrit aux chapitres G- Fabriquer un Système d'Information durable et I- Gouverner la transition vers un Système d'Information durable.

2. Compétences et formations

Des actions de sensibilisation et de formation sont à mettre en place au sein de chaque organisation pour accompagner la compréhension de l'objectif stratégique bas carbone et l'acceptation par l'ensemble des collaborateurs de la nécessité du changement. Il faut mettre en avant les problématiques énergie-climat/raréfaction des ressources et la contribution du numérique aux dérèglements en cours. Sont dès lors préconisés des ateliers type Fresques du Climat⁶⁴ ou Fresque du numérique, des conférences animées par des collaborateurs, des mises en avant de gestes quotidiens. Bien qu'il soit envisageable de faire appel à des intervenants extérieurs, **il convient de privilégier les actions à l'initiative des collaborateurs pour maximiser l'appropriation et l'impact.**

Ces actions de formation ne doivent pas être dirigées uniquement vers les populations IT : les métiers aussi doivent être sensibilisés pour qu'ils comprennent l'impact environnemental de l'IT découlant de leurs usages et de leurs décisions ou expressions de besoin. Pour cela, il est possible d'imaginer des MOOC ou des communications en ligne faites en masse, à l'instar de ce qui se fait à propos du RGPD ou des risques liés à la cybercriminalité.

 <i>Exemple</i>	<p>«Clean Numeric» : Au sein d'une filiale d'une grande banque française, un employé a pris l'initiative courant 2019 de construire un support de présentation et une formation (ateliers d'application des bonnes pratiques d'usages) pour sensibiliser et former les collaborateurs et managers aux enjeux environnementaux et à la lutte contre le gaspillage généré par numérique. Il propose des solutions en montrant comment mieux utiliser les outils digitaux. Cette initiative est inscrite depuis le mois de novembre 2019 au « <i>company engagement</i> » de l'entreprise et a permis de sensibiliser plus d'un millier de collaborateurs ; elle est à la base de travaux de réflexion à l'échelle du groupe bancaire qui se sont mis en place début 2020.</p>
---	--

Au-delà des actions de sensibilisation et de formation, la sobriété numérique nécessite le développement et la mobilisation de **nouvelles compétences** telles que le **bilan carbone, l'écoconception, le software craftsmanship...** (développer moins mais développer mieux). Elles viennent compléter celles déjà requises pour les **postes IT**, notamment pour les architectes et les développeurs seniors qui ont un rôle d'orientation et de prescription des pratiques IT. **Il faudra les intégrer dans les processus RH et les ajouter aux fiches de poste ou emplois types** pour les populations IT concernées et développées par des actions de formation spécifiques selon les populations.

Les **acheteurs**, dont l'activité couvre une grande partie du **scope3 du bilan carbone de l'organisation**, doivent faire l'objet d'une attention particulière en termes de formation et de compétences car ils joueront un rôle à la fois

⁶⁴ <https://fresqueduclimat.org/>

de prescripteur («ce que l'on demande à nos fournisseurs») et de collecteurs (récupération des mesures de l'impact de la sous-traitance) de l'impact environnemental du SI.

Au niveau du **recrutement**, il est primordial que les organisations s'assurent de l'adéquation du profil et des compétences de candidats avec les nouveaux besoins. Le recrutement de jeunes diplômés auprès d'écoles et universités qui ont fait l'objet d'actions ciblées est une grande aide, mais il faut aller au-delà en intégrant dans le processus de recrutement des questions relatives à la sobriété numérique pour tous : ceci afin de s'assurer que les nouveaux arrivants sauront s'adapter à la nouvelle culture d'entreprise et à la transformation en cours.

3. Communication

La communication interne respectant les principes de l'**éco-communication** (ALEC Lyon, Hespul, 2017) (ADEME) et de la sobriété numérique doit être le reflet des enjeux et des efforts consentis à tous les niveaux. **Elle doit permettre l'initialisation et l'entretien du mouvement et de la motivation vers l'objectif de frugalité numérique.** Elle peut mettre en avant des challenges (*hackathons* du *lean IT...*), célébrer des avancées significatives, animer des guildes ou des communautés d'entraide dans cette démarche de sobriété numérique. L'intensité de la communication et transparence sur les actions de l'organisation telles que l'évolution du bilan carbone, des consommations électriques globales, des filières de traitement des DEEE (déchets d'équipements électriques et électroniques) sera l'une des preuves de l'implication du management dans le cheminement vers la sobriété numérique.

La communication externe permettra une émulation entre entreprises et une valorisation de l'organisation pour cibler les talents sensibles à la problématique environnementale. Elle peut par exemple organiser des conférences ou des *meetups* autour des actions de sobriété numérique, **préférentiellement animés par des collaborateurs pour avoir plus d'impact et susciter plus de motivation**, voire mettre en place des communautés publiques en mode connaissance ouverte.

4. L'innovation frugale

L'enjeu est «comment faire aussi bien, voire mieux, avec moins?». L'IT étant au cœur de la transformation numérique, il n'est bien sûr pas question d'arrêter ou de freiner l'innovation : en s'appuyant sur les transformations opérées sur les axes précédents, l'innovation doit également se transformer pour devenir frugale : frugale par les enjeux, frugale par les moyens, frugale par les objectifs, frugale par essence.

L'innovation frugale est une démarche qui vise à **élaborer des solutions efficaces, dépourvues de sophistication et de superflu, avec le moins de moyens possible mais sans faire de concession sur la qualité** (évaluée au plus juste) du service rendu et en anticipant le cycle de vie de l'offre et de son usage. Elle doit s'appuyer sur des valeurs (simplicité, sobriété, etc.) et faire appel à toutes les compétences : celles de l'IT sont particulièrement adaptées (goût de l'innovation et du challenge fréquent parmi les professionnels du numérique). Il faut donc **libérer les capacités d'innovation de l'organisation à tous les niveaux** : toutes les propositions doivent être considérées tant qu'elles répondent à l'objectif de sobriété numérique. Dès lors, il faudra mettre en place les outils et les méthodes qui vont permettre à l'innovation d'émerger, de circuler et d'être acceptée en intégrant dès le départ les démarches et pratiques de Lean IT déjà évoquées. Les projets IT devront ensuite être challengés et mesurés au regard des critères de sobriété numérique.

Même frugale, l'innovation peut être source de changements majeurs et de ruptures, en particulier lorsqu'il s'agit de changer la manière de travailler, de simplifier les processus ou les organisations : il faut que l'ensemble des collaborateurs acceptent la nécessité du changement et le changement lui-même. **Pour développer une démarche de sobriété numérique, il ne s'agit pas uniquement d'optimiser le SI actuel : il faut pivoter, changer d'approche.**

5. La transformation vers la sobriété numérique

Pour mettre en œuvre la transformation culturelle vers la sobriété numérique selon les axes vus précédemment, nous vous proposons une démarche inspirée de la méthode des 8 étapes de la conduite du changement de Kotter (Kotter, J.) (Kotter, J., 1996) :

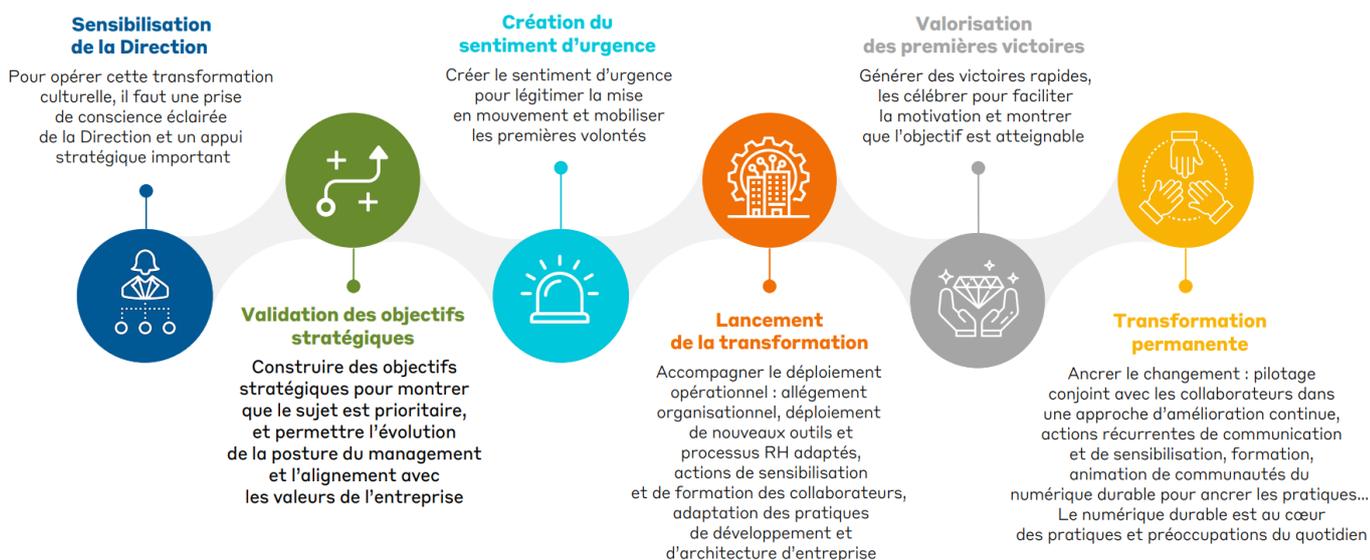


Figure 14 - Transformation vers la sobriété numérique
Source : The Shift Project, production du groupe de travail

Cette démarche doit être entreprise sachant que le niveau de conscience d'une entreprise ne peut se développer au-delà du point atteint par son dirigeant pour regarder le monde (Laloux, F., 2014).

Devant l'urgence de la situation, il s'agit d'engager ni plus ni moins qu'une transformation culturelle au sein des organisations. **Commencez par des petites victoires, mobilisez au fur et à mesure les bonnes volontés et structurez votre démarche pour ensemble aller vers plus de sobriété numérique.**

F. Mesurer l'impact environnemental du Système d'Information de bout en bout

L'établissement d'une **mesure de l'impact environnemental du SI** à la fois **exhaustive, juste dans les ordres de grandeur et calculable** est essentielle pour piloter la bonne mise en œuvre de la stratégie, et maintenir l'effort dans le temps. Les échéances et l'amplitude des efforts nécessaires pour atténuer le changement climatique laissent peu de place aux erreurs : la mesure permet de s'assurer que les **nouvelles initiatives contribuent aux objectifs de durabilité de façon quantitative**. La mesure est **un prérequis à la mise en place d'une gouvernance**.

À noter

En France, la réalisation du **bilan d'émissions de gaz à effet de serre (GES)** est obligatoire pour les personnes morales de droit privé employant plus de 500 personnes pour la France métropolitaine ou plus de 250 personnes pour les régions et départements d'outre-mer. Le **caractère obligatoire** porte sur les activités de la personne morale assujettie sur le territoire français, c'est à dire les périmètres «scope1», les émissions directes, produites par les sources, fixes et mobiles, nécessaires aux activités de la personne morale et «scope2», les émissions indirectes associées à la consommation d'électricité, de chaleur ou de vapeur nécessaires aux activités de la personne morale. La déclaration du «scope3», les autres émissions indirectement produites par les activités de la personne morale est conseillée mais non obligatoire.

<http://apc-climat.fr/bilan-ges/reglementation/>

Par rapport au bilan d'émissions de gaz à effet de serre pour la totalité des activités d'une organisation, le bilan environnemental du système d'information présente les particularités suivantes :

- Il n'est que **partiellement concerné par l'obligation réglementaire** : très peu sur le « **scope1** », les émissions directes (ex : fuites de fluides frigorigènes de la climatisation) et davantage sur le « **scope2** », c'est-à-dire les émissions indirectes liées à la consommation d'énergie électrique achetée directement par l'organisation (ex : consommation électrique des centres de données).
- Comme démontré dans notre précédent rapport « Pour une sobriété numérique » (*The Shift Project, 2018*) et détaillé dans le rapport « Quelle est l'empreinte environnementale du numérique mondial ? » publié par Green IT.fr (GreenIT.fr, 2019), **plus de la moitié de son bilan se retrouve en « scope3 »**, c'est-à-dire en lien avec les achats de biens et de services à des fournisseurs. Cette catégorie n'est pas concernée par les obligations réglementaires et plus opaque car opérée par d'autres acteurs.
- Le bilan environnemental du système d'information est constitué des gaz à effet de serre mais aussi de l'utilisation de **métaux** qui sont des ressources naturelles dont les stocks sont finis, les **volumes de terre déplacés** pour les extraire, les ressources en **eau**, les **déchets** et **pollutions** qu'il génère. Tous ses autres impacts sont proportionnellement liés aux émissions de gaz à effet de serre du « scope3 » pour la plupart des organisations.

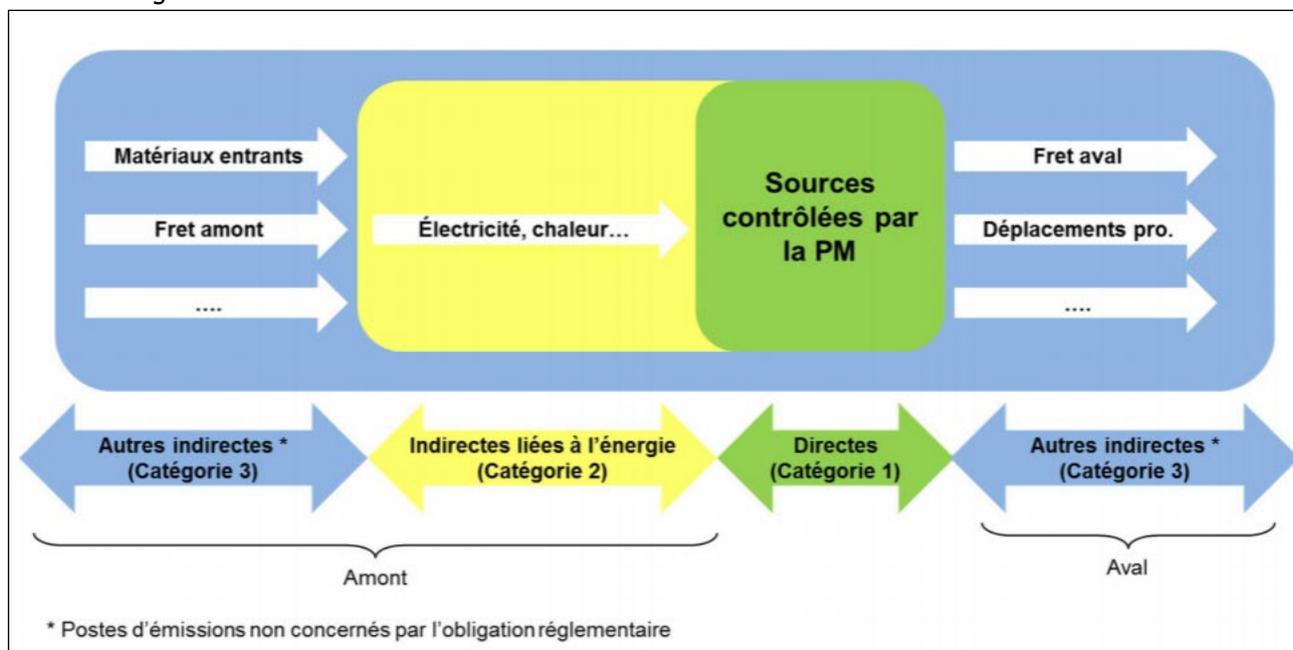


Figure 15 – Schéma des différentes sources d'émissions liées aux activités d'une organisation. (PM = « Personne Morale »)

Source : (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, 2016)

Le programme de remise en forme du système d'information devra commencer par établir un bilan environnemental annuel en tenant compte des émissions de gaz à effet de serre liées à :

- La consommation électrique des centres de données opérés par l'organisation : il faudra veiller aux émissions en kg CO₂/kWh du mix électrique du lieu de production de l'électricité,

- La fabrication des serveurs et équipements réseaux opérés par l'organisation,
- L'utilisation de services disponibles sur le cloud public : à la fois liée à la consommation d'électricité et à la fabrication des équipements,
- La sous-traitance de services numériques tels que les campagnes marketing, le conseil, les traitements de données...,
- L'utilisation du réseau public Internet,
- L'utilisation et la fabrication des terminaux (ordinateurs, téléphones, écrans...) utilisés par les salariés et prestataires au service de l'organisation.

Le pilotage de ce bilan sur 2 à 3 ans permettra de piloter la dynamique et de vérifier si l'impact environnemental du système d'information de l'organisation augmente comme observé sur le marché ou diminue.

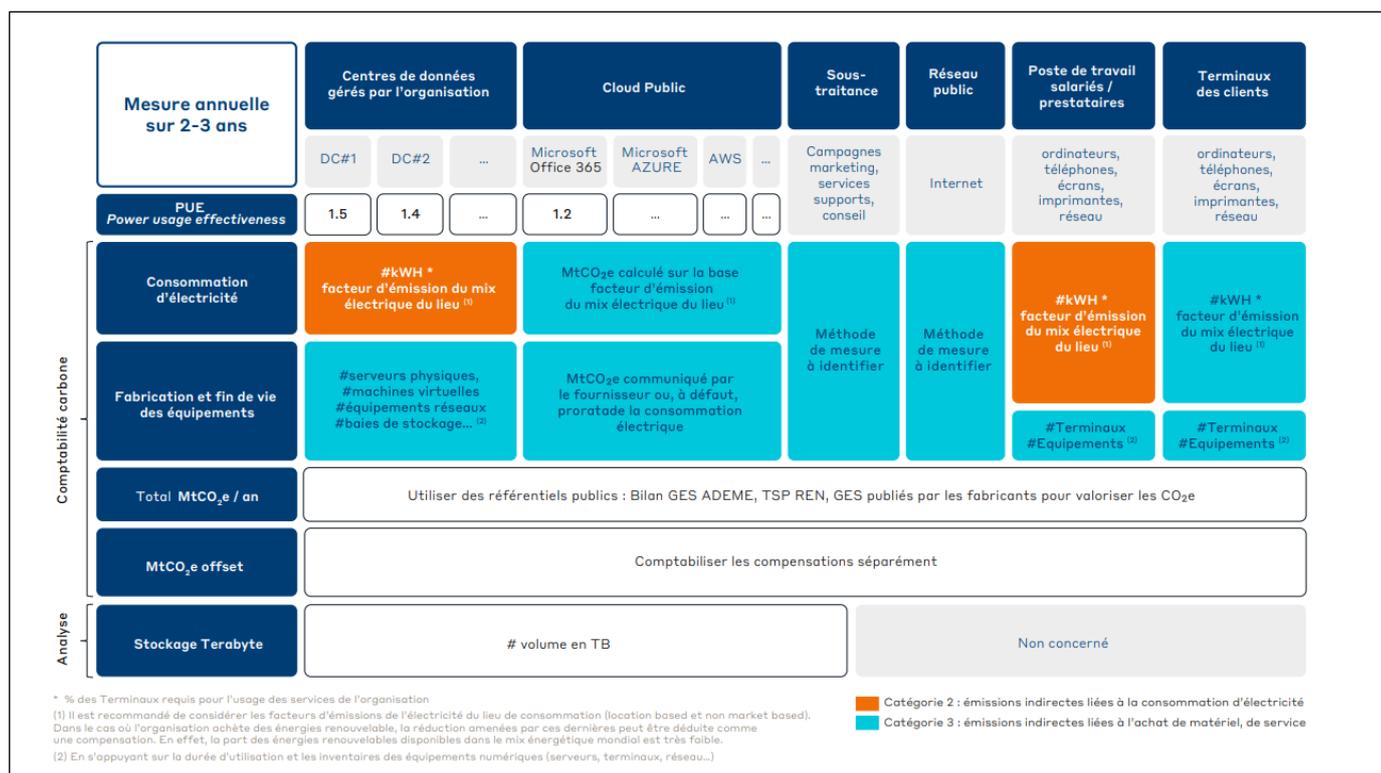


Figure 16 - Bilan environnemental annuel du système d'information – modèle inspiré des travaux menés par le groupe AXA en 2020 dans le cadre du programme «Digital Sustainability» pour mesurer et piloter l'impact de son SI
 Source : The Shift Project, production du groupe de travail

Le calcul d'un bilan de gaz à effet de serre pouvant être complexe, il est recommandé d'être pragmatique et de préférer un bilan correct dans ses tendances et ses ordres de grandeurs permettant de déclencher des actions de réductions efficaces rapidement, plutôt que de travailler à un bilan précis :

- Certaines données, en particulier sur le «scope3», sont parfois difficiles à obtenir : il faudra dans ce cas faire des calculs d'ordre de grandeur en attendant la mise à disposition des données par les fournisseurs. L'absence de données précises ne doit **en aucun cas se traduire par une évaluation nulle**.
- À ce stade de maturité des organisations, **il est préférable de se concentrer sur les émissions de CO₂ comme indicateur de pilotage**. Elles représentent un indicateur central qui, partagé, permet de se comparer aux autres et aux objectifs nationaux. Il représente un premier effort significatif pour être établi par les organisations sur un périmètre complet. Une fois l'inventaire collecté, si des données fournisseurs deviennent disponibles il sera facile d'enrichir ce premier rapport avec de nouveaux indicateurs sur l'utilisation des métaux, des ressources en eau ou les pollutions.
- Les **compensations sont pertinentes à piloter mais séparément**. Elles ne peuvent en aucun cas justifier une absence de sobriété, une augmentation des usages ou de la consommation électrique. Le fait de les dissocier de la comptabilité carbone est conforme à la méthodologie de réalisation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre, dans laquelle les compensations ne doivent pas être déduites du bilan GES (Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, 2016).

Cet exercice d'une mesure de bout en bout révélera «**la tragédie des périmètres**» qui explique en partie l'échec des organisations de mettre sous contrôle l'impact environnemental de leur système d'information malgré la publication de bilans de gaz à effets de serre. En effet, les tendances du marché opèrent des **vases communicants entre les périmètres concernés par l'obligation réglementaire et ceux qui ne le sont pas** :

- L'optimisation de la consommation d'électricité se fait souvent au prix de cycles de renouvellement du matériel très intense : le « scope2 » diminue mais le « scope3 » augmente.
- Le déplacement des services des centres de données opérés par les organisations vers le cloud public fait également diminuer le «scope2» et augmenter le «scope3».

Enfin, la **délocalisation des ressources humaines de professionnels de l'informatique** vers des pays où le coût de la main d'œuvre est moindre présente des avantages financiers dont un grand nombre d'organisations ont voulu bénéficier. Mais il s'agit souvent de pays peu engagés dans la transition énergétique et dont le mix électrique kg CO₂/KWh fait varier le bilan de plusieurs ordres de grandeur. Voir à ce sujet le chapitre *H. S'engager avec les clients, les fournisseurs, les partenaires, les institutions vers des solutions et services durables.*

Référentiels de données

Voici quelques sources de données publiques relatives à l'impact environnemental du matériel informatique et de l'électricité. Elles sont indispensables pour établir les premières mesures en les croisant avec les inventaires des organisations :

- ✓ L'**ADEME**, sur son site <https://www.bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil/> met à disposition des données en accès libre :
 - Sur l'électricité – « scope2 » : mix réseau électrique, moyen de production
 - Sur l'achat de biens – « scope3 » : émissions du «berceau à la tombe» des produits tels que les équipements électriques, électroniques, informatiques.
- ✓ **Référentiel Environnemental du Numérique (REN)** mis à disposition avec le rapport «Pour une sobriété numérique» (*The Shift Project*, 2018). Le REN met à disposition du public des données d'émissions de GES et d'utilisation de métaux pour les phases de production et d'exécution.
- ✓ **Ecoinfo** est un Groupement De Services (GDS) réunissant des ingénieurs, des chercheurs, des étudiants des secteurs de la recherche et de l'enseignement supérieur en France autour d'un objectif commun : «Agir pour réduire les impacts (négatifs) environnementaux et sociétaux des TICs (Technologies de l'Information et de la communication). Ils mettent entre autres à disposition librement le service Ecodia qui permet de faire le bilan carbone d'un SI (<https://ecodiag.osug.fr/>) et les données sur lesquelles le service s'appuie (<https://ecoinfo.cnrs.fr/wp-content/uploads/2019/12/ecodiag-v19.12.html>).
- ✓ Côté **fournisseurs**, même si les méthodes ne sont pas encore normées, auditées et auditables nous notons :
 - Les données en kg CO₂e fournies par [Apple](#) sur les terminaux qui incluent production, usage, transport et recyclage.
 - Les données en kg de CO₂e fournies par [DELL](#) sur les serveurs qui incluent également production, usage, transport et recyclage.
 - Les données en kg de CO₂ fournies par [HP](#) sur leurs équipements de type postes de travail, imprimantes, écrans, projecteurs...
 - La calculatrice de durabilité fournie par [Microsoft](#) – bien que présentée essentiellement pour mettre en valeur l'offre AZURE – donne les MtCO₂e des services AZURE distinguant la compensation et l'impact des flux réseaux Internet engendrés par les architectures cloud.
 - Dans son site dédié à la *sustainability*, [Google](#) fournit des informations sur les émissions de gaz à effet de serre, les matériaux...

Le projet [Negaocet](#), lauréat de l'APR PERFECTO de l'ADEME, a l'ambition d'élaborer et de tester un référentiel d'évaluation de la performance environnementale des solutions logicielles en vue de leur écoconception à l'horizon 2020.



Outils

• Comment effectuer le calcul ?

Pour effectuer ce calcul avec les compétences dont elle dispose en interne, l'organisation peut s'appuyer sur ses propres collaborateurs, et/ou se faire aider de sociétés de conseil professionnelles de l'informatique ou de sociétés spécialisées dans les bilans carbone.

Pour y parvenir, l'équipe chargée de ces calculs devra posséder ou acquérir une très bonne connaissance du système d'information, en plus des référentiels de données sur les GES. Devront être obtenues :

- **les données des inventaires des équipements informatiques** en utilisant par exemple, la CMDB – Configuration Management DataBase mise en place par les opérations informatiques dans le cadre des démarches ITIL⁶⁵,
- **les consommations électriques** des centres de données et les émissions des services achetés à des fournisseurs de services numériques,

⁶⁵ ITIL - Information Technology Infrastructure Library

- **l'historique des achats de matériel numérique** idéalement sur 2-3 ans pour être pouvoir faire ressortir une tendance,
- **les données et reporting des fournisseurs de cloud public.**

- **Comment responsabiliser les différents acteurs, services de l'organisation sur leur impact ?**

Une fois la mesure d'émissions de gaz à effet de serre établie sur les composants techniques, elle devra ensuite être **déclinée sur les grandes fonctions de l'organisation**, sur la chaîne de valeur de production des produits et services, sur les fonctions support finance, ressources humaines... ou les fonctions de relation clients. Le découpage vise à identifier les métiers au plus fort impact, ce qui permettra de déterminer des objectifs de réduction par fonction.

Pour ce faire, **des mesures et indicateurs intermédiaires**, plus habituels pour les professionnels de l'informatique, peuvent être mis en place. En effet, la croissance des quantités mesurées par ces indicateurs est liée à l'augmentation des émissions de GES : volumes stockés, volumes transitant sur le réseau, traitements exécutés. Dans le cas de services mis à disposition par des tiers comme le *cloud computing*, quand le détail n'est pas connu de l'entreprise utilisatrice, ces mesures intermédiaires peuvent permettre un premier pilotage en attendant que des standards et des obligations de communiquer ces données soient mis en place.

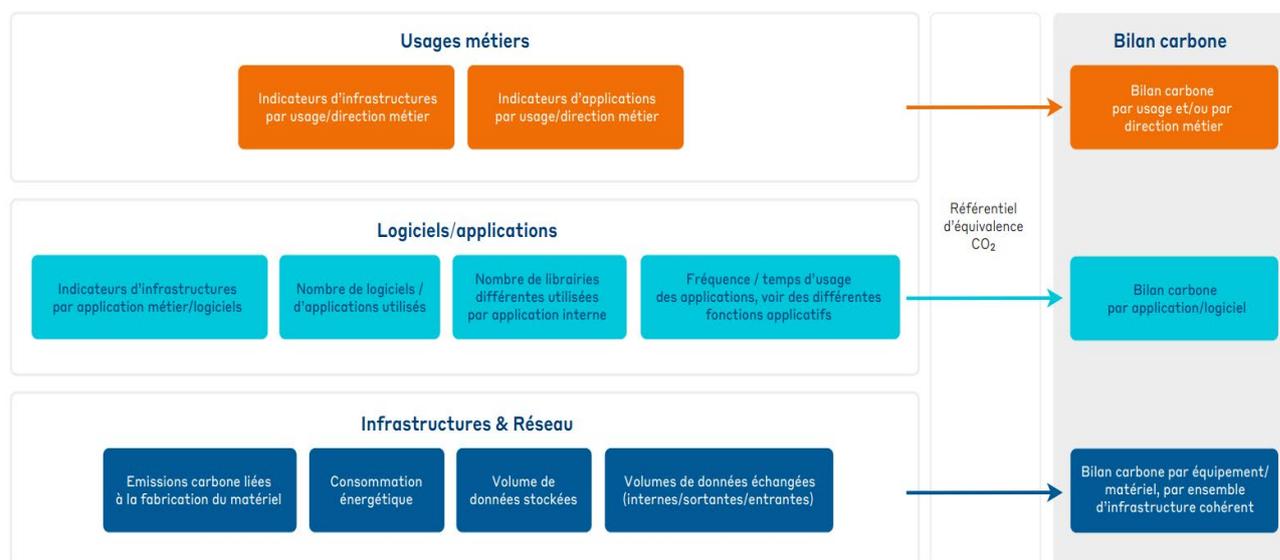


Figure 17 - Mesurer l'impact environnemental du Système d'Information à différents niveaux
 Source : The Shift Project, production du groupe de travail

G. Fabriquer un Système d'Information durable

1. Sur quoi agir pour réduire l'empreinte carbone du système d'information de l'entreprise

La conception d'un système d'information durable doit repenser en cohérence les processus métiers et usages des systèmes associés, les applications, les données, et les infrastructures techniques qui supportent l'ensemble de ces composantes.

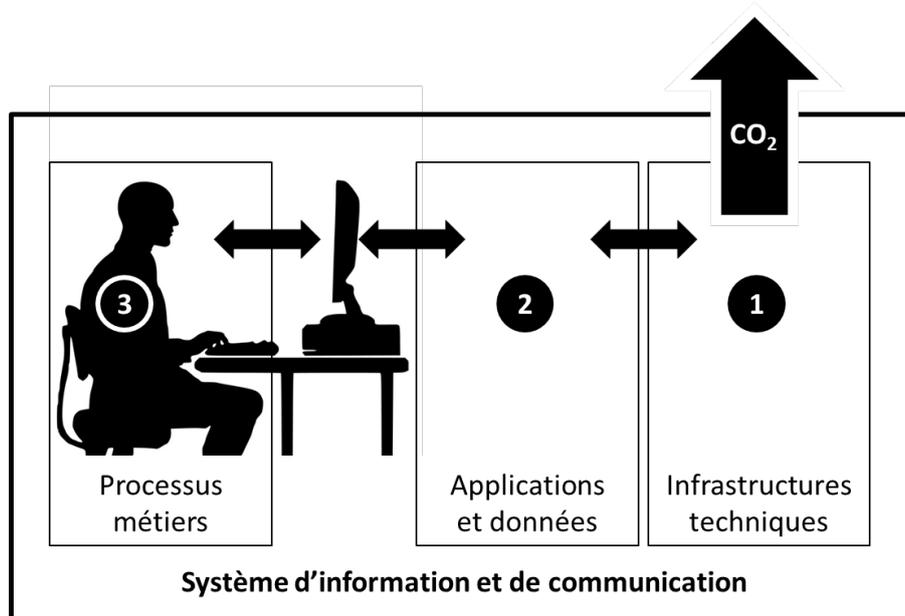


Figure 18 – Système d'information et de communication
Source : The Shift Project, production du groupe de travail

① Les émissions de gaz à effet de serre du système d'information et de communication (SI) de l'entreprise sont produites par ses infrastructures techniques : les composants matériels, serveurs, unités de stockage, contrôleurs réseaux, écrans, terminaux fixes et mobiles, et les logiciels techniques qui les animent.

- Elles ne se limitent pas à la consommation électrique d'exploitation, elles comprennent aussi la consommation énergétique permettant la fabrication et l'installation des composants, leur entretien et leur fin de vie après réforme.
- Elles ne se limitent pas aux émissions produites sur le sol national, elles comprennent aussi celles de la fabrication à l'étranger de nombreux composants et le fonctionnement à l'étranger de nombreux serveurs.
- Elles ne se limitent pas aux composants dont l'entreprise est propriétaire, elles comportent aussi celles des composants des sous-traitants informatiques (cloud par exemple) et fonctionnels (agence de pub par exemple) qui opèrent pour le compte de celle-ci.

L'expression « **empreinte carbone** » résume toutes ces dimensions dont la conception du système doit atténuer les émissions.

② Les infrastructures techniques n'existent que pour stocker, transférer et traiter des données, ou exécuter des logiciels applicatifs.

③ Le justement nommé « système » d'information et de communication se caractérise aussi par des processus métiers, qui manipulent l'information en partie sous forme orale et écrite plus ou moins structurée, et en partie sous forme numérique, elle aussi plus ou moins structurée. Les logiciels applicatifs automatisent une partie des procédures incluses dans les processus métiers.

Ainsi, la direction des systèmes d'information et de communication (DSI) de l'entreprise peut organiser la réduction de l'empreinte carbone du SI, en adaptant sa conception à plusieurs niveaux :

- Informer les métiers des empreintes environnementales des services numériques qu'ils demandent et proposer des arbitrages en faveur des services à haute valeur sociétale ;

- Optimiser les processus métiers et l'appel à des procédures automatisées par des logiciels applicatifs ;
- Optimiser le niveau applicatif et son appel au niveau technique ;
- Optimiser le niveau technique.

Nous proposons une double approche pour identifier les exigences d'atténuation à tous les niveaux.

2. Une double approche pour identifier les exigences d'atténuation, à tous les niveaux

Pour identifier ces différents leviers d'atténuation, deux approches peuvent être mises en œuvre simultanément :

- **Une approche «par les usages»** : centrée sur les usages et en proximité des acteurs métiers, avec comme l'objectif la réduction de l'empreinte d'usages identifiés (ex : «l'envoi de mail», «le partage de documents» ou l'usage réel d'une application métier dans son ensemble). Comme vu précédemment dans le chapitre concernant la mesure, des premières mesures d'empreinte agrégées au niveau des fonctions métiers / d'applications métiers peuvent désigner des priorités au travail sur les usages.
- **Une approche «par l'infrastructure»** dont l'objectif est de réduire l'empreinte de systèmes informatiques identifiés comme gourmands en ressources et en données (et portant potentiellement plusieurs usages). Pareillement, des premières mesures d'empreinte des infrastructures existantes doivent permettre d'orienter l'identification de systèmes particulièrement émetteurs.

Ces deux approches se rejoignent et permettent d'aboutir à l'identification d'un ensemble complet d'actions d'atténuation.

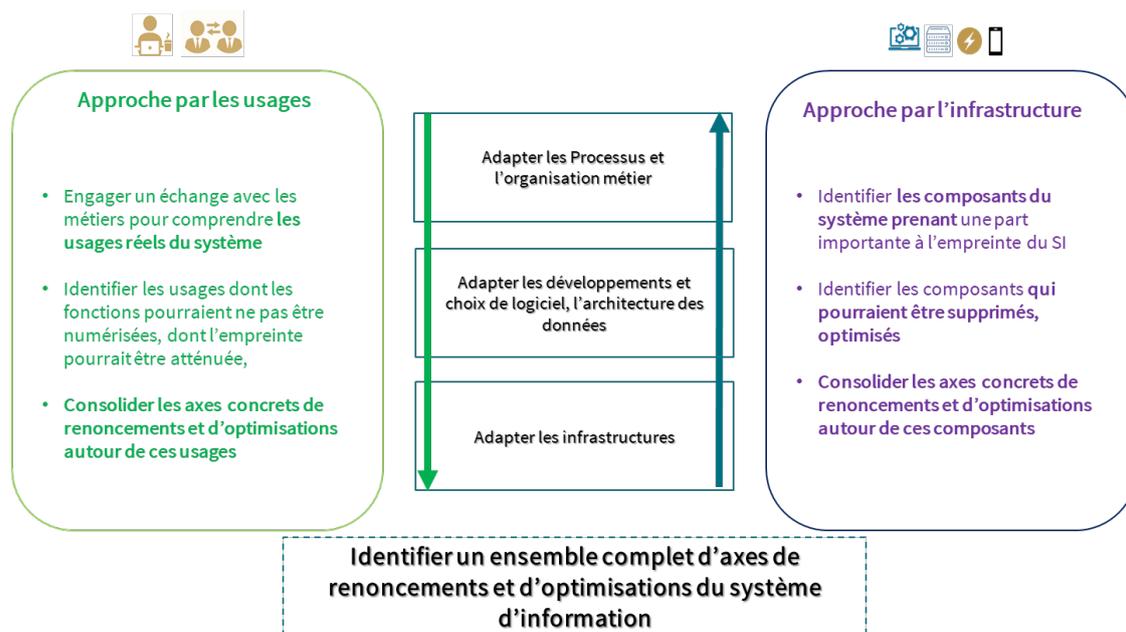


Figure 19 – Une double approche pour identifier les exigences d'atténuation : par les usages et par l'infrastructure

Source : The Shift Project, production du groupe de travail

- L'approche par les usages doit aboutir à **une liste d'usages métiers qui devraient faire l'objet de renoncements ou d'optimisations** clairement identifiés et priorisés. Elle nécessite :
 - Un échange avec les métiers, notamment les utilisateurs finaux des systèmes,
 - Donc un mandat clair et validé pour travailler ces sujets avec les acteurs métiers,
 - Des premières métriques, par exemple par métier ou application métier, qui permettent de cibler des systèmes dont il faut creuser en priorité les usages métiers.
- L'approche par l'infrastructure doit aboutir à **une liste de systèmes informatiques qui devraient faire l'objet de renoncements ou d'optimisations** clairement identifiés et priorisés. Elle nécessite :
 - Un inventaire de l'architecture existante du système d'information,

- Une mise en place de premières mesures qui identifient les systèmes pertinents (par exemple ceux qui ont la plus forte empreinte, ou la plus forte empreinte par utilisateur).

Dans les deux cas, les renoncements et optimisations peuvent porter sur les infrastructures, sur les développements et l'architecture logicielle en place, sur les données, sur la définition même des usages du système. **Il ne s'agit en aucun cas de décorrélérer les usages des infrastructures, ce qui n'aurait pas de sens.** Seul le point d'entrée change dans ces deux approches, l'optimisation d'un usage obligeant à «descendre» jusqu'au système technique, et l'optimisation d'un système technique obligeant à «remonter» jusqu'à ses usages (par exemple pour s'assurer de l'acceptabilité de l'impact potentiel d'une réduction ou d'une optimisation du système par le métier).

L'ensemble de ces renoncements et pistes d'optimisations identifiés par les usages ou par les infrastructures sont la matière première pour concevoir un système d'information à moindres émissions.

Au global, la mise en œuvre de ces pistes d'atténuation et de réduction doit se traduire par une révision des exigences non fonctionnelles sur les systèmes et dans les nouveaux projets informatiques, globalement avec les tendances suivantes :

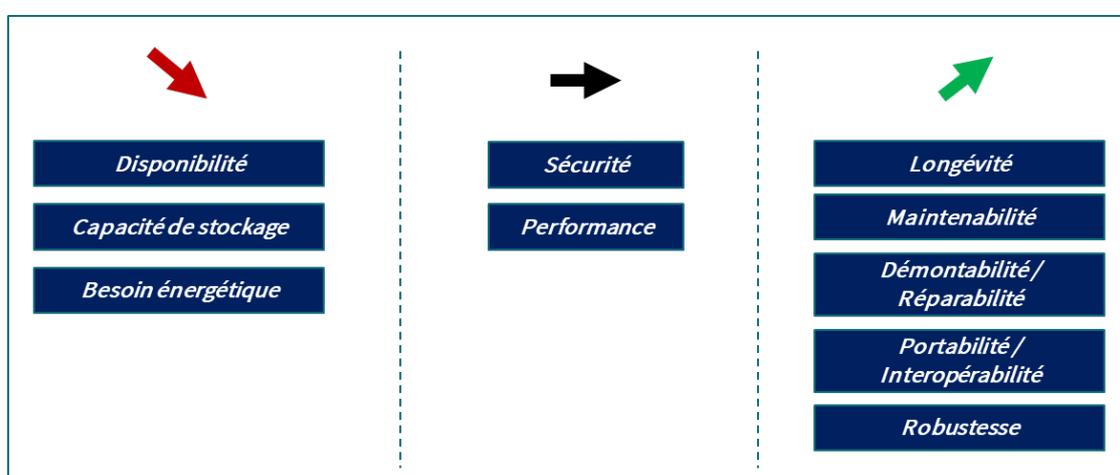


Figure 20 - Influence sur la réalisation des exigences de la réduction de l'impact environnemental du SI
Source : The Shift Project, production du groupe de travail

Les exigences de disponibilité, de capacité de stockage et les besoins énergétiques seront globalement revus à la baisse. Les exigences de longévité, de maintenabilité, de démontage-réparabilité, de portabilité et d'interopérabilité, et de robustesse des systèmes seront globalement revues à la hausse.

3. Oser contraindre le système d'information et ses usages

Au-delà des pistes d'atténuation usage par usage et système par système, il est important d'oser contraindre le système pour favoriser sa trajectoire bas carbone dans le temps.

Poser des contraintes peut sembler être un exercice peu agréable, mais c'est un levier puissant et indispensable pour l'architecte :

- Nous tendons vers un écosystème de plus en plus contraint (ressources, réglementations,...). Pour éviter que les contraintes s'imposent à l'organisation au mauvais moment sans y être préparé, il vaut mieux à l'avance **penser un système sous contraintes choisies** et adapter l'organisation, les processus, les usages et les systèmes en conséquence.
- Mettre en place un système de contraintes permet également d'endiguer l'effet rebond Système/Usages, en limitant explicitement les usages, les infrastructures et les données (volumes, localisation).

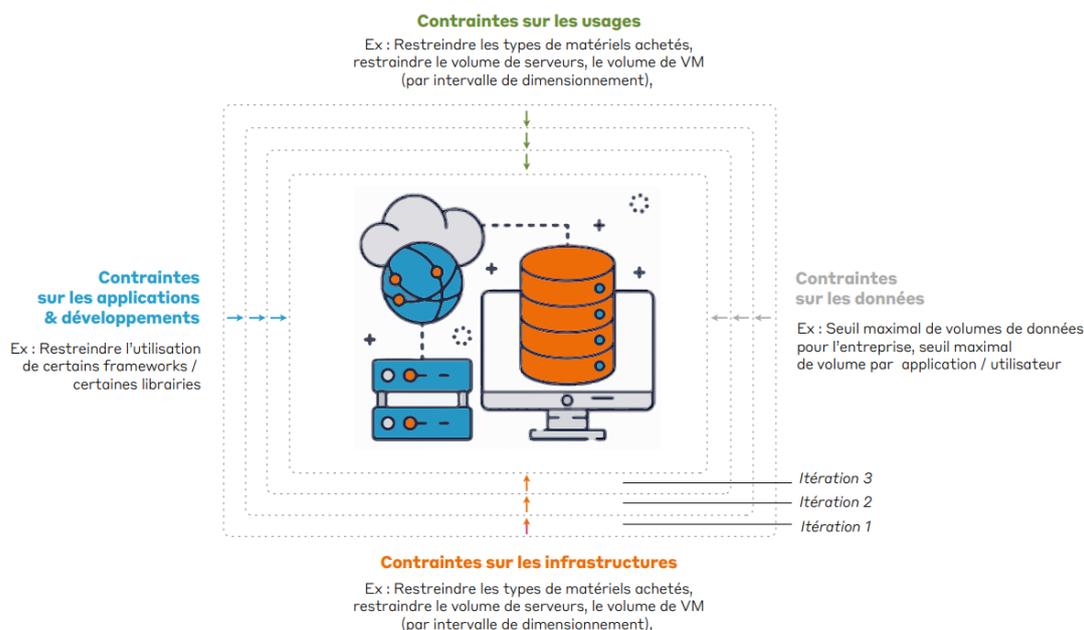


Figure 21 – Construire un système d'information sous contrainte
Source : The Shift Project, production du groupe de travail

Comment s'y prendre ? Le système doit être contraint progressivement. Les contraintes que l'architecture doit poser sont de plusieurs types :

- **Les contraintes sur les données :** par exemple fixer un seuil maximal de volumes de données de l'entreprise, un seuil de volume par utilisateur/par application, restreindre le périmètre géographique de localisation physique de la donnée (favorisant une donnée stockée au plus proche de son utilisateur final).
- **Les contraintes sur les applications et les développements :** par exemple contraindre / restreindre l'utilisation de certains frameworks, de certaines librairies.
- **Les contraintes sur les infrastructures / devices :** par exemple restreindre les types de matériels achetés, le volume de serveurs, le volume de VMs / containers, les nombres d'objets techniques maximum utilisés (par intervalles de dimensionnements), et aussi contraindre les consommations d'énergie de certaines infrastructures.
- **Les contraintes sur les usages :** par exemple contraindre les volumes associés à certains usages précis (volumes de pièces jointes transmises par jour et par personne dans un email, volumes vidéos consommées par jour...), contraindre les fréquences de certains usages (nombre de pages web ouvertes par jour et par personne), contraindre certains usages (restreindre l'accès aux réseaux sociaux, aux sites de streaming...)

L'architecte du SI doit formaliser et faire valider une trajectoire vers un système sous contraintes choisies en impliquant toutes les parties prenantes. L'exercice est bien entendu plus compliqué qu'il n'y paraît. Il ne s'agit pas de poser des contraintes «à l'aveugle». Être capable de concevoir un système de contraintes pertinent nécessite d'avoir des métriques en place. Il s'agit de combiner des contraintes à différents niveaux en s'assurant, notamment par la culture et la sensibilisation, qu'elles soient aussi acceptables et supportables pour les processus métiers de l'organisation.

Les contraintes doivent être explicitement exprimées, justifiées et revues périodiquement, notamment dans le cadre de l'activité de gouvernance, au même titre que les principes d'architecture.

	Justification	Complexité pour rendre ou maintenir le système conforme	Valeur à se conformer à la contrainte	La contrainte est-elle automatisable ? (Blocages automatiques / messages d'alertes, ...)	Modalité de contrôle de la conformité (comment vérifie-t-on que la contrainte est respectée)
Le volume de données stockées dans le Cloud ne doit pas dépasser xTO		
Les données doivent être physiquement localisées en France					

4. Repenser la pratique d'architecture pour répondre à ces exigences d'atténuation et d'optimisation

Au global, pour répondre à ces nouvelles exigences d'atténuation, l'évolution de la pratique d'architecture des systèmes d'information de l'entreprise devra se focaliser et gagner en maturité sur les différents axes d'optimisation qui sortiront de l'approche par les usages ou par l'infrastructure.

- **Optimiser le niveau technique**

Le niveau technique du SI est constitué de sous-ensembles de composants matériels et logiciels techniques qui rendent un service technique cohérent plus ou moins élémentaire : base de données, sauvegarde, exécution de logiciels applicatifs, affichage, transfert de données, etc. Le sous-ensemble qui rend un service technique donné assemble ses composants selon une architecture type.

Quelques exemples d'actions-clés d'optimisation :

- Pour chaque service technique (stockage, hébergement site web, ...), identifier dans l'existant des architectures techniques types à moindre empreinte carbone, et généraliser ces implémentations.
- Choisir des fournisseurs à bon escient (voir le chapitre *AH. S'engager avec les clients, les fournisseurs, les partenaires, les institutions vers des solutions et services durables*) : taux de renouvellement des serveurs (cas : *On Premise*), choix de fournisseurs cloud «Green» et capables de transmettre des mesures d'empreintes en transparence.
- Renforcer le travail avec les métiers sur les exigences non fonctionnelles qui impactent directement l'architecture technique, pour davantage challenger le besoin : « avez-vous vraiment besoin d'une disponibilité 99,99 ? Avez-vous vraiment besoin de garder un historique sur 2 ans, pour quelle valeur *in fine* ? »
- Si l'organisation fabrique ou maintient du matériel numérique, tendre vers une « pérennité programmée » (en opposition à l'obsolescence rapide). Opter pour une gestion du cycle de vie à un niveau plus granulaire (au niveau des composants d'une machine), en augmentant les exigences notamment d'interopérabilité et durabilité (ex : MTBF - Mean Time Between Failure).

L'allègement et l'optimisation du niveau applicatif entraînera une diminution des exigences de dimensionnement du niveau technique.

- **Optimiser le niveau applicatif et son appel au niveau technique**

Le niveau applicatif implémente la plupart des exigences fonctionnelles des utilisateurs. Les architectures logicielles sont issues :

- soit d'éditeurs de logiciels/progiciels : dans ce cas, une fois encore il faut exiger du fournisseur la transparence et les outils pour avoir une vision claire de l'empreinte carbone du logiciel et de ses processus de développement (précautions concrètes prises par l'éditeur en matière d'optimisation du code, rapport de performance/empreintes pour différentes configurations),
- soit d'un processus de développement interne à l'organisation : dans ce cas il est décisif d'engager une démarche frugale autour des produits numériques de l'organisation ; ceci implique d'adopter des cycles itératifs, de challenger les fonctionnalités existantes ou les nouveaux besoins (valeurs vs. empreinte) – sur ce sujet, voir notre focus « agilité et DevOps » au chapitre *Adapter les méthodologies projets*

Il s'agit à ce niveau d'assurer un allègement fonctionnel mais également une révision des exigences non fonctionnelles, notamment sur les interfaces utilisateurs (ex : éviter les lancements automatiques de vidéos sur une nouvelle page, limiter les animations...).

- **Réduire les volumes de données**

L'architecture des données offre un levier important. Les acteurs chargés des données (le *Chief Data Officer* si la fonction existe) devraient intégrer la maîtrise des volumes des données et la réduction de l'empreinte associée dans sa «*Data Strategy*», et initier des processus de gouvernance des données de l'organisation :

- **Généraliser la «*Data Minimization*»** : le principe se retrouve notamment dans la RGPD concernant les données personnelles : «*les données à caractère personnel doivent être adéquates, pertinentes et limitées à ce qui est nécessaire au regard des finalités pour lesquelles elles sont traitées*». Tout est dit. Ce principe doit être généralisé à l'ensemble des données de l'organisation. La «*qualité*» des données doit primer sur la «*quantité*».
- **Adapter le «*Data Management*»** : les responsables de données doivent intégrer la durabilité dans leur pratique. La maîtrise des volumes de données est typiquement un axe à intégrer de manière systématique, au même titre que la maîtrise de la qualité et de la sécurité des données.

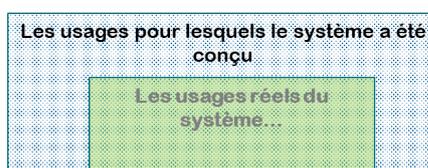
Enfin, la volonté du métier de se concentrer sur les usages essentiels, d'éliminer les usages superflus du système et d'adapter ses processus pour atténuer l'empreinte des systèmes, entraînera une diminution de la boulimie fonctionnelle des applications, donc celle de l'empreinte des systèmes techniques sous-jacents.

- **Optimiser les processus métiers et leur appel à des logiciels applicatifs**

Dans une démarche que les DSI connaissent bien, les capacités applicatives – données et traitements - sont déterminées en négociation avec les directions métiers. Dans l'hypothèse où la réduction de l'empreinte carbone de l'entreprise est une stratégie majeure de la direction générale, l'arbitrage avec les directions métiers sur la numérisation ou pas des informations et des procédures est un levier de la réduction de l'empreinte carbone du SI.

Le niveau des informations métiers comprend des processus propres à chaque métier de l'entreprise, et des processus transverses : partage de données de lignes de produits, de données de fonctionnement interne (messagerie, reporting), etc.

- **L'enjeu est ici de décider quelles informations doivent être numérisées ou pas, quels processus doivent être automatisés ou pas**, avec quel périmètre et quelle durée de vie et de conservation en fonction de l'empreinte carbone des infrastructures qu'elles nécessitent.
- **L'enjeu est également d'identifier les objets numériques, les fonctionnalités, qui en réalité ne servent pas/plus aucun usage** (obsolescence, décalage entre l'usage qui était pensé à la conception et l'usage réel du système).



- Il s'agit également de mesurer le gain réel de la numérisation par rapport à un mode non numérisé (souplesse, implication des personnels, gain opérationnel, réduction de l'empreinte du processus dans son état non numérisé, gain financier, réduction de coûts...).

5. L'allègement de la gestion du SI

Parallèlement à l'objectif principal de réduire l'empreinte carbone du SI, optimiser tous les niveaux du SI dans une démarche d'architecture procure un gain secondaire : **alléger l'installation, la maintenabilité, la gestion de fin de vie et, au quotidien, la gestion du parc applicatif et technique.**

En effet aujourd'hui, une partie des efforts des DSI est consacrée à mettre en place et surtout à tenir à jour des interfaces entre des «*silos*» d'informations, d'applications et de composants techniques, dont les incompatibilités

fonctionnelles et techniques ont pour origine l'absence – voire le refus – de coordination entre services métiers. Or l'achat par un service métier, sur son budget propre, d'un progiciel pour numériser un de ses processus induit des flux de données avec le reste du SI, et des capacités de l'infrastructure technique commune, voire l'acquisition de nouvelles capacités techniques plus ou moins interopérables avec l'existant.

À l'échelle de l'entreprise, ces pratiques multiplient les volumes de données, les traitements et les composants techniques qui pourraient être mutualisés si l'interopérabilité fonctionnelle et technique était assurée. Elles complexifient le SI d'interfaces de tous types. Elles contribuent à augmenter l'empreinte carbone du SI, ce qui légitime de les réduire.

Cet allègement passe aussi, nous l'avons évoqué, par un «challenge» systématique des nouveaux besoins pour ne développer et déployer que ce qui apporte de la valeur : c'est l'objet de la prochaine partie consacrée à l'**agilité**.

6. Adapter les méthodologies projets : l'agilité au service des exigences de sobriété

Comme dans une cure de remise en forme, on ne peut pas tout planifier à l'avance, et il faut réagir aux aléas et à la réalité changeante. La **méthode Agile**, avec une approche empirique et fondée sur l'amélioration continue, a été développée précisément pour répondre à cet enjeu. L'agilité permet *in fine* d'assurer que le produit numérique est réalisé au plus proche de son usage réel, notamment via l'intégration forte du métier dans les cycles courts de développements. Elle évite la mise en production d'applications, dont une partie importante des fonctions initialement souhaitées ne sont jamais utilisées. Cette approche a été formalisée sous 4 valeurs et 12 principes. 6 de ces principes nous semblent particulièrement pertinents dans le cadre de la sobriété :

- ✓ **La valeur d'usage** : elle est au centre de l'approche. Le rôle du donneur d'ordre Métier en est changé : il n'est plus simple demandeur externe au processus de développement, il devient co-responsable des livrables ; entre autres en explicitant le pourquoi de ses besoins, quantifiant leur valeur, priorisant les fonctionnalités et en mesurant l'impact métier.
- ✓ **L'aspect itératif** : des cycles courts avec des mises en production fréquentes. La livraison et la démonstration des fonctions développées sont l'instrument de mesure primordiale : spécifications, documentation, indicateurs théoriques n'ont aucune valeur tant qu'une preuve tangible du fonctionnement n'est pas démontrée. En cas d'erreur on pivote plus vite.
- ✓ **La simplicité** : le système se doit de répondre aux besoins de la manière la plus simple – ce système étant d'ailleurs appelé à être «refactoré» aux itérations futures. Cette simplicité est souvent associée au principe d'anti-gaspillage, principe au cœur des pratiques «Lean» aussi déployées au sein des DSI ces dernières années.
- ✓ **L'équipe autonome et responsable** : elle a une liberté de choix de solutions et d'implémentations dont elle a l'entière responsabilité collective, une liberté exercée au sein d'un cadre défini par les standards et exigences de l'Architecture d'Entreprise.
- ✓ **L'amélioration continue** : complémentaire au concept d'itération, non seulement le produit est amené à s'améliorer au fur et à mesure des incréments et retours utilisateurs, mais les pratiques mises en œuvre pour le réaliser aussi.
- ✓ **La mesure** : mesurer les «points» de valeur, la complexité, la vélocité, la qualité... Pour piloter le développement du produit, nombre d'indicateurs utilisés se veulent factuels et publics.

Dans le cadre des exigences de sobriété numérique, l'expression de la **limitation de l'impact environnemental** doit être portée par le Métier au même titre que la **valeur d'usage**, et s'inviter – comme l'évaluation de la complexité – au sein des processus de décision (acceptation, priorisation...). Les **livraisons itératives** permettent de **mesurer** rapidement ces impacts, en automatisant cette mesure en phase de tests, et de les prendre en compte dans le processus **d'amélioration continue** pour réduire l'empreinte aux itérations ultérieures. Rendre ces indicateurs publics et les intégrer dans le pilotage du produit renforce la **responsabilité** de l'équipe et son **autonomie** dans la conduite d'élaboration de produit à impact environnemental contrôlé.

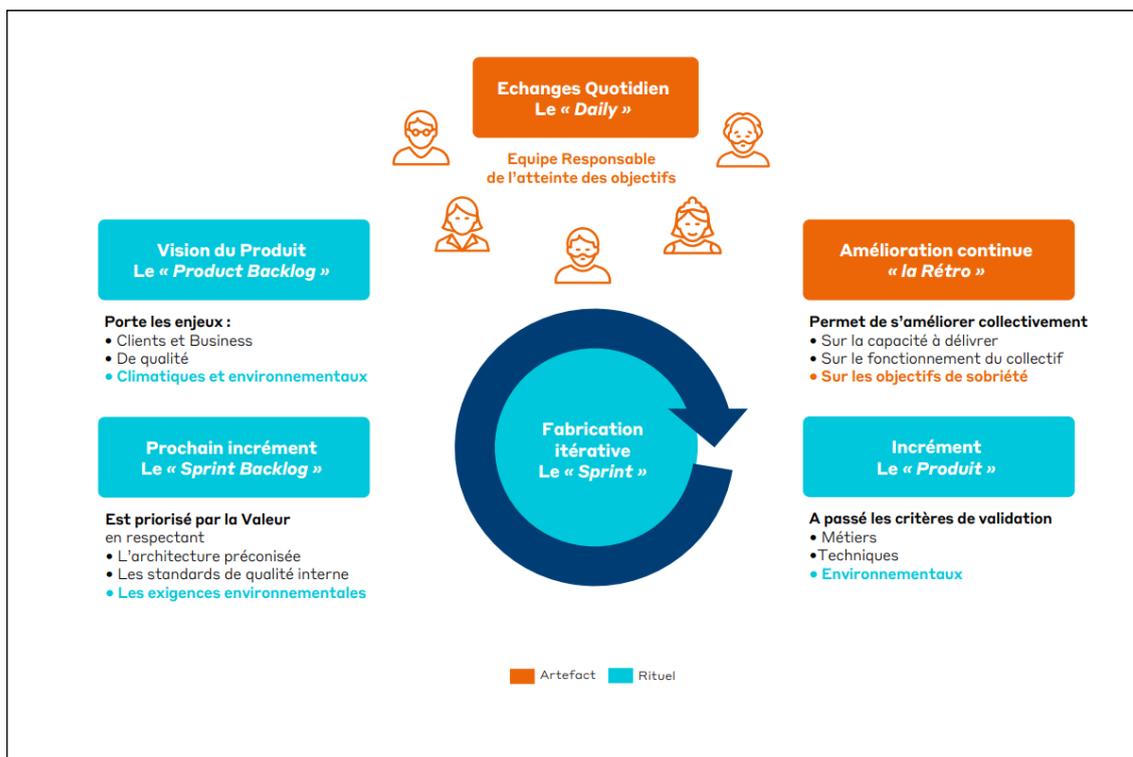


Figure 22 - Intégration des exigences environnementales dans la démarche agile
Source : The Shift Project, production du groupe de travail

• Quelles conditions à la mise en place d'une approche Agile « sobre » ?

Pour une mise en œuvre de cette nouvelle approche, plusieurs outils et catalyseurs sont nécessaires, issus de la volonté stratégique de l'entreprise de mettre en œuvre la sobriété. Citons par exemple :

- Des moyens de mesurer,
- Des repères comparatifs,
- Des exigences et orientations émises par l'Architecture,
- Mais aussi et surtout une sensibilisation des équipes sur le sujet, voire un mandat de la DSI pour les mettre en responsabilité.

Mais la clé du succès reste **l'alignement avec un Métier moteur quant à cette nouvelle exigence environnementale**, condition nécessaire et suffisante pour initier tout de suite des démarches d'écoconception dont les retours d'expérience aideront à déployer et ajuster le déploiement à plus grande échelle. Ces éléments constituent l'architecture de référence proposée plus haut.

Sur la nécessité de la mesure en continu, rappelons simplement que, d'après des mesures précises et reproductibles, que pour la même navigation sur internet, c'est-à-dire le même service fonctionnel rendu, certains navigateurs internet consomment presque deux fois plus d'énergie (coté utilisateurs) que d'autres (Greenspector, 2019).

• Le DevOps à la croisée des chemins de la réalisation et de l'exploitation du SI

Enfin sur le **DevOps**, il s'agit d'ébaucher une problématique. Rappelons que le DevOps consiste à intégrer les contraintes et besoins non fonctionnels issus des *Operations* (production et support) dans le processus de choix, de priorisation, de développement du SI et de s'assurer de l'opérabilité du système avant le déploiement.

L'intégration et le développement continu, composantes d'une stratégie DevOps, posent une véritable question de fond : ils impliquent une intégration du code source dans le SI au fil de l'eau, des environnements bout en bout persistants ou créés à la volée, et des chaînes de traitements multiples et opérationnelles 24h/24h. Et donc une consommation d'énergie accrue pour un «*delivery*» plus fréquent et plus qualitatif. Nous nous bornons ici à poser des questions pour positionner la problématique : comment mettre sous contrôle cet effet rebond dû à la

disponibilité à coût faible de baies informatiques et de logiciel d'automatisation des déploiements toujours plus puissants ? Comment variabiliser le niveau de service en fonction de la criticité ? Comment automatiser la vérification automatique à faible empreinte ? Comment faire du devOps un asset clé pour la durabilité du SI en construction ou rénovation ?

L'exemple qui suit montre à tout le moins qu'il ne faut pas jeter le bébé avec l'eau du bain : de nouveaux outils existent pour équilibrer la reproductibilité du SI d'une part, et sa résilience carbone d'autre part.

 <p>Exemple Source Greenspector</p>	<p>Site d'une grande institution bancaire. A l'occasion d'une version majeure du site Web (14 millions de connexions mensuelles), campagne de mesure de l'impact environnemental et injection dans le backlog d'optimisations pour les résultats suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • -22 % sur l'énergie consommée côté utilisateurs, • -68 % sur le temps d'affichage en connexion 2G (de 46 s à 15 s), • -74 % de requêtes vers les serveurs et donc une possibilité de réduire fortement l'infrastructure serveur pour le même niveau de service.
--	---

7. Développer durable

Au cœur du système d'information, on trouve les équipements numériques pour la partie matérielle et le code qui permet d'interfacer, d'agencer ces équipements avec les processus humains.

L'accélération de la transformation numérique est venue avec des exigences d'accélérer la production du code, de simplifier le développement pour le rendre accessible à plus d'acteurs et trouver des alternatives à la pénurie de profils compétents. Force est de constater que cette accélération s'est souvent faite au détriment de la qualité et que les langages sont devenus plus accessibles mais aussi plus gourmands en ressources. **Or, c'est dans le code que l'optimisation de l'utilisation des équipements est réalisée, que ce soit pour le stockage de données, les traitements ou les flux réseaux.**

Quelques bonnes pratiques de développement durable sont disponibles sur le marché mais elles sont loin d'être complètes et utilisées de façon systématique. L'ouvrage de Tim Frick « *Designing for Sustainability* » (Frick, T., 2016) ou l'ouvrage de Frédéric Bordage « *Ecoconception web : les 115 bonnes pratiques* » (Bordage, F., 2019) proposent par exemple des bonnes pratiques pour le développement de sites Web. Le chapitre E. Développer une culture numérique durable propose une approche pour adresser les populations de développeurs.

L'atteinte de l'objectif de système d'information durable nécessitera la généralisation des pratiques de développement durable à la fois chez les éditeurs de logiciels, les fournisseurs de services numériques, les organisations utilisatrices du numérique avec des équipes de développeurs ou les formations au développement dans l'enseignement supérieur et en formation continue.

Les pratiques de développements durables passeront par :

- La mise en place d'une **mesure de l'impact environnemental de la fabrication du code et de son utilisation**. Elle devra être accessible aux développeurs et aux équipes projet pour un pilotage et une optimisation en continu ;
- Un questionnement systématique de sobriété avant de se lancer dans un développement : s'assurer que la fonctionnalité n'est pas déjà codée, qu'elle va servir ;
- La **mise en place et l'automatisation des tests de l'impact environnemental du code** lors de son utilisation : à ce titre, Greenspector propose des solutions pour les applications mobiles (Greenspector, 2019) ;
- Un **recours et une contribution aux projets Open source** pour éviter de multiplier inutilement les coûts environnementaux de la fabrication des logiciels ;
- La capitalisation et le partage des **bonnes pratiques** non seulement pour le développement des **applications mobiles**, des **frontaux web** mais aussi pour les **traitements des données** et d'**intelligence artificielle**.

Un consensus émerge sur le fait qu'un code de qualité est généralement un code « durable », plus léger à opérer tant en coût qu'en supervision. Il offre une meilleure qualité de service aux utilisateurs. C'est aussi un code plus facile à maintenir.

Pour faire évoluer les arbitrages en faveur d'un code de qualité et durable, et donc des délais plus importants au moment du projet, il faut s'attacher à démontrer les gains en énergie, qualité de service et en maintenance pendant les opérations (c'est-à-dire au-delà du coût du projet, souvent sur plusieurs années). Enfin, l'arbitrage décrit au chapitre 6-*Adapter les méthodologies projets : l'agilité au service des exigences de sobriété* devrait réduire le nombre de fonctions à développer et dégager des moyens pour les autres. Pour résumer, il faudra **développer moins, mais mieux**.

H. S'engager avec les clients, les fournisseurs, les partenaires, les institutions vers des solutions et services durables

De nombreux acteurs sont impliqués dans la réalisation d'une capacité numérique. Pour réussir le déploiement de sa politique, l'organisation devra travailler en **partenariat avec les différents acteurs de l'écosystème concernés par l'informatique durable**. Ces acteurs pourront être les clients, des sociétés fournisseurs de services ou de matériels, des institutions à vocation régulatrice et d'information telles que l'ADEME en France, les établissements d'enseignement supérieur ou des organisations à but non lucratif jouant un rôle de précurseurs et permettant la mobilisation citoyenne quand les financements des entreprises font défaut.

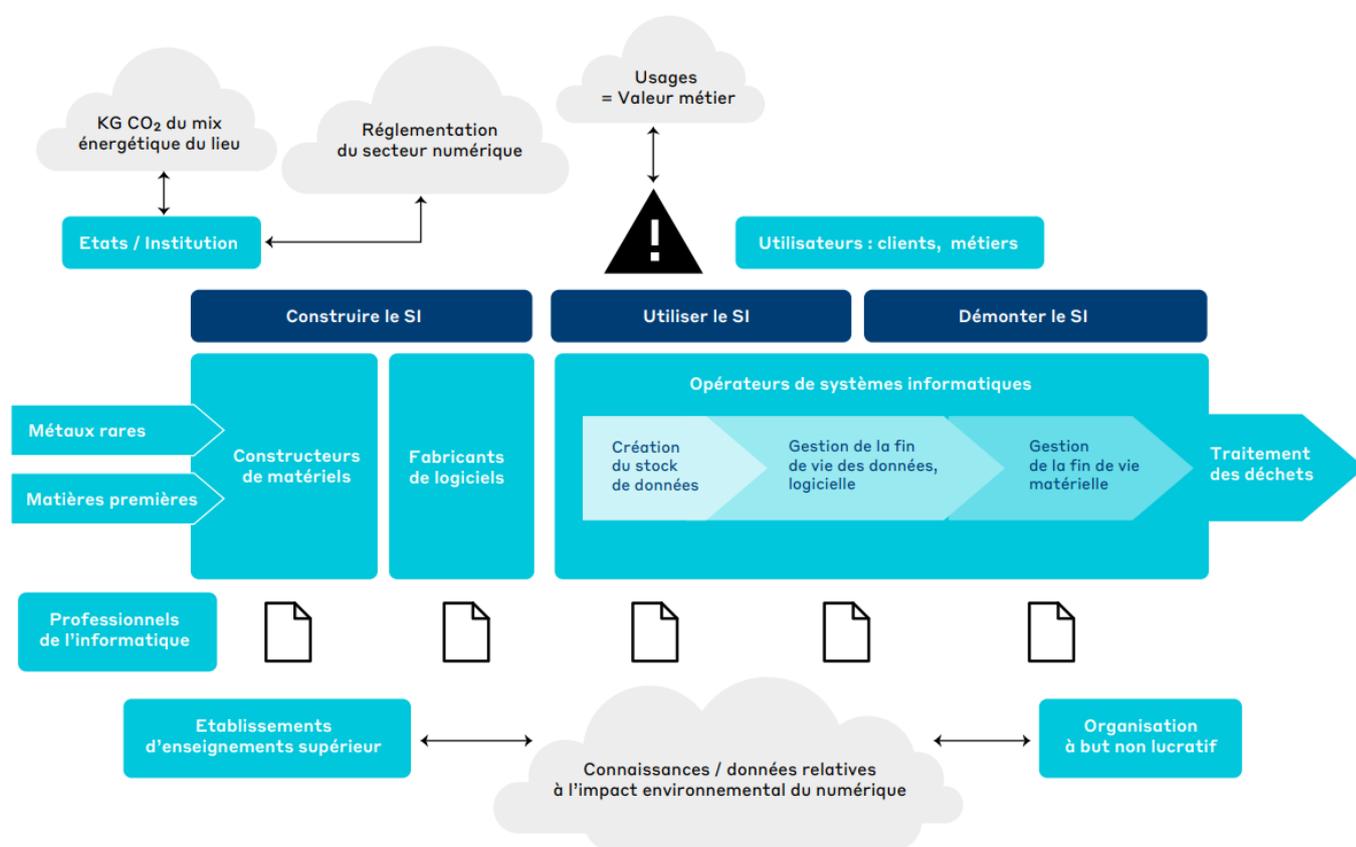


Figure 23 - Acteurs impliqués dans la chaîne de production d'une capacité numérique
Source : The Shift Project, production du groupe de travail

Différentes activités sont abordées dans ce chapitre pour interagir avec cet écosystème.

1. Demander aux fournisseurs de service la transparence concernant l'empreinte environnementale de bout en bout

Pour être en mesure de disposer de critères de sélection, il faut disposer de la part du fournisseur de **mesures complètes et transparentes sur l'empreinte environnementale du matériel et des services fournis**.

Dans la rubrique « résultats non financiers » de leur rapport annuel, la plupart des grandes entreprises partagent publiquement les bilans carbone de leurs opérations, à minima sur le scope 1 et 2 mais aussi de plus en plus sur le scope 3.

Le « *Carbone Disclosure Project* », ONG internationale, collecte et partage publiquement sous forme standardisée lesdits bilans carbone. L'organisation peut ainsi prendre connaissance de ces rapports facilement, ce qui constitue une première étape dans ses interactions avec les fournisseurs.

L'organisation aura également besoin de connaître l'impact de sa propre consommation d'équipements ou de services. Une partie des fabricants de matériel informatique fournissent des mesures sur la totalité du cycle de vie, du «berceau à la tombe». En revanche, les fournisseurs de services communiquent sur l'optimisation de la consommation électrique, mais rares sont ceux qui présentent une approche sur la totalité du cycle de vie et qui publient les compensations, les achats d'énergie renouvelable séparément.

Il faut évoluer vers une transparence sur tous ces indicateurs rapidement, et pour ce faire indiquer que **la question de l'impact environnemental est un avantage concurrentiel significatif**. En effet, si l'optimisation est dans les mains des fournisseurs, l'arbitrage sur les usages se fait au sein de chaque organisation et requiert certaines données précises. Les actions suivantes peuvent être envisagées :

- Annoncer publiquement via le sponsor que la transparence et un plan de réduction de l'impact environnemental constituent des avantages concurrentiels ;
- Identifier les principaux fournisseurs de services et matériel informatique, mettre en place un dialogue sur la question de l'informatique durable, travailler en partenariat sur des solutions informatiques à haute valeur ajoutée et faible besoin de ressources ;
- Rédiger et communiquer au fournisseur le reporting attendu : consommation électrique, émissions de GES, consommation de métaux rares, terre déplacée etc. Et dans le cas de services : volumes de données, traitements, trafic réseau ;
- Mobiliser tous les acteurs en contact avec les fournisseurs pour demander cette transparence lors de leurs échanges : direction, techniciens, métiers ;
- Arbitrer une décision d'achat en faveur de l'environnement, y compris pour des coûts moins avantageux, ce qui donnera un signal fort qui ancrera les intentions dans la réalité pour les fournisseurs.

2. Adapter les critères de sélection des appels d'offre puis les contrats avec les fournisseurs et partenaires

Dans les appels d'offres, les **critères de sélection relatifs à l'impact environnemental** devront être explicités. Pour le permettre, il faudra former les populations d'acheteurs aux critères de sélection informatique durable : contrats de maintenance permettant de prolonger l'utilisation, achats de matériel robuste et réparable, à basse consommation, description et qualification de la filière de recyclage/réutilisation...

Les nouveaux contrats signés avec les fournisseurs devront refléter ces engagements. Ces derniers sont souvent lourds et difficiles à mettre en œuvre et la façon d'introduire le respect des critères environnementaux devra être travaillée avec les juristes, soit en revisitant les clauses relatives à la responsabilité d'entreprise, soit en les ajoutant quand elles n'existent pas.

 <i>Exemple</i>	<p>Un exemple de critères environnementaux dans des contrats est le marché «matinfo» qui est le groupement d'achat de matériel informatique pour l'enseignement supérieur et la recherche, dans lequel des exigences environnementales et sociales ont été prises en compte.</p> <p>https://www.matinfo-esr.fr/ecoinfo https://ecoinfo.cnrs.fr/2018/12/04/enseignement-superieur-et-recherche-achats-informatiques-et-developpement-durable/</p>
---	---

Enfin, au moment du renouvellement des contrats, les clauses relatives à la responsabilité d'entreprise devront être revues et ré-évoquées.

Concrètement, il est par exemple possible d'ajouter dans les appels d'offres ou les marchés :

- Des obligations de moyens : sensibilisation ou formation des personnels, adaptation des méthodes de travail, engagement à respecter certaines bonnes pratiques, mettre en place des mesures et indicateurs... ;
- Des obligations de résultat : quantité maximale de données, énergie consommée lors du parcours utilisateur, capacité à fonctionner sur matériels peu puissants...

Exiger la pérennité programmée des produits électroniques : comment réduire l'obsolescence matérielle et augmenter leur durée d'utilisation ?

L'**obsolescence matérielle** correspond aux cas où le produit ne fonctionne plus du fait de la panne de composant(s). Celle-ci peut survenir dans le cadre d'une utilisation normale du produit, d'un accident ou d'un mauvais usage. Les cas dans lesquels un produit fonctionnel est remplacé par un produit plus moderne (obsolescence d'évolution) ou pour incompatibilité avec l'environnement dans lequel il s'intègre (obsolescence fonctionnelle) ne sont pas abordés ici.

Il s'agit de s'inspirer du retour d'expérience observé pour un « panel PC » (version industrielle d'une tablette) utilisé dans les industries ferroviaires, de production d'énergie ou de la défense pour lequel une pérennité programmée est obtenue au travers de deux types d'exigences :

1. Pas de panne les 10 premières années d'utilisation

Ceci est communément évalué grâce au temps moyen de fonctionnement entre les pannes (**MTBF - Mean Time Between Failures**). Il indique la fiabilité d'un composant, produit ou système, exprimée en heures, dans des conditions d'utilisation (température, humidité...) définies.

Un produit dont le MTBF est de 100000 heures, standard pour un panel PC dans les industries évoquées, pourra donc fonctionner 24h/24h pendant 11,4 ans en moyenne, sans panne.

2. Être réparable pendant 20 ans

Les composants permettant de réparer le panel PC doivent être disponibles pendant 20 ans. Les fabricants des composants sélectionnés lors de la conception s'engagent à les maintenir disponibles à l'achat ou les remplacer par une nouvelle génération compatible. Il revient parfois au fabricant du panel PC de faire du « stock fin de vie » de composants pour couvrir les dernières années de son engagement ou pour prolonger la vie du produit.

Dans les deux cas, la fiabilité et la disponibilité des composants sont des exigences prises en compte dès la phase de conception. Ces contraintes limitent le nombre de fournisseurs de composants électroniques et augmentent le prix du produit qui sera vendu en moins grande quantité. Il s'agit donc d'un changement de *business model* pour les fabricants, dont une partie du revenu sera issu du service consistant à faire durer le produit.

Deux leviers permettent d'imposer aux fabricants la mise en place de ces pratiques :

- la contrainte légale dans laquelle la pérennité est une obligation pour vendre le produit,
- la contrainte économique, ou l'impossibilité de vendre sans pérennité du fait des exigences des consommateurs.

La loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte ainsi que le rapport de la DG-CCRF au Parlement de novembre 2019 commencent à prendre en compte la lutte contre l'obsolescence programmée. La réglementation est amenée à se renforcer dans les années à venir. Certains constructeurs européens tentent d'anticiper ce qui deviendra la norme dans quelques années. Fairphone (Pays Bas) commercialise ainsi un téléphone fait de matériaux recyclés, réparables pendant 5 ans, constitués de blocs facilement remplaçables. En 2019, ce marché représentait 0,1% de marché d'Europe de l'Ouest. Il reste du travail !



Pour favoriser le recours à des équipements pérennes, les approches suivantes pourront progressivement être adoptées :

- Un raisonnement en coût total de possession sur la durée de vie jusqu'au traitement des déchets pour les achats de matériels (PC, smartphones, serveurs...) sera plus favorable pour la prise en compte des critères environnementaux qu'un raisonnement uniquement en coût d'acquisition initial ;
- Le choix de fournisseurs qui permettent à la fois la réutilisation maximale de la matière qui compose leurs équipements et un changement dans la façon de consommer, en privilégiant **l'accès au service**

numérique à la possession. De telles offres sont encore rares mais commencent à apparaître sur le marché avec des acteurs qui proposent à la location des smartphones, ordinateur et casques pour entreprises et particuliers en s’engageant sur une gestion transparente et éco-responsable. Dans ce type de fonctionnement, le fournisseur n’a plus intérêt à renouveler les équipements mais au contraire à les rendre pérenne autant que possible.

3. Définir la stratégie d’approvisionnement

L’approvisionnement d’un équipement ou d’un service fait face à deux choix stratégiques :

- Internaliser la capacité ou la sous-traiter ;
- Choisir le lieu de réalisation de la capacité : *onshore* (territoire français), *nearshore* (Europe) ou *offshore* (Amérique, Asie, Afrique, Océanie).

Ces choix peuvent influencer de plusieurs ordres de grandeurs les émissions de CO₂ du fait des variations du mix énergétique selon les pays.

L’exemple ci-dessous est une illustration des conséquences des choix d’approvisionnement des services sur les émissions de CO₂.

Emissions de CO₂ de l’exploitation d’un poste de développeur selon sa localisation :			
	Onshore (France)	Nearshore (Europe)	Offshore (Inde)
kg CO ₂ / kWh	0,0791 kg CO ₂ / kWh	0,42 kg CO ₂ / kWh	0,912 kg CO ₂ / kWh
1 portable d’un développeur pendant 1 an d’exploitation (*)	1,81 kg CO ₂	9,62 kg CO ₂	20,88 kg CO ₂
Facteur de multiplication	1	5	11

Equipement – à titre d’exemple : [HP EliteBook 840 G6 Notebook PC](#) – Besoin en énergie électrique annuel 22,9 kWh
 (*) hors émissions de production de matériel

Exemple

Le calcul limité à la consommation d’un portable est simplement illustratif, tant l’impact d’une délocalisation d’un service de développement informatique interne est multifactoriel. Les deux types d’impact principaux sont de nature :

- **Collaborative** (impact de l’éloignement) : augmentation de l’empreinte numérique (vidéos conférences, mails, tableaux blancs électroniques ...), de l’empreinte transports (voyages d’affaires entre sites), et du facteur multiplicatif *offshore-onshore* (compensation de perte de productivité par augmentation du personnel et de matériel associé),
- **Physique** (impact du mix énergétique électrique local) : la consommation électrique du matériel informatique (terminaux et serveurs), des climatisations des bâtiments les hébergeant.

Source : <https://www.bilans-ges.ademe.fr/> pour les kg de CO₂/kWh rubrique Electricité | Mix réseau électrique ; [HP IT ECO Declaration](#) et « Consommation énergétique des équipements informatiques en milieu professionnel » pour la consommation annuelle en kWh par utilisateur dans les services p. 24 du livre blanc.
<https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/livre-blanc-consommation-energetique-equipements-informatique-2015.pdf>

Au-delà du bilan carbone, évoluer dans le choix des fournisseurs pour réduire au maximum les intermédiaires entre le producteur et le consommateur sera nécessaire. L’objectif sera de limiter les flux logistiques, de localiser les externalités négatives pour éviter leur oubli et d’avoir le maximum de proximité et d’accès aux activités du fournisseur. Du point de vue de la responsabilité d’entreprise, plus le fournisseur est loin (soit physiquement soit du fait d’intermédiaires), plus il est difficile de s’assurer de son éthique.

Enfin, la possibilité de participer aux décisions relatives à l'évolution du service ou du produit du fournisseur sera également un critère de choix structurant pour assurer la pérennité du service fourni. Ainsi, les clubs utilisateurs qui existent déjà devront être renforcés, et leur implication dans la stratégie du fournisseur devra être plus importante.

4. Impliquer ses clients dans l'objectif de sobriété numérique

La prise de conscience sociétale du risque climatique a amené de nombreuses entreprises à prendre des positions engagées sur l'impact environnemental pour améliorer leur image auprès de leurs clients.

Si de telles annonces peuvent créer une émulation sur le marché, il faut néanmoins signaler que **les communications de réduction des émissions de CO₂ qui ne portent que sur la consommation d'une électricité renouvelable ou incluant la compensation sont contre-productives**. Elles donnent l'illusion de la possibilité d'une extension des usages sans contrepartie environnementale, ce qui est faux, dangereux, non efficace du point de vue de l'évolution collective vers un numérique durable et fait peser un risque de *greenwashing* sur la réputation de l'organisation. En effet, les optimisations dans la consommation électrique se font au prix de renouvellements matériels très fréquents. Il est utile qu'une organisation communique sur ses objectifs et résultats à condition que le périmètre complet soit pris en compte.

 À noter	<p>Derrière l'électricité dite verte (comptabilité « <i>market based</i> ») se cache un mécanisme complexe de certificats qui prouvent qu'un certain volume d'électricité ENR est injecté dans le réseau national : on ne consomme pas ce qu'on achète, mais le mix énergétique local (« <i>location based</i> »).</p> <p>Dépendants des conditions de marché, ces certificats jouent encore un rôle relativement secondaire dans le financement des développements des ENR, lui-même fortement dépendant des politiques nationales.</p> <p>Référence :</p> <ul style="list-style-type: none"> - http://www.carbone4.com/wp-content/uploads/2018/12/Publication-Electricite-verte.pdf - https://ghgprotocol.org/scope_2_guidance
---	---

Pour qu'elle ait un impact vertueux, il faudra donc faire évoluer cette activité, comme préconisé par la Net Zero Initiative de Carbone 4⁶⁶ :

- Publier ses objectifs et ses résultats sur un périmètre complet hors compensation,
- Être transparent sur la méthode de calcul et les référentiels utilisés,
- Partager les données relatives aux actions vers une informatique durable avec une transparence sur les sources et la méthode.

En plus de la communication à l'échelle de l'entreprise, il est important :

- De donner à ses clients une mesure dans le temps de l'impact environnemental des services numériques qu'ils utilisent (ex : site web, application de vente en ligne, services d'hébergement ou de calculs de données...) : ceci permettra au client de faire sa part, d'arbitrer ses usages selon ce critère et de choisir les fournisseurs les plus responsables, ou a minima les plus transparents. La « Feuille de route sur l'environnement et le numérique » dans la Mesure 11 exprime cette volonté (CNNum, 2020) et l'ADEME – Agence de la transition écologique française - est missionnée pour le mettre en œuvre d'ici à 2021 (MTES, 2020).
- Plus largement, d'accompagner son client dans sa sobriété numérique (par exemple permettre au client de s'imposer des restrictions dans l'usage des services proposées).

⁶⁶ <https://www.carbone4.com/publication-referentiel-nzi/>

5. Dépasser le reporting réglementaire environnemental demandé par les autorités

L'organisation devra procéder au reporting réglementaire environnemental défini par les autorités locales.

En France, les entreprises ont l'obligation de réaliser leur bilan carbone (MTES, 2019) ou **Bilan GES réglementaire** qui ne concerne que les émissions issues du scope 1+2.

Ces réglementations se renforceront en France, en Europe et finalement dans le monde, comme déjà observé sur la réglementation relative à la gestion des données personnelles (RGPD). Différents travaux montrent que la réglementation va se renforcer en France et en Europe, notamment :

- **France Stratégie** : institution autonome placée auprès du Premier ministre français, qui concluait dans l'étude « La consommation de métaux du numérique : un secteur loin d'être dématérialisé » publiée en Juin 2020 : « *Face aux enjeux environnementaux, le recyclage des métaux contenus dans les équipements numériques ne peut donc pas constituer l'unique réponse et doit s'accompagner de politiques visant à réduire notre consommation de matière primaire* » (France stratégie, 2020).
- **Le Sénat** a publié en Juillet 2020 le résultat de la « Mission d'information sur l'empreinte environnementale du numérique » et conclut entre autre « *D'après les résultats de cette étude, le numérique constitue en France une source importante d'émissions de gaz à effet de serre (15 millions de tonnes (15 MtCO₂eq), soit 2 % du total des émissions en 2019), qui pourrait s'accroître considérablement dans les années à venir si rien n'était fait pour en réduire l'impact (+ 60 % d'ici 2040, pour atteindre 24 MtCO₂eq). En 2040, si tous les autres secteurs réalisent des économies de carbone conformément aux engagements de l'Accord de Paris et si aucune politique publique de sobriété numérique n'est déployée, le numérique pourrait atteindre près de 7 % (6,7 %) des émissions de gaz à effet de serre de la France, un niveau bien supérieur à celui actuellement émis par le transport aérien (4,7 %). Cette croissance serait notamment portée par l'essor de l'Internet des objets (IoT) et les émissions des data centers.* ». Différentes mesures pour ne pas aboutir à ce scénario sont proposées (Sénat, 2020).
- **Le conseil national du numérique** a publié en Juillet 2020 sa « Feuille de route sur l'environnement et le numérique » et propose 50 mesures pour **un agenda national et européen** sur un numérique responsable, c'est à dire sobre et au service de la transition écologique et solidaire et des objectifs de développement durable (CNNum, 2020).
- **La convention citoyenne pour le climat** a formulé un objectif pour « Accompagner l'évolution du numérique pour réduire ses impacts environnementaux » (CCC, 2020).

Dans l'attente d'une évolution des régulations et compte tenu de l'urgence à agir, il est souhaitable que les organisations anticipent et dépassent les obligations réglementaires. Elles peuvent dès à présent publier et partager avec leurs clients **la mesure nécessaire pour réduire les GES de leur système d'information**.

La moitié de l'impact environnemental de l'informatique est porté par la fabrication (*The Shift Project*, 2018), laquelle n'a pas forcément lieu dans le pays où la ressource est utilisée. En conséquence, se contenter du reporting réglementaire ne permet pas d'évoluer vers une informatique durable. Cette tendance est renforcée par l'utilisation de services numériques des hébergeurs en remplacement des centres de données opérés directement par les organisations utilisatrices.

6. Influencer le marché, capitaliser la connaissance en contribuant à des publications publiques

Pour gagner la course contre la montre pour contenir les émissions de CO₂, l'organisation peut contribuer à la **mise en commun des bonnes pratiques d'informatique durable**. L'objectif est de les rendre utilisables librement à la fois par les enseignants de l'enseignement supérieur, la totalité des organisations utilisatrices de solutions numériques et l'ensemble des fournisseurs de matériel et de service informatique. Il s'agit de **créer une émulation** dans la filière permettant une accélération collective vers une informatique durable à la hauteur de l'urgence de la situation.

Cette activité peut se décliner selon différentes actions :

- Contribuer à des groupes de travail de capitalisation inter-organisations capitalisant des bonnes pratiques d'informatique durable ;
- Partager les données relatives à l'impact environnemental de son système d'information pour augmenter les données disponibles publiquement sur ces sujets ;
- Soutenir financièrement les organisations à but non lucratif qui assurent la gestion des ressources ouvertes ;
- Demander aux fournisseurs de se référer à ces publications.

 <p><i>Exemples</i></p>	<p>Exemples d'organisations à but non lucratif impliquées dans la transformation vers une informatique durable.</p> <p>En France :</p> <ul style="list-style-type: none"> - The Shift Project via le groupe de travail Lean ICT sponsorisé par des organisations et le travail de publication associé. - Le Cigref, association représentative des plus grandes entreprises et administrations publiques françaises, exclusivement utilisatrices de solutions et services numériques, qui accompagne ses membres dans leurs réflexions collectives sur les enjeux numériques. Un groupe de travail «sobriété numérique» travaille à la publication de recommandations sur ce sujet. - L'INR, l'Institut du Numérique Responsable, <i>think tank</i> qui rassemble autour de l'expérimentation et la promotion de bonnes pratiques pour un numérique plus régénérateur, inclusif et éthique. <p>Dans le monde :</p> <ul style="list-style-type: none"> - The Open Group© : organisme international dédié à l'élaboration et au déploiement de standards dans le numérique.
--	---

Pour conclure, l'écosystème numérique a déjà pris la voie d'une optimisation des ressources et d'un partage des infrastructures avec les hébergeurs de services numériques, qui seront amenés à remplacer une part significative des centres de données directement opérés par les organisations.

Tous les acteurs en place doivent maintenant peser rapidement pour rendre le numérique durable et le faire évoluer vers un modèle économique vertueux du point de vue de la **pérennité programmée** et de **l'outillage de la sobriété** : cela doit **permettre à tous les acteurs clients, métiers, développeurs «d'économiser leurs usages» et de «faire leur part»**. Cette nouvelle approche a vocation à remplacer les modèles économiques actuels qui s'appuient sur la mise à disposition infinie des ressources et le renouvellement du matériel vu comme une externalité disponible de façon infinie.

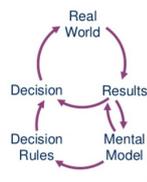
I. Gouverner la transition vers un Système d'Information durable

La mise en œuvre d'une stratégie de durabilité du Système d'Information demande à l'entreprise d'élargir son point de vue, en considérant le facteur environnemental dans sa prise de décision. L'entreprise est alors confrontée à un changement en profondeur dans sa manière de se transformer, notamment dans la manière dont elle définit son modèle économique, sa vision stratégique, son architecture, ses partenariats ou encore ses solutions. Le bon déroulement de cette stratégie demande une véritable synergie entre tous ces aspects, nécessitant la **mise en place d'une gouvernance forte**.

  <p><i>noter</i></p>	<p>La gouvernance est le système par lequel une organisation prend des décisions et les applique en vue d'atteindre ses objectifs. La prise de décision peut être formelle, reposant sur des processus définis, ou informelle, reposant sur les actions des personnes constituant l'entreprise.</p>
---	--

Le prise en compte des aspects environnementaux dans l'équation de la prise de décision nécessite de s'appuyer sur de nouveaux indicateurs liés au potentiel d'émissions de gaz à effet de serre , d'extraction de métaux rares, ou d'utilisation d'eau potable qui vont permettre d'éclairer la prise de décision et de suivre l'évolution de la transformation (voir le chapitre E).

Il s'agit de **considérer l'écosystème de l'entreprise dans son ensemble**, en prenant en compte l'environnement de l'entreprise, et non plus en se limitant à un point de vue limité au risque de créer un déséquilibre et de mettre en danger la pérennité de l'organisation. En d'autres termes, d'adopter une **pensée systémique**. (voir le chapitre « H. S'engager avec les clients, les fournisseurs, les partenaires, les institutions vers des solutions et services durables »).



La pensée systémique est le processus consistant à comprendre comment les composantes s'influencent les unes les autres dans un ensemble. Dans la nature, les exemples de pensée systémique incluent les écosystèmes dans lesquels divers éléments tels que l'air, l'eau, le mouvement, les plantes et les animaux travaillent ensemble pour survivre ou périr. Dans les organisations, les systèmes se composent de personnes, de structures et de processus qui travaillent ensemble pour rendre une organisation saine ou malsaine. (Meadows, D., 2008)

Ce chapitre décline pour partie l'approche de gouvernance proposée dans le standard *The Open Group Architecture Framework* (The Open Group®)

1. Gestion des décisions en intégrant le facteur environnemental

Des décisions impactant directement ou indirectement l'environnement sont prises à tous les niveaux de l'entreprise, de manière formelle ou informelle. L'alignement de ces décisions vers une stratégie de durabilité du Système d'Information demande une gestion des décisions bien établie, favorisant une prise de décision dite «équilibrée».

  <i>noter</i>	<p>La décision est l'élément central de la gouvernance, et doit être gérée en conséquence. Il s'agit des choix de conception qui répondent à des exigences avec un impact mesurable sur l'entreprise ; ils sont perçus comme difficiles à fabriquer et/ou coûteux à changer.</p>
--	---

Cette nouvelle prise de décision s'appuie sur 2 notions essentielles du cadre de gouvernance d'architecture :

- le journal des décisions ;
- le référentiel des décisions.

- **Le journal des décisions**

Le journal des décisions permet de poser et d'aligner les différents critères que l'organisation souhaite mettre en avant dans la prise de décision — dans notre cas le critère environnemental. Le journal de décision permet de tracer les décisions, partager l'information, et de la mettre à jour.

Prenons l'exemple d'une décision (#1) de mettre en place une nouvelle application mobile que l'entreprise souhaite développer pour ses clients :

Scénarios	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Description	Mise en place d'une solution mobile native	Mise en place d'une solution mobile hybride	Mise en place d'une solution mobile <u>application web progressive</u>⁶⁷
Implication	Développement d'une solution pour chaque système d'exploitation mobile (iOS, Android, etc.)	Développement d'une solution en partie commune en web s'intégrant aux solutions pour chaque système d'exploitation	Développement d'une solution commune pour tous les systèmes d'exploitation
Justification	Hébergement des applications mobiles sur la solution d'hébergement de l'organisation.		
	<i>Non retenu</i>	<i>Non retenu</i>	Expérience proche de celle d'une application mobile native, une rationalisation des développements, des coûts et de l'impact environnemental, et une compatibilité avec du déploiement en continue.
Propriétaire	Métier		
Parties prenantes	Métier, IT, Finance, Représentant du Management Environnemental		
Validation	Comité exécutif		
Périmètre d'application	Canaux clients		
Domaine	Métier & Système d'Information		
Critères environnementaux			

⁶⁷ Une **application web progressive** consiste en des pages ou des sites web qui peuvent apparaître à l'utilisateur de la même manière que les applications natives ou les applications mobiles.

eqCO₂ (construction)	1,200 TCO ₂ e	890 kgCO ₂	400 kgCO ₂ e
eqCO₂ (exploitation)	580 kgCO ₂ / an	360 kgCO ₂ / an	170 kgCO ₂ / an
Métaux rares	2050 kg	1400 kg	960 kg
Eau potable	21000 litres	15000 litres	6000 litres
Critères financier			
Valeur métier			
Critères fonctionnels			
Critères non-fonctionnels			
Critères en termes d'expérience utilisateur			

Pour ajouter le critère environnemental dans la prise de décision, il est important d'avoir des grilles de référence permettant la mesure rapide et efficace d'émissions eqCO₂, l'extraction de métaux rares, l'utilisation d'eau potable, selon les hypothèses de l'entreprise (voir chapitre E.).

noter

NB : Le cas ci-dessus n'est qu'un exemple, la mise en place d'une application mobile demande une analyse approfondie cas par cas.

Ici, l'entreprise a mis dans la balance le critère environnemental parmi plusieurs critères restant fondamentaux pour l'entreprise, tels que le critère financier, le critère de couverture fonctionnelle et d'expérience client.

• **Le référentiel des décisions**

Le journal des décisions peut être enregistré dans un référentiel partagé au sein de l'entreprise, permettant d'assurer la traçabilité, le partage, la modification et l'accessibilité des décisions.



2. Mise en place d'instances de validation des décisions alignées avec l'enjeu environnemental

Gouverner le système d'information dans un contexte de transition énergétique demande d'ajuster les instances de prise de décision, en y intégrant les décisions ayant un impact environnemental conséquent. Pour cela des critères doivent être mis en place, pour déterminer si une décision doit être soumise à une instance de gouvernance ou non.

Une **instance de prise de décision** permet de réunir l'ensemble des parties prenantes afin de s'aligner sur la prise de décision en considérant l'ensemble des points de vue.

noter

Exemples de critères de soumission de la décision à un comité de décision :

Critère	Justification
Nouveau service d'hébergement applicatif	Le changement de service d'hébergement est un choix critique quant à la consommation énergétique du système d'information, donc pour l'impact environnemental.

Nouveau service applicatif	Tout nouveau composant applicatif nécessite la consommation de nouvelles ressources.
Émission supérieure à Y eqCO ₂	L'entreprise considère qu'au-delà de ce seuil, l'impact environnemental est conséquent.

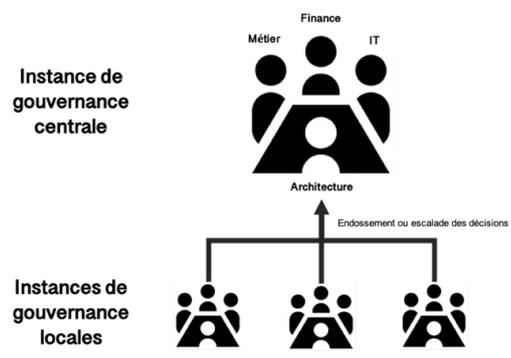


Figure 24 - Schéma d'un modèle de gouvernance distribué
Source : The Shift Project, production du groupe de travail

Plusieurs niveaux de gouvernance sont envisageables selon la taille de l'organisation. Suivant l'impact environnemental de la décision, la décision peut être uniquement enregistrée, puis communiquée pour endossement, ou alors être escaladée à l'instance pertinente selon les critères établis. Ce fonctionnement en escalade est similaire à la prise de décision selon l'impact budgétaire.

3. Mise en place de lignes directrices pour la prise de décision écoresponsable à tous les niveaux

Dans leur grande majorité, les décisions sont prises de manière informelle, dans le quotidien des équipes opérationnelles. Les lignes directrices permettent de faire converger l'ensemble des décisions des collaborateurs vers la stratégie de durabilité du système d'information.

Ces lignes directrices peuvent être communiquées par exemple à travers des principes, standards ou encore des arbres de décision.

 À <i>noter</i>	<p>Les principes d'architecture définissent les propriétés générales qui devraient s'appliquer à tout système dans l'entreprise.</p>
------------------------------	---

- Exemples de principes d'architecture d'entreprise :



Figure 25 - Principes de gouvernance du système d'information durable

Principe d'architecture d'entreprise	Description	Justification
1 Former, communiquer en interne, en externe	Proposer à ses salariés, dirigeants, actionnaires des formations au problème énergie / climat, à l'impact environnemental du numérique. Communiquer à l'interne et en externe sur la démarche informatique durable avec la rigueur et en suivant les processus de communication externe.	Faire comprendre à tous les acteurs la nécessité du changement qui est significatif. Peser sur le marché pour qu'il évolue. Marque : Attractivité pour les clients, les salariés
2 Être transparent sur la mesure de l'empreinte environnementale des services numériques	Mesurer de bout en bout l'empreinte environnementale des services numériques de l'organisation, et communiquer ces mesures aux salariés, fournisseurs, clients, partenaires... Commencer par le CO2 sur tout le cycle de vie et évoluer vers d'autres indicateurs si nécessaires à la sensibilisation, aux décisions de réduction.	Donner accès à ses clients à l'impact de leur scope 3 leur donne les moyens de réduire leur impact environnemental. La transparence externe oblige à davantage de résultats. Marque : Attractivité pour les clients, les salariés Réglementation : l'ADEME est missionnée pour définir une méthodologie sur l'obligation de rendre disponible et public l'impact carbone de sa consommation numérique à chaque consommateur dès fin 2021 (MTES, 2020).
3 Être sobre dans l'usage des services et des équipements numériques	Eviter tout superflu et de s'engouffrer dans les fausses nouveautés. Outiller la sobriété : aider l'utilisateur à être plus sobre dans ses usages. Contraindre, poser des limites avec des quotas (données, réseau...).	Limiter les usages restreint la demande en systèmes techniques dont la production et l'utilisation impactent l'environnement. Réglementation : la note du Sénat propose de réguler l'offre des forfaits téléphoniques, limiter l'impact des usages vidéo (Sénat, 2020).
4 Utiliser des services numériques partagés durables	Favoriser par exemple la location de matériels informatiques (Ordinateurs, téléphones, infrastructures...) à des fournisseurs responsables dans la mesure où l'offre existe.	Le partage d'équipements limite la quantité d'équipements nécessaires au global. Ce dont a besoin l'organisation c'est du service apporté l'équipement, elle n'a pas besoin de gérer les déchets numériques. Le fait de choisir des fournisseurs qui s'engagent sur tout le cycle de vie les fera évoluer naturellement vers de la pérennité.

<p>5 Partager ses connaissances</p>	<p>Open Source, Open Data, Open Architecture, Fab Lab. Encourager et contribuer aux démarches « Open ». Apprendre à partager, inculquer une culture du partage : documenter, construire les architectures en séparant le spécifique du général (Principe du continuum de (TOGAF©) (The Open Group®)). S’impliquer dans l’élaboration des standards.</p>	<p>Partager tout ce qui peut l’être sans mettre en danger l’organisation pour éviter le coût environnemental des initiatives qui consistent à réinventer la roue et concentrer ses efforts sur la transformation durable.</p> <p>Davantage d’ouverture et de partage favorisera l’interopérabilité, par exemple sur des composants de bas niveau, et donc la réparabilité.</p> <p>Enfin, le travail d’optimisation (principe 7) ne sera à faire qu’une fois.</p> <p>Marque : Attractivité pour les clients, les salariés.</p>
<p>6 Réutiliser, réparer, recycler les équipements utilisés</p>	<p>Être efficace : utiliser les équipements tant qu’ils fonctionnent et quand ils doivent être remplacés, s’assurer que l’ancien matériel est bien arrêté. Favoriser l’économie circulaire. Réparer plutôt que de remplacer. Favoriser la réutilisation notamment de composants recyclables et / ou issus du recyclage...</p>	<p>La réutilisation, la réparation limitent la quantité de matériaux utilisés, et la consommation d’énergie.</p> <p>Efficacité opérationnelle : économies liées à ce qui n’est pas racheté.</p>
<p>7 Optimiser l’utilisation des ressources, minimiser la pollution</p>	<p>Optimiser dans la fabrication, dans la réparation et non seulement dans l’utilisation des infrastructures Efficacité énergétique, utilisation d’énergies bas-carbone, limitation de l’utilisation des matériaux, choix de matériaux renouvelables...</p>	<p>Réduire l’impact environnemental de ses opérations.</p>
<p>8 Concevoir des équipements et des services réparables, réutilisables</p>	<p>Privilégier une conception modulaire qui assemble des composants interopérables et réutilisables tel que décrit dans le standard d’architecture d’entreprise (TOGAF©) (The Open Group®) avec les concepts d’interopérabilité et de building block.</p>	<p>Faciliter la réutilisation, la maintenance, le partage, tant au niveau des <i>patterns</i> d’architecture, des idées que des équipements numériques ou logiciels.</p> <p>Efficacité opérationnelle : économies liées à ce qui n’est pas racheté.</p>
<p>9 Choisir des fournisseurs qui appliquent ces principes</p>	<p>Connaitre l’impact environnemental des produits et services achetés pour mesurer le scope 3 de l’organisation et mener des actions pour le réduire.</p> <p>Favoriser les productions, réparations locales c’est-à-dire proche du lieu d’utilisation.</p> <p>Choisir des fournisseurs qui permettent une implication de leurs clients dans les choix d’évolution de leurs produits.</p>	<p>Nos organisations font appel à de nombreux fournisseurs et partenaires. Les chaînes de valeur se reconfigurent régulièrement entraînant des changements dans les périmètres de responsabilités avec des reports des impacts environnementaux entre pays, entre organisations.</p> <p>Pour être pleinement efficaces, ces principes doivent être appliqués sur toute la chaîne de valeur (Amont / Aval).</p> <p>La proximité physique permet une réduction des distances parcourues et donc de l’énergie consommée.</p> <p>L’implication dans les choix d’évolution des services et produits permet de garantir leur pertinence pour l’organisation dans le temps.</p>

Cette liste a vocation à inspirer chaque organisation, qui devra se l’approprier et l’adapter. Elle a été construite pour transformer le système d’information vers un état durable. Elle est inspirée :

- Des principes proposés par standard d’architecture d’entreprise (TOGAF© – The Open Group®)

- Des principes énoncés par Donella Meadows pour un monde soutenable (Meadows, D., 1999)
- Des principes de « L'économie symbiotique » (Delannoy, I., 2017)

Il existe également des principes de référence, proposés par des acteurs contribuant à la sobriété numérique :

- **Principes d'écoconception des logiciels**, proposés par l'association Green IT (GreenIT.fr, 2020)
- **Principes de l'ingénierie verte**, proposés par l'Agence de Protection de l'Environnement des Etats Unis. (EPA)

Gouverner sur la base de principes et de *patterns* est une des bonnes pratiques qui favorise l'auto-gouvernance et l'autonomie d'équipes fonctionnant suivant un **mode d'organisation agile**. Il appartient à chaque organisation d'architecture et à chaque architecte de se les approprier, de les contextualiser, d'y associer les *patterns* les plus pertinents, et de proposer les standards technologiques les plus efficaces.

De la même manière que les décisions, l'établissement de nouveaux principes, standards et arbres de décision doivent être évalués au regard des critères environnementaux, et validés dans une instance d'architecture.

4. Suivi et vérification de la conformité de l'architecture au regard de l'enjeu environnemental

Le suivi et la vérification de la conformité de l'architecture permet d'identifier au plus tôt une éventuelle déviation de notre objectif de durabilité. Cela permet soit de se réaligner vers notre objectif de durabilité, soit d'identifier une « dette environnementale » (voir la section suivante).

Les « critères d'acceptation » sont un moyen permettant de confirmer l'adéquation de l'implémentation avec la décision d'architecture, en délivrant une preuve.

- Exemple de critère d'acceptation :

Critère d'acceptation	Le service « livraison » de l'application X est indiqué comme décommissionné au sein de la CMDB (base de données unifiant les composants d'un système d'information)
Justification	Associé au principe « Maximiser la réutilisation des fonctions et des flux de données applicatifs », après avoir rationalisé une fonctionnalité, l'entreprise ne doit pas oublier de décommissionner la fonction non utilisée.


À
noter

Certaines vérifications peuvent aussi être automatisées en tirant parti de la chaîne de fabrication logicielle. Prenons l'exemple de la **conception d'un site Internet**. En respect du principe "Éviter le transfert de données lorsque c'est possible", des *patterns* d'implémentation peuvent y être associés, tels que la mise en cache de données ou l'utilisation d'un CDN. La vérification de l'implémentation de ces *patterns* pourrait être automatisée au sein des chaînes de fabrication logicielle (CI/CD).

5. Gestion de la dette environnementale du système d'information

Un système d'information construit sans considération de l'aspect environnemental conduira quasi inévitablement à un héritage de dettes.


À
noter

Une **dette environnementale** est la conséquence d'une décision non alignée avec la trajectoire de l'entreprise visant à établir un Système d'Information durable.

Les dettes doivent être gérées pour pouvoir être correctement résorbées en accord avec la stratégie de durabilité établie. Elles peuvent être recensées selon plusieurs critères, tels que les principes, standards ou seuils au-delà desquels on considère l'architecture comme non acceptable. La mémoire des dettes du Système d'Information peut être maintenue dans le «journal des dettes».

- Exemples de critères de dette

Critère	Fonctionnalité dupliquée dans le Système d'Information
Justification	Voir principe , «Maximiser la réutilisation des fonctions et des flux de données applicatifs»

Les nouvelles décisions peuvent conduire à des dettes intentionnelles ou non intentionnelles, et doivent être identifiées, tracées et mesurées.

Il est important d'identifier la création de dettes intentionnelles lors de la prise de décision — elles peuvent être dues à des contraintes de temps, des contraintes légales, etc. (et la création de dettes non-intentionnelles au cours des vérifications de l'architecture).

Enfin, une dette doit systématiquement établir un plan de résorption décrivant la manière dont elle va être éliminée dans le temps. Les dettes devraient être revues de manière récurrente pour s'assurer de la bonne exécution des plans de résorption.

- Exemples de dette

Référence décision	#1
Dette	Fonctionnalité d'initiation de livraison dupliquée par type de canaux
Description	Historiquement, l'ensemble des canaux a défini sa fonctionnalité de livraison, ce qui multiplie le nombre de ressources utilisées
Plan de résorbassions	Faire converger les fonctionnalités dans un service suffisamment atomique pour répondre aux différentes spécificités
Coût environnemental	11 000 kgCO _{2e} / an
Risque	<ul style="list-style-type: none"> • Non atteinte de l'objectif annuel de diminution de 30% des émissions de CO₂ • Taxation carbone

  <i>noter</i>	<p>De tous temps, la mesure de la dette technique a été un graal difficile à atteindre. A ce défi s'ajoute maintenant celui de la mesure de la dette environnementale. Les nouvelles architectures <i>cloud</i> natives et les chaînes de fabrication logicielles de plus en plus automatisées permettent aujourd'hui d'envisager des solutions d'identification de la dette selon les critères tels que la redondance de fonctions, ou de flux de données.</p>
--	---

III. Les usages numériques : une construction sociale aux dimensions collectives et individuelles

A. La sobriété numérique : une question d'usages

Déployer la sobriété numérique, c'est mettre au point une stratégie qui permette de concevoir et utiliser notre système numérique de manière à ce qu'il soit compatible avec les contraintes physiques naturelles. Or ce système est composé de deux ensembles qui interagissent :

- **Un système d'usages** : il rassemble les actions permises par les outils numériques (envoyer un email, regarder une vidéo en ligne, traiter des données, rédiger ce rapport etc.) ainsi que les dynamiques comportementales et sociales qui en résultent (fréquence d'utilisation du smartphone par un individu, types de contenus consommés, types de données produites et stockées etc.).
- **Un système technique** : il rassemble les composantes physiques du système numérique, qui supportent et permettent les usages. Terminaux utilisateurs, infrastructures réseau et centres de données sont les trois composantes de ce système technique, qui constitue la partie matérielle du numérique considérée et décrite dans notre étude.

On ne saurait s'affranchir, donc, d'une réflexion sur la construction du système d'usages. Pour déployer un numérique sobre en pratique, il est nécessaire de se doter des outils nous permettant de comprendre les processus comportementaux qui participent à générer le numérique tel qu'il existe aujourd'hui.

Nous avons démontré, dans notre rapport « Climat : l'insoutenable usage de la vidéo en ligne » (*The Shift Project*, 2019), la nécessité de convoquer un débat collectif et public sur les usages. Public, parce qu'il est du devoir des pouvoirs publics de l'initier, de par l'ampleur sociale des problématiques qu'il soulève. Collectif, parce qu'il est indispensable de rassembler les acteurs et outils dont nous disposons pour le construire de manière pertinente : organes régulateurs des usages en ligne, plateformes de diffusion des contenus en ligne, représentants des consommateurs et communautés de designers (compétentes sur les interactions entre design et orientation des comportements), etc.

Un débat public qui questionne les comportements quotidiens concerne inévitablement les usages à l'échelle de la société, comment ils se construisent et ce qu'ils engendrent. L'objectif central du travail qui est ici développé est ainsi de comprendre que **la sobriété numérique, puisqu'elle touche à la construction des usages, soulève des questions qui dépassent le cadre de son unique aspect énergétique.**

L'axe qu'il a été choisi d'explorer traite des effets les plus directs que nos usages peuvent avoir sur les individus : **les problématiques sanitaires et comportementales.** La dimension sanitaire dépasse la sphère d'expertise première du *Shift*, ainsi l'exercice a été construit dans ce projet comme une revue des connaissances académiques aujourd'hui établies sur le sujet par la recherche en médecine et sciences comportementales (psychologie, sociologie etc.), en s'appuyant sur l'expertise de membres de notre groupe de travail pour les comprendre et les retranscrire.

Les résultats présentés dans ce rapport ne visent pas l'exhaustivité. Il s'agit d'illustrer l'interconnexion des problématiques qui apparaissent lorsque l'on questionne les usages. Etudier certains des effets sanitaires délétères indissociables de la consommation de services numériques *telle qu'elle existe aujourd'hui*, cela nous permet avant tout de **décrire certaines grandes dimensions sociales de nos usages numériques actuels.** La réflexion permettra ensuite également d'explorer les **synergies et co-bénéfices** qui peuvent exister entre une sobriété numérique sur le plan énergétique et les questions de santé publique qui se dessinent quant à l'utilisation des outils numériques.

Réfléchir aux implications sanitaires, c'est initier le croisement des différentes approches aujourd'hui à notre disposition pour comprendre la construction et les effets de nos propres usages, à l'échelle sociale. Loin d'épuiser

le sujet et l'exercice, donc, ces travaux appellent une fois encore à développer l'unique approche viable au vu de la complexité du sujet : une réflexion croisant les acteurs impliqués, leurs expertises et leurs outils, afin de poser les questions incontournables **de manière explicite**.

B. Les usages numériques : une construction collective

S'il est si complexe de mener un débat objectif sur ce qu'implique la sobriété numérique en pratique, c'est parce que derrière la question des usages se cristallise celle de la responsabilité.

Etudier les mécanismes de leur construction permet de comprendre qu'**appeler un changement des comportements est une question collective et non seulement individuelle** (*The Shift Project*, 2019). Construire un système d'usages sobres, ce n'est pas demander à l'utilisateur ou l'utilisatrice de limiter sa consommation de vidéos en espérant que cela suffise à faire une différence quantitative sur les consommations énergétiques associées.

Construire un système d'usages sobres, c'est réfléchir aux mécanismes de construction de nos usages : pourquoi consomme-t-on autant de contenus numériques ? Quels ressorts psychologiques et sociétaux sont impliqués ? Quels types d'usages les designs de nos outils numériques favorisent-ils et comment ? Construire un système d'usages sobres, de comportements sobres, c'est agir à la fois aux niveaux individuel et collectif en comprenant bien que les implications diffèrent :

- **Au niveau individuel** : certains gestes individuels (augmentation de la durée de vie de ses terminaux, utiliser le wifi plutôt que la 4G etc.) permettent de diminuer directement les impacts environnementaux de nos usages. Nombre d'entre eux visent par contre un objectif différent, mais complémentaire : comprendre et identifier nos besoins réels.

Les gestes individuels permettent de traduire dans notre quotidien individuel la problématique complexe des « impacts environnementaux du numérique », et donc de la comprendre. Ils permettent de reprendre la main sur nos propres usages afin d'identifier ceux que l'on juge essentiels à titre personnel et subjectif. Les usages essentiels, ce sont ceux que l'on souhaite prioriser en cas de contraintes, comme par exemple les contraintes physiques sur l'énergie et les émissions.

Par exemple :

- Réduire la résolution des vidéos au minimum de ce qui me permet de tout de même profiter du contenu que je regarde, cela ne diminue pas significativement mon impact **direct** (la consommation du réseau n'étant qu'en petite partie **directement** reliée au flux de données⁶⁸), mais cela me permet d'identifier quelle résolution **répond vraiment à mon besoin**, selon le cas de figure. Je serai ainsi en mesure de répondre à la question « de quelle résolution ai-je besoin, pour visionner quel type de contenu, sur quel terminal ? ».
- Désactiver l'*autoplay* n'engendre de la même manière qu'une économie marginale sur la consommation directe d'énergie, mais cela me permet de faire la différence entre le contenu que je consomme par envie (mon besoin) et celui que je consomme par automatisme (l'influence de mes usages).
- **Au niveau collectif** : nos usages sont le résultat de nos choix individuels mais sont également fortement influencés par les designs de nos outils, les algorithmes choisis par les plateformes en ligne, les messages et positions publicitaires des marques, les offres des opérateurs etc. Comprendre lesquels de ces

⁶⁸ Il existe deux manières de comptabiliser la consommation d'énergie associée au transfert de données (et donc, par exemple, au visionnage d'une vidéo). La consommation d'énergie des infrastructures réseau possède une partie fixe (l'énergie de toute manière nécessaire au fonctionnement de l'infrastructure, même lorsqu'aucune donnée ne la traverse) et une partie variable (l'énergie supplémentaire consommée pour faire voyager la donnée sur l'infrastructure lorsque nécessaire). Une première méthode consiste à comptabiliser uniquement la consommation directe, c'est-à-dire la partie variable de la consommation de l'infrastructure, énergie supplémentaire nécessaire en pratique à envoyer la donnée jusqu'au terminal. Une seconde méthode consiste à comptabiliser la consommation directe ainsi qu'une part de la consommation fixe de l'infrastructure. Cela revient à considérer que si l'infrastructure réseau est déployée, c'est bien pour faire passer des données, dont ma vidéo, et donc qu'une part de la consommation totale de l'infrastructure est due au fait que ma vidéo transite à un moment sur le réseau.

Ainsi, en pratique, réduire la quantité de donnée n'influe pas directement sur la consommation des réseaux de manière significative, parce que la partie fixe de la consommation est très importante. Cependant, considérer la partie fixe dans le comptage permet de comprendre comment se développe et pourquoi sont déployées nos infrastructures, en lien avec les usages qu'elles supportent et rendent possibles.

mécanismes interviennent lorsque nous choisissons de regarder une vidéo ou de changer de smartphone, cela permet d'identifier les leviers que nous pouvons déployer collectivement afin d'orienter nos usages vers une trajectoire sobre, qualitative et résiliente.

Un système numérique résilient, c'est un système qui continue de rendre possible les usages essentiels en situation de contrainte exogène. Rendre le système numérique résilient, c'est dimensionner à l'échelle collective un ensemble d'infrastructures et d'utilisations de ces infrastructures qui **préservent les usages les plus précieux.**

A l'heure où le débat sur la nécessité de rendre nos systèmes compatibles avec les contraintes du monde physique est clos, il est temps de s'atteler à la tâche d'après : **lister et caractériser les usages que nous considérons prioritaires et précieux à l'échelle de notre société.** Choisir les usages à préserver en priorité passe par un débat collectif, construit sur la base des compréhensions individuelles. C'est parce que les individus auront appris à répondre à la question « lesquels de mes usages numériques sont essentiels pour répondre à mes besoins ? » que nous saurons mener une réflexion à l'échelle sociétale sur la manière la plus pertinente de préserver les apports fondamentaux du numérique, au vu des contraintes physiques qui s'imposent à lui.

1. Les mécanismes de construction des usages

a. Effet d'offre, effet d'usage

Un usage (par exemple, partager une photo en ligne), c'est une personne utilisant un système, c'est-à-dire un ensemble d'outils qui fonctionnent ensemble (dans notre exemple : le smartphone – qui me permet de prendre la photo et de me connecter au réseau – et la plateforme du réseau social sur lequel je vais publier la photo). Ce que l'on appelle la construction des usages, c'est l'ensemble des mécanismes qui font que nous utilisons nos systèmes d'une certaine manière.

Les usages se construisent selon deux dimensions (*The Shift Project*, 2019) : au travers des actions de la personne qui utilise le système, et au travers des choix d'architecture qui sont fait pour nos outils. Il existe ainsi des influences réciproques entre les usages, leur évolution, et les pratiques professionnelles qui les influencent (design des outils, choix publicitaires etc.).

L'effet d'usage désigne l'influence que les comportements utilisateurs vont avoir sur la forme des outils. Par exemple, le fait que les individus utilisent la vidéo comme moyen privilégié de communication de l'information encourage le développement de plateformes entièrement centrées sur le contenu vidéo.

L'effet d'offre désigne quant à lui la manière dont les architectures proposées par les plateformes en ligne vont orienter les comportements de leurs utilisateurs. Par exemple, l'intégration de contenus vidéo incrustés dans les articles de presse écrite en ligne va pousser une consommation de vidéo chez l'utilisateur de la plateforme.

Ce qu'il est essentiel de comprendre, c'est que les designs de nos outils sont construits de manière technique et réfléchi dans le but de répondre à certains objectifs. Or comme nous le verrons dans la suite des présentes analyses, ces objectifs sont incompatibles avec les contraintes physiques qui s'appliquent au système numérique.

b. Les designs addictifs

Les années 2000 et 2010 ont vu se cristalliser de nouvelles dynamiques dans la diffusion et la consommation de contenu. Le développement des usages numériques s'accompagne dans cette période du perfectionnement des outils de suivi des actions en ligne (quel contenu consommé, quelle quantité, suivi de la manière de parcourir la plateforme etc.). Cela permet aux acteurs économiques de construire de nouvelles métriques d'évaluation des performances de leurs plateformes : on ne mesure plus tant la satisfaction explicite des utilisateurs, que leur satisfaction implicite. C'est-à-dire que l'on va évaluer la qualité de l'expérience du consommateur à partir de la mesure de la quantité de contenu consécutif consommé, du profilage de ses usages et de leurs évolutions (*The Shift Project*, 2019).

Le premier effet, direct, de ce changement de paradigme est le développement de nouveaux outils qui visent à maximiser les performances décrites par ces nouvelles métriques. C'est ainsi qu'apparaissent **les designs dits addictifs**. Ils désignent et regroupent les techniques de conception des outils numériques (plateformes etc.)

permettant de **capturer l'attention de l'utilisateur le plus efficacement possible** (*autoplay*⁶⁹, vidéos incrustées, publicités, pop-up, *thumbnails*⁷⁰ etc.) puis de **la conserver le plus longtemps possible** (*autoplay* des vidéos suivantes, suppression des génériques de début et de fin dans les épisodes de séries, aperçu automatique des vidéos avant même leur lancement, *scrolling*⁷¹ ininterrompu, réactualisation automatique du fil d'actualité au moment où l'utilisateur s'apprête à quitter le réseau social etc.).

Ces designs s'appuient sur des principes de fonctionnements neuropsychologiques connus, qu'ils viennent solliciter à l'aide d'outils techniques réfléchis. Pour exemple, la construction d'un fil de contenu ininterrompu (vidéos jouées à la suite sans interruption, absence de séparation entre les *posts* d'un réseau socialetc.) permet de maintenir le cerveau de l'utilisateur en position de consommation, en contournant l'automatisme de changement de comportement qui se manifeste lorsque la fin d'un contenu est identifiée (*The Shift Project*, 2019).

c. Des mécanismes incompatibles avec les contraintes physiques

Les nouveaux paradigmes d'évaluation de l'expérience utilisateur sont ainsi construits sur des composantes très automatiques des comportements individuels, via un profilage de l'utilisateur. Ce profilage nécessite un grand nombre de données et devient d'autant plus efficace que les usages sont intenses : il s'affine et se maintient à jour par l'intégration de nouvelles données en continu, à chaque nouvel usage en ligne. **Les modèles économiques construits sur ces métriques vont ainsi mécaniquement tirer nos consommations de données vers le haut, participer à créer de nouveaux usages et à développer les supports qui y sont associés.** Le développement conséquent, ces deux dernières décennies, des modèles économiques exploitant le profilage des utilisateurs et les volumes de données très imposants (*big data*, intelligence artificielle, développement d'une économie de l'attention etc.) assoie et catalyse ces dynamiques, en rendant économiquement viables les innovations qui y sont liées.

Le développement des usages en ligne n'est pas sans réalité matérielle : augmenter la place que prennent les usages numériques dans nos quotidiens favorise l'apparition de nouveaux outils, terminaux et réseaux, qui vont sous-tendre des usages continuellement plus énergivores. Lorsque l'on sait que les impacts environnementaux des terminaux numériques viennent principalement de leur phase de production – par exemple, 90 % de l'impact carbone direct⁷² d'un smartphone est imputable à sa phase de production – (*The Shift Project*, 2018), on comprend que **le développement des usages tel qu'il se fait aujourd'hui appelle à une augmentation drastique de l'empreinte matérielle de notre système numérique** (augmentation du taux d'équipements connectés, écrans plus imposants, augmentation des capacités de calcul de nos outils pour des usages d'un nomadisme croissant, déploiement de nouveaux accès réseaux plus réactifs et omniprésents – wifi dans les lieux publics, 4G dans les transports en commun etc.).

Les contraintes physiques qui s'imposent à notre système numérique ne permettent pas son expansion incontrôlée. Assurer la préservation de ses apports essentiels nécessite de redimensionner ses dynamiques internes pour en faire un système résilient et piloté. Dès lors, se pose la question des réflexions à mener pour adapter les modèles économiques aujourd'hui prédominants dans le monde en ligne. Les acteurs du secteur doivent se saisir de ces problématiques pour ne pas mettre en danger l'outil numérique, qu'ils participent à construire.

2. Comment poser la question de la pertinence des usages numériques

Les usages sont une construction collective, laquelle se doit d'être comprise à titre individuel.

Comprendre la manière dont les designs de nos systèmes influent sur notre manière de les utiliser, c'est se donner la possibilité d'agir sur ces procédés pour diriger nos usages dans la direction la plus résiliente. Mettre au point des designs qui favorisent les usages sobres, réinventer les modèles économiques pour extraire de la valeur autrement qu'au travers de volumes de données à croissance continue, soumettre le déploiement de nos infrastructures réseaux à des évaluations de pertinence sociétale et vis-à-vis des impératifs de

⁶⁹ Anglicisme désignant le lancement automatique d'une vidéo

⁷⁰ Anglicisme désignant les miniatures d'images redirigeant vers un autre contenu (article, vidéo, post etc.)

⁷¹ Anglicisme désignant l'action de faire défiler une page web ou le fil de publications d'un réseau social.

⁷² C'est-à-dire sans prendre en compte les consommations des infrastructures réseaux sollicitées lors de l'utilisation du terminal.

diminution des émissions de nos systèmes etc. sont des stratégies à construire en rassemblant et convoquant tous les acteurs concernés.

Ces acteurs, ce sont à la fois :

- **Les agents économiques du secteur numérique**, qui ont la main sur les directions données aux systèmes et plateformes ;
- **Les communautés de designers**, qui détiennent les techniques de conception des outils au vu des objectifs fixés ;
- **Les pouvoirs publics**, à même de construire des politiques publiques à la hauteur des nouvelles ambitions de nos systèmes ;
- **Les organes régulateurs**, pour piloter et construire la vision d'ensemble de notre système numérique⁷³ ;
- **Les parties prenantes de la compréhension des usages et de leurs apports**, les individus, associations de consommateurs et experts des usages et de leurs effets (sociologues, psychologues, sphère médicale).

Nous l'avons vu, bien que les véritables leviers quantitatifs se situent à une échelle collective et macroscopique, l'échelle individuelle reste essentielle à la construction d'un système d'usages pertinents. C'est en cela que les parties prenantes de la compréhension des usages et de leurs apports sont essentielles. Les consommateurs, les sociologues et la sphère médicale sont en mesure de réaliser deux tâches indispensables au déploiement d'un véritable système d'usage sobre :

- Décrire les usages numériques tels qu'ils existent aujourd'hui,
- Analyser leurs effets sur les individus.

C'est principalement l'analyse des effets délétères qui permet d'identifier, parmi les multiples dimensions du numérique, les dynamiques qui soulèvent des points de vigilance. Par exemple, la manifestation croissante de désirs de déconnexion parmi les utilisateurs intensifs du numérique **est symptomatique d'une offre qui surpasse la demande, avec des services qui ne répondent plus précisément aux besoins qu'ils visent** (*The Shift Project*, 2019). C'est à partir de la compréhension de ces phénomènes que l'on peut construire une réflexion sur la pertinence de laisser notre système d'usage se développer selon certaines tendances ou non.

Le choix fait dans ce rapport est celui de l'illustratif : les parties qui suivent visent à illustrer les effets délétères que peuvent avoir nos usages numériques actuels, en choisissant d'explorer ceux relatifs à la **dimension sanitaire**. Il ne s'agit donc pas ici de prétendre épuiser un sujet complexe et croisant de multiples champs d'expertises, mais bien d'amorcer deux axes de travail : **décrire les limites de nos usages numériques tels qu'ils existent aujourd'hui et comprendre la manière dont ils se sont construits au travers de déploiements successifs d'outils – sans étude préalable et systématique de leur conditions de pertinence**.

⁷³ Des organes régulateurs comme l'Arcep occupent une position qui permet d'assurer le croisement des différentes approches et données et de centraliser les échanges entre les acteurs afin de construire des directions stratégiques pertinentes et étayées pour nos systèmes numériques (Arcep, 2020).

C. La pénétration du numérique dans nos usages : une omniprésence non-pilotée

Le numérique est aujourd’hui omniprésent dans nos usages. Nos outils connectés accompagnent un ensemble prépondérant de nos activités, structurent nos sphères privées comme professionnelles ou académiques, et occupent une place conséquente à toutes les étapes d’une vie (vie adulte, adolescence et enfance).

Cette omniprésence n’aurait pu se construire sans le déploiement massif de terminaux, d’infrastructures et d’offres commerciales permettant l’appropriation, par une part croissante de la population et des structures collectives⁷⁴, des services proposés par les acteurs du secteur.

La suite de ces réflexions ambitionne d’explorer les traductions de ces dynamiques sociétales dans les quotidiens individuels, ainsi que les effets indésirables voire délétères qu’elles peuvent avoir sur les individus lorsqu’elles ne sont ni comprises ni pilotées. **Il ne s’agit en aucun cas, dans le cadre de ce rapport, de construire la démonstration d’un bilan net des effets sociétaux du numériques.** L’ambition est ici d’explorer et d’illustrer les formes que peuvent prendre les conséquences négatives d’une consommation numérique qui est laissée à un développement automatique et omniprésent.

Ces questions sont indispensables à traiter si l’on souhaite être en mesure de construire un débat collectif efficace sur les arbitrages à réaliser au sein de nos systèmes d’usages numériques. Parce que les effets délétères d’une utilisation non-pilotée du numérique relèvent de la **santé publique** au vu de l’omniprésence de ces technologies. **Parce que choisir un futur technologique, c’est en fait faire le choix d’un certain avenir sociétal.**

1. L’exposition aux écrans : exemple historique d’une consommation n’ayant pas été préalablement analysée

L’exposition aux écrans n’est pas un phénomène nouveau. Depuis l’arrivée des écrans de télévision dans les foyers domestiques dans les années 1950, des chercheurs ont identifié les effets de ces usages et de cette forme inédite de spectacle sur les individus téléspectateurs et les corps sociaux (Hemmelweit, H. et al., 1958) (Wartella, E., Reeves, B., 1985). En 1977, la journaliste américaine Marie Winn publiait « *The Plug-In Drug: Television, Children, And The Family* » (Winn, 1977), ouvrage dans lequel elle décrit l’influence addictive des écrans de télévision sur les tout petits et mettait en lumière l’expérience excluante que représente le fait télévisuel : « *on regarde toujours la télévision quand on regarde la télévision plutôt que d’avoir une autre expérience* ».

Pour certains spécialistes (Baton-Hervé, E., 2020) (Bihouix, Ph., Mauvilly, K., 2016) (Duflo, 2018) (Dieu Osika, S., 2018), l’arrivée des écrans numériques dans le quotidien opère un glissement vers un profil de consommation des écrans **qui n’a pas été pensée ou analysée a priori**. Or, cette consommation entraîne des mésusages et des utilisations non pertinentes des dispositifs numériques, dont découlent des risques d’effets délétères sur différents plans (sociétaux, sanitaires) et pour différentes populations (enfants, adolescents et adultes).

La pratique des écrans est devenue une activité routinière chez les adolescents. En moyenne les 13-18 ans y passent 6h40 par jour, ce qui représente 40 % de leur temps normal d’éveil (Rideout V., 2015). Cette exposition représente l’équivalent de « 2400 heures par an, 100 jours, 2,5 années scolaires, ou encore la totalité du temps consacré de la sixième à la terminale pour un élève de filière scientifique à l’enseignement du français, des mathématiques, et des Sciences de la Vie et de la Terre » (Desmurget, M., 2019). Chaque jour les possesseurs de smartphone adultes ou adolescents⁷⁵ subiraient entre 50 et 150 interruptions en moyenne, soit une toutes les 7 à 20 minutes (période de sommeil exclue) (Gazzaley A., 2016) (Markowitz, 2015).

En outre, des travaux récents s’intéressent à la manière dont les contenus numériques pénètrent les espaces de réception des adultes, des adolescents et des enfants (Baton-Hervé, E., 2020) (*The Shift Project*, 2019). Ce type d’approches et de données constituent un socle de connaissances fiables susceptibles d’assister et d’orienter les pouvoirs publics et la société civile (dont les parents et éducateurs) pour un accompagnement pertinent des utilisateurs et utilisatrices des outils numériques, et particulièrement des plus vulnérables d’entre eux.

⁷⁴ Entreprises, organisations, collectivités, administrations ou autres organes publics etc.

⁷⁵ 77 % de la population de 12 ans et plus est équipée d’un smartphone en 2019, et 95 % d’un téléphone mobile (Credoc, 2019)

2. Le numérique dans nos sphères privées : les risques d'une omniprésence à prendre en compte et piloter

- Des outils de communication omniprésents

L'omniprésence des outils numériques dans la vie quotidienne se manifeste différemment selon les populations (âge, caractéristiques sociologiques, professions etc.). Parmi elles, la population adolescente d'aujourd'hui est intéressante pour comprendre les mécanismes à l'œuvre dans la construction de nos usages tels qu'ils existent aujourd'hui. Chez les adolescents, l'usage des réseaux sociaux et de l'outil numérique recoupe bien les différents sphères du quotidien et ce dès le début de l'adolescence ; par exemple en France, en 2019 (Génération Numérique, 2019) :

- 82 % des filles et 73 % des garçons entre 11 et 18 ans sont inscrites et inscrits à un ou plusieurs réseaux sociaux (dont 56 % des 11-12 ans) ;
- 64 % des 11-18 ans ont un appareil numérique en permanence avec eux ;
- 35 % d'entre eux se réveillent pour le consulter.

Dans ce contexte il serait une erreur de considérer que l'activité virtuelle ne croise pas la vie réelle : en 2017 par exemple, 50 % des filles et 60 % des garçons de 15 à 18 ans ont déjà eu des contacts avec des inconnus et près de 45 % d'entre eux les ont rencontrés physiquement (Génération Numérique, 2017). D'autre part, près de 80 % des filles et 60 % des garçons entre 15 et 18 ans utilisent leur véritable identité ainsi que de vraies photos sur leurs profils en ligne (bien qu'une grande majorité d'entre eux déclare mentir sur leur âge).

Lorsqu'un adolescent est connecté sur un smartphone, il se trouve exposé à des dangers extérieurs au sein même d'un environnement que l'on considère souvent protégé, puisqu'il peut le faire depuis l'intérieur de la sphère familiale, depuis sa chambre. L'univers virtuel devient de fait l'un des liens principaux entre son intimité et l'extérieur (Tisseron, S., 2011) (Génération Numérique, 2019). Le développement des usages numériques, donc, doit se comprendre et se piloter comme un **ensemble de comportements faisant partie intégrante du quotidien et de la vie réelle.**

Les outils numériques et leurs contenus sont omniprésents dans la sphère familiale, professionnelle et même publique (panneaux publicitaires, écrans plats chez le commerçant, etc.). Tous ces outils sont construits autour des stratégies de captation de l'attention et des designs évoqués précédemment, dont l'objectif est de saisir l'attention des utilisateurs puis de la conserver le plus longtemps possible. Le fait que l'accessibilité de tous les contenus, partout et tout le temps se soit généralisée va engendrer l'insertion de nos pratiques numériques dans tous nos schémas d'organisation (dont les sphères privées et familiales). **Cette omniprésence va influencer sur la structuration des relations interpersonnelles au sein de nos sphères privées et peut s'avérer perturbatrice pour les relations intra-familiales :** consommation continue de contenus, intervention des outils numériques dans les sphères d'échanges réelles, omniprésence des sollicitations et perturbation des rythmes classiques de communication sont des phénomènes devenus structurant dans la construction des relations au sein des familles.

Les travaux d'E. Baton-Hervé explorent ces phénomènes, difficiles à quantifier, et permettent de travailler à l'identification des points de vigilance quant à la mise en place des usages numériques au sein de la construction familiale et avec l'enfant. Ceci afin de comprendre « les conditions dans lesquelles les parents d'aujourd'hui ont à exercer leurs tâches d'éducateurs » (Baton-Hervé, E., 2020).

La raréfaction des interactions au sein des familles fait partie des effets délétères potentiels d'une construction d'usages numériques non-pilotée. Si ce type d'effets requiert une vigilance particulière, c'est parce qu'ils ne se mettent pas en place de manière brutale ni visible. D'après les témoignages recueillis, la raréfaction des interactions familiales se construit progressivement, sans que les adultes du foyer puissent en avoir pleine conscience (Baton-Hervé, E., 2020).

L'absence de pilotage des usages numériques engendre donc un risque pour les interactions et pour la stabilité de la sphère familiale (Lardellier, P., Moatti, D., 2014), ainsi que, de fait, sur la construction du socle d'apprentissage de l'enfant – « l'insuffisance des échanges avec les parents [ayant] des incidences directes sur le développement global de l'enfant, sur l'estime de soi ainsi que sur la qualité des liens aux autres ».

• Les phases de production, diffusion et réception des contenus

Les effets de la consommation de contenu en ligne s'illustrent aux trois niveaux de l'usage d'un média⁷⁶ :

- La production du contenu ;
- La diffusion du contenu, c'est-à-dire sa mise à disposition sur une plateforme de diffusion (réseaux social, plateforme vidéo etc.) ;
- La réception du contenu, c'est-à-dire sa consommation et son appropriation par ses destinataires.

Chacune de ces phases interagit avec des sphères différentes du quotidien des utilisateurs, mais sont toutes interdépendantes.

La phase de production de contenu par les utilisateurs et utilisatrices va pénétrer les comportements dans les sphères privées, notamment de manière très particulière pour ceux destinés à la publication sur des réseaux sociaux. Les différentes plateformes ayant des particularités et canevas privilégiés (message court, vidéo courte, ton des messages etc.), elles vont influencer la création de contenu dans certaines directions et donc certains comportements (*The Shift Project*, 2019) – notamment en ce que les contenus des réseaux sociaux sont régulièrement intimement liés au quotidiens des utilisateurs.

Certaines recherches (Rodgers, R.F., 2017) mettent en avant le fait que l'utilisation par les jeunes de certaines applications (type Snapchat ou Instagram par exemple) induit une modification de la conscience de soi et du rapport à l'image corporelle (devenue objet de la production d'un contenu ensuite rendu publique), jusqu'à pouvoir avoir une influence chez les jeunes filles (4 à 5 ans) quant à leur comportement alimentaire.

La phase de diffusion de contenu implique les utilisateurs lors de la mise à disposition de leurs productions sur les réseaux et plateformes. Ces productions impliquant régulièrement l'identité propre des intéressés, elle soulève des questions quant à la capacité de contrôle du contenu, une fois diffusé. Or, pour reprendre l'exemple relativement bien documenté des populations adolescentes, contrairement à une idée communément admise, les jeunes générations n'ont pas de compétences informatiques expertes par défaut ou de manière systématique. Elles maîtrisent les fonctions simples (comme le téléchargement et l'utilisation d'applications mobiles) mais se retrouvent souvent démunies devant la complexité des règles de gestion de leur profil sur les réseaux sociaux, notamment lorsqu'il s'agit de restreindre ou contrôler les accès aux contenus les concernant. Ainsi 57 % des 11 à 18 ans trouvent véritablement complexe d'effacer des contenus les concernant publiés par d'autres internautes, ce qui s'accompagne de peurs de harcèlement, d'inquiétudes quant à leur réputation etc. (Génération Numérique, 2019).

La phase de réception des contenus est la phase historiquement la plus largement documentée, les questionnements sur ses effets datant des premières réflexions sur l'introduction des écrans dans les sphères familiales, avant l'apparition des outils permettant une production de contenu au sein même du quotidien privé. L'accessibilité des contenus de toute sorte et virtuellement en n'importe quel endroit rend complexe la modération des informations, images et messages accessibles depuis l'intérieur de la sphère familiale.

Ainsi les adolescentes et adolescents se retrouvent fréquemment exposés aux images violentes, sexuelles et haineuses, avec une moyenne de près d'un enfant sur deux ayant déjà été exposé sur les plateformes de streaming à des contenus de ce type (Jehel, S., Gozlan, A., 2019). La documentation des différents types d'attitudes possibles adoptées par les adolescents face à cet accès à des contenus non-modérés (adhésion, indifférence, évitement ou autonomie) (Jehel, S., Gozlan, A., 2019)⁷⁷ montre que les impacts diffèrent selon les individus et selon les populations concernées.

Aussi, les recherches montrent que des inégalités d'accès aux contenus numériques existent (fracture numérique et sociale) (Pasquier, D., 2018) tout comme existent désormais des inégalités d'exposition aux contenus inadaptés. Décrypter l'influence des milieux sociaux dans la manière d'appréhender et de traiter les contenus et représentations véhiculés par les médias et les plateformes numériques fait émerger un vrai questionnement de santé publique sur la nécessité de compréhension et de pilotage de nos usages.

⁷⁶ Cette description en trois phases est valide pour tous les usages de médias en ligne, pour enfants comme pour adultes.

⁷⁷ S. Jehel identifie quatre grandes catégories d'attitudes (non exclusives) : (1) l'adhésion qui s'accompagne d'une fascination pour les images violentes, sexuelles et haineuses ; (2) l'indifférence qui pousse l'adolescent à « passer son chemin » sans pour autant signaler ces contenus ; (3) l'évitement de ces contenus ; (4) l'autonomie qui consiste à une prise de recul, la capacité de parler de ces images avec leurs proches et de devenir plus probablement modérateur de plateforme ensuite

3. Le numérique dans les premières étapes de la vie : outils d'apprentissage du monde numérique ou risques pour le développement de l'enfant ?

- **Définition de surexposition**

Les technologies numériques sont devenues des éléments structurants des quotidiens de nos différentes étapes de vie. Les enfants, populations dont l'environnement influe fortement sur les mécanismes de développement, font l'objet d'une attention particulière : il est essentiel d'identifier la degré d'exposition aux technologies numériques à partir duquel cela leur devient délétère. La phase de développement chez l'enfant est en effet régie selon des mécanismes construites au cours de l'histoire évolutionnelle et adaptée à un monde dans lequel les technologies numériques n'existaient pas. Il est donc essentiel de comprendre les influences que peuvent avoir ces nouvelles manières d'interagir avec l'information sur ces phases d'apprentissage du réel particulièrement structurantes pour l'individu.

Définir le terme « surexposition », c'est définir le seuil d'exposition à ne pas dépasser si l'on souhaite préserver l'enfant des effets délétères des écrans. Certaines études documentant la causalité entre exposition aux écrans et retard langagier aboutissent à la conclusion que toute exposition régulière aux écrans (même les expositions de moins d'une heure) influe sur le développement de l'enfant. Ainsi est-il essentiel de comprendre les risques de cette exposition dès que l'outil numérique pénètre la sphère familiale et de développement de l'enfant (Van den heuvel M. et al., 2019) (Chonchaiya W. et al., 2008) (Birken, C., 2017) (Masur, 2016) (Pempek, T. et al., 2014) (Tanimura, M., 2007) (Zengin-Akkus, P. et al., 2018) (Byeon H. et al., 2015) (Walsh J. J. et al., 2018) (Takeuchi, H. et al., 2016) (Takeuchi H. et al., 2015) (Desmurget, M., 2019) (Chiado L. M. et al., 2007).

Cette surexposition doit également être comprise au vu des moments du quotidien qu'elle recouvre. Nos usages numériques nous permettant d'accéder à tout type de contenu à n'importe quel moment et de n'importe quel endroit, leur consommation pénètre nos espaces et temps de sommeil. Les populations enfant et adolescente ayant des capacités d'autorégulation en pleine construction, il semble pertinent d'étudier l'effet d'outils de captation de l'attention sur leurs comportements nocturnes. Une étude observe ainsi que près de 45 % de filles et garçons entre 11 et 18 ans reconnaissent rester éveillés ou se réveiller pour aller sur internet la nuit, avec une utilisation journalière déjà importante : 33 % déclarent passer plus de 4h par jour sur Internet et jusqu'à 40 % d'entre eux s'il s'agit des temps de week-ends (Génération Numérique, 2017).

Ces comportements, qui sont le résultat d'une difficulté importante d'autorégulation des enfants et adolescents face aux designs addictifs de nos technologies, engendrent des déficits sensibles du sommeil, en quantité et en qualité (Carter B. et al., 2016). Or le manque de sommeil possède des conséquences importantes sur le développement cérébral et moteur des enfants et adolescents. Il perturbe par exemple la réactivité et la connexion des circuits cérébraux impliqués dans la construction de la stabilité émotionnelle ou dans la construction cognitive (mémorisation, créativité, attention etc.) (Desmurget, M., 2019). Les enfants et adolescents surexposés présentent ainsi, selon des études documentant le phénomène, des comportements plus irritables et une gestion des émotions plus chaotique que ceux qui le sont très peu (Gujar N. et al., 2011) (Yoo S. S. et al., 2007).

- **Le monde réel ne s'apprend pas comme le monde virtuel**

« Le développement de l'enfant est un tout, il concerne aussi bien le langage que l'intelligence et la motricité. Ces trois composantes étant elles-mêmes conditionnées par le développement psychoaffectif » (p. 132 de (Baton-Hervé, E., 2020)). Lorsque les conditions ordinaires d'exercice des expériences inaugurales de l'enfant sont contrariées – par exemple lorsqu'il manipule un puzzle en 2D sur une tablette plutôt qu'en 3D en vie réelle – le développement de l'enfant en pâtit. L'interaction avec l'environnement, objets ou personnes, est une condition nécessaire à la construction cérébrale et à la compréhension logico-mathématique du monde.

L'apprentissage de l'enfant se construit sur la base de ses interactions avec le monde tridimensionnel et de l'interaction humaine (pour le langage, les actions et gestes simples, la logique etc.), selon une logique de test-échec-correction et au cours d'une diversité importantes d'expériences (jeux, activités, tentatives de communication, déplacements etc.) (Baton-Hervé, E., 2020). Les outils numériques, donc, ne peuvent se substituer à ces expériences de construction de la compréhension du monde et à leur diversité, et doivent donc être mis à

disposition de manière réfléchi et pilotée. Les déployer dans la sphère d'apprentissage de l'enfant de manière omniprésente engendre le risque de les faire entrer en concurrence avec les interactions directes et matérielles, de standardiser les expériences accessibles à l'enfant dans sa phase de construction et donc de créer des effets délétères et indésirables potentiels sur ses socles d'apprentissages (motricité, logique, langages etc.).

Comme détaillé plus tôt dans ce rapport, les outils numériques font aujourd'hui partie intégrante de nos sphères privées, et leur effet sur la diminution des espaces de communication directe au sein des familles est un point de vigilance identifié. Or la diminution des interactions parents-enfants nuit au développement de l'enfant, sur des plans comme l'apprentissage du langage, qui pâtit rapidement d'une introduction non-contrôlée des supports numériques dans l'environnement familial (Baton-Hervé, E., 2020).

Une fois encore, il est indispensable de contrôler et piloter l'introduction des technologies numériques dans un système d'usages donné, les effets indirects et indésirables étant complexes à prévoir mais non moins impactants. Dans la sphère privée et familiale, l'enfant doit bien entendu faire l'objet d'une attention particulière, de par l'importance de ses expériences dans sa construction individuelle et du fait de son incapacité à assurer un quelconque type d'autorégulation face aux contenus qui lui sont proposés. Il est indispensable de **construire des outils de pilotage pour les parents et les autres rôles d'éducation**, afin de leur permettre de mesurer la pertinence et les risques des contenus numériques. La mise au point de ces outils de pilotage nécessite une mobilisation de la documentation scientifique disponible et un croisement des différents types d'expertise quant à la construction des usages et de leurs effets. C'est cette complexité qui appelle une inévitable implication des pouvoirs publics, afin de pouvoir éclairer et orienter correctement les décisions individuelles au vu des considérations et observations collectives.

4. Le numérique dans nos sphères professionnelles et de formation : de faux alliés s'ils ne sont pas pilotés

- Outils numériques, apprentissage et performances scolaires

L'introduction des outils numériques dans les processus d'apprentissage et dans les processus scolaires soulève, une fois de plus, la question des conditions de pertinence. En effet, à l'heure d'un engouement marqué pour la transition numérique au sein des sphères académique et scolaire, rien n'indique que l'efficacité des outils numériques comme supports de l'apprentissage scolaire soit intrinsèque.

Depuis les années 2010, on voit en effet certains établissements transiter depuis l'utilisation des livres vers l'utilisation de tablettes numériques afin de soulager le dos des élèves, ou bien la distribution gratuite de tablettes et ordinateurs aux élèves entrant en première année de cycle universitaire. De tels choix de politique d'éducation et de formation n'ont rien d'anodin et se doivent de prendre en compte les effets comportementaux et sociétaux des déploiements généralisés qu'ils engendrent.

C'est l'objectif d'une étude observationnelle de grande ampleur menée par deux chercheuses dans le but d'étudier l'impact de ces outils sur le comportement des étudiants (Rodhain, F., 2019). Sur la base d'une observation conséquente (1600 heures) d'étudiants en cursus dans l'enseignement supérieur⁷⁸, elles ont pu cartographier les typologies d'utilisation des tablettes numériques, distribuées par l'université comme outil pédagogique.

Résultat de l'expérience : 80 % des usages réalisés sur ces tablettes sont d'ordre récréatif et distractif. Seuls 20 % des usages ont un lien avec des activités d'apprentissage et d'intégration de connaissances.

⁷⁸ L'observatrice, Dr S. Kakavand, « s'est faite passer pour une étudiante Erasmus, s'est infiltrée dans différents cursus, assistant à tous les cours et TD, se plaçant systématiquement au fond de la classe ou d'un amphi, et avec une patience infinie, elle a noté l'utilisation réelle qui était faite de l'Ipad distribué en début de première année. Elle a observé ainsi, pendant 1.600 heures au total, le comportement d'étudiants de Bac+3 à Bac+5 dans plusieurs écoles d'enseignement supérieur ». (Rodhain, F., 2019)

Utilisation de l'iPad pendant un cours de 1h30 (en minutes)

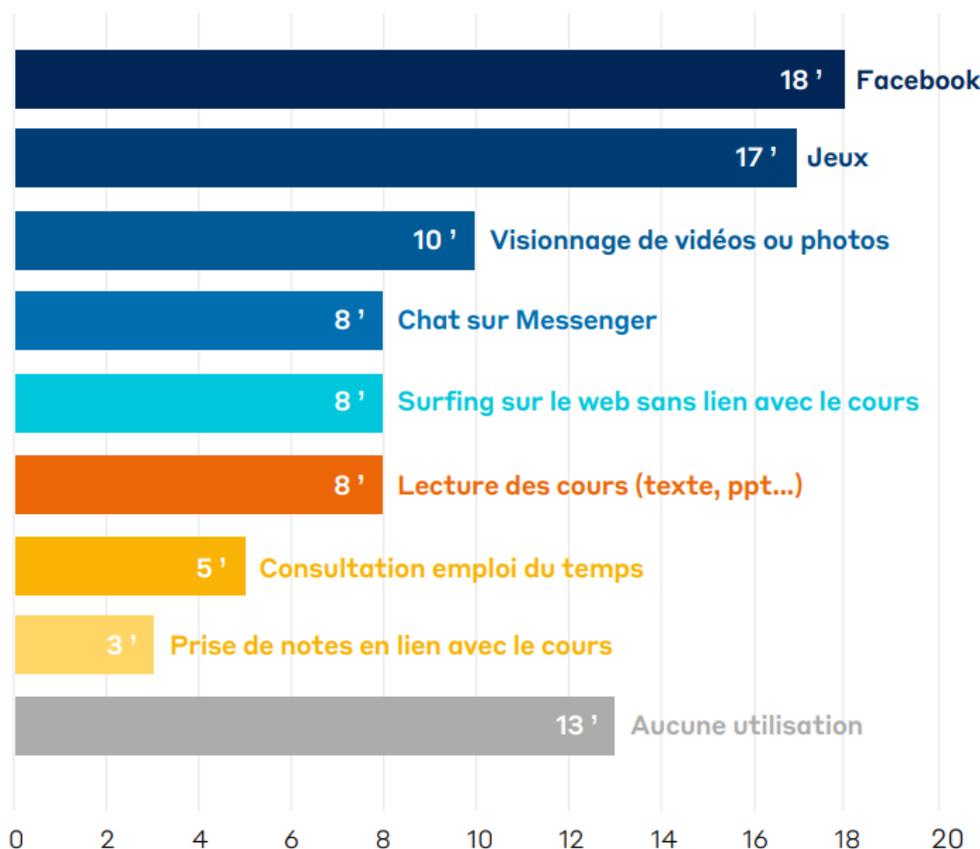


Figure 26 - Utilisation de l'iPad pendant un cours de 1h30
Source : (Rodhain, F., 2019)

Sur une durée de cours de 1h30, les étudiants passent environ « une heure à utiliser l’iPad pour un usage totalement distrayant (Facebook pendant 18 minutes, divers jeux pendant 17 minutes, Visionnage de vidéos pendant 10 mn ...), (...) un quart d’heure pendant lequel il ne l’utilise pas, et (...) un quart d’heure pendant lequel ils l’utilisent pour un usage en lien avec le savoir ou l’enseignement » (Rodhain, F., 2019).

Or, si l’usage est principalement distrayant, cela signifie qu’introduire ces outils tel que cela est fait aujourd’hui revient, plutôt que de soutenir une démarche pédagogique, à soutenir le modèle d’usages construit sur une omniprésence de contenus en ligne à consommer de manière continue. De nombreux étudiants considèrent eux-mêmes ces outils comme néfastes mais addictifs et ne parviennent pas à se réguler eux-mêmes (Rodhain, F., 2019). Lorsque l’on prend en compte les mécaniques de conception de ces technologies et plateformes, il devient en effet évident que parier sur l’autorégulation des individus pour rendre l’outil pertinent est une erreur. En cela, il est indispensable de mettre au point des procédés pédagogiques qui permettent d’utiliser ces outils de manière cadrée et cohérente avec les objectifs des formations.

Ces observations de terrain s’articulent avec des considérations macroscopiques sur les effets de l’introduction des technologies numériques dans les processus d’apprentissage à un niveau international. L’étude PISA (Programme International pour le Suivi des Acquis des élèves), réalisée par l’OCDE, est une référence qui fournit des données internationales comparatives permettant d’évaluer les évolutions des performances scolaires dans le monde au regard de différentes variables⁷⁹. Parmi les données présentées dans l’étude de 2015, certaines concernant le numérique permettent de confirmer certaines conclusions formulées dans l’étude citée précédemment (OCDE, 2015).

⁷⁹ « L’étude est menée tous les trois ans auprès de jeunes de 15 ans, qu’ils soient scolarisés dans un établissement public ou privé sous contrat, au collège ou en lycée agricole, général, technologique ou professionnel. PISA évalue leurs capacités à mobiliser leurs connaissances scolaires et à les utiliser dans des situations proches de la vie quotidienne. En France, l’enquête est réalisée sous la responsabilité du ministère de l’Éducation nationale selon les procédures standardisées de l’OCDE. Elle se déroule dans 252 établissements tirés au sort par une autorité internationale indépendante. Dans chaque établissement, environ 30 élèves de 15 ans sont retenus aléatoirement. 6 300 élèves français scolarisés au collège ou lycée ont été testés. » (Ministère de l’Éducation Nationale, de la Jeunesse et des Sports, 2020)

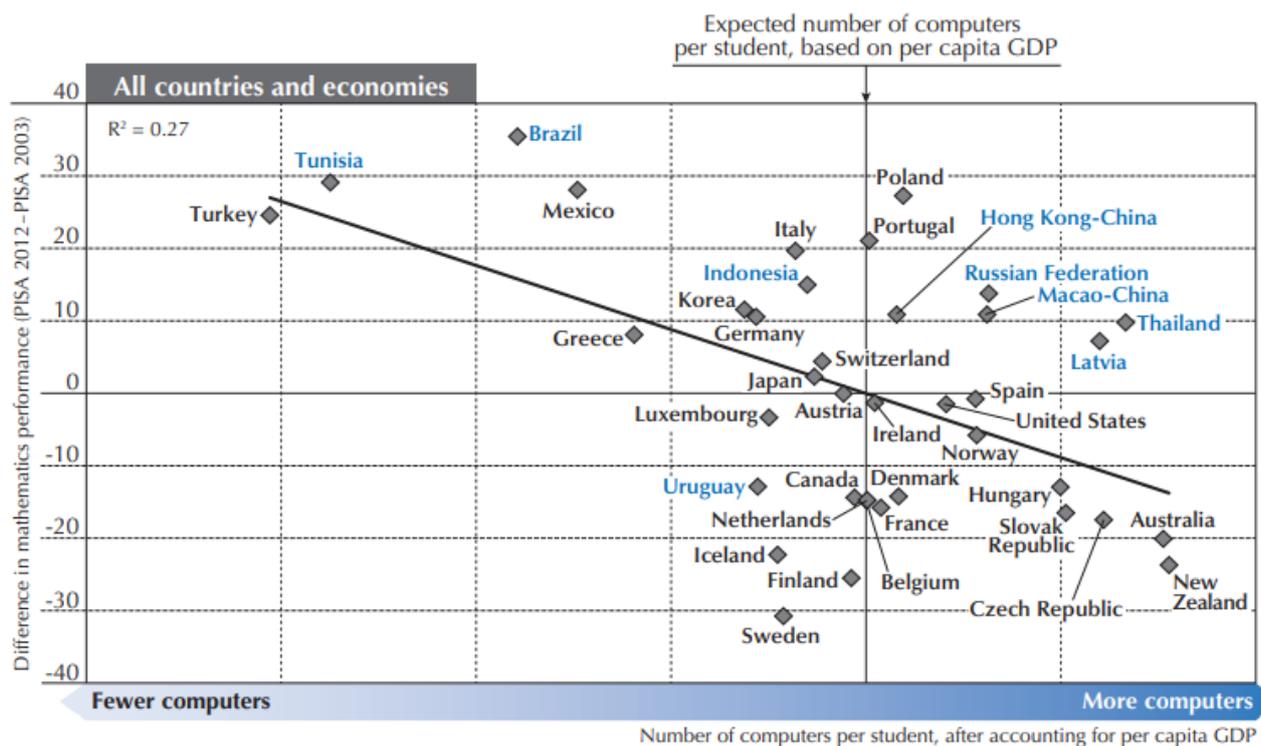


Figure 27 - Corrélation entre les performances mathématiques et le nombre d'ordinateurs par étudiant
Source : (OCDE, 2015)

Les corrélations négatives entre les investissements numériques à l'école et la progression de la performance scolaire ainsi que les analyses du rapport PISA aboutissent à la conclusion que la « technologie peut permettre d'optimiser un enseignement d'excellente qualité, mais elle ne pourra jamais, aussi avancée soit-elle, pallier un enseignement de piètre qualité » (OCDE, 2015). Ce que cela confirme, c'est que l'introduction de nouvelles technologies dans les parcours éducatifs n'est pas une stratégie pédagogique en soi, les effets de ces outils sur les usages étant complexes et régulièrement paradoxaux. **Déployer des outils numériques ne peut donc s'affranchir d'une réflexion sur le cadre de déploiement, ainsi que sur les conditions nécessaires à rendre leur utilisation pertinente pour la démarche pédagogique** (encadrement de l'utilisation, identification des risques d'effets paradoxaux et contre-productifs, besoin de formation des enseignants, besoins de maintenance et de formation des personnels des établissements etc.).

- **La sphère professionnelle impactée par les pratiques numériques non-pilotées**

La transformation numérique dans la sphère professionnelle a permis aux entreprises de s'adapter aux défis socio-économiques actuels. Les stratégies de déploiement des outils qui la supportent (boîte mail, réseaux sociaux d'entreprise, réseaux sociaux professionnels, travail collaboratif sur les infrastructures de type *cloud*, télétravail, hybridation des supports de travail entre physique et virtuel, formations à distance...) ont eu pour but d'harmoniser les usages des technologies numériques, d'effacer ou de réduire la fracture numérique dans la sphère professionnelle et d'augmenter la performance économique des entreprises. Sans pour autant prendre en compte l'émergence de nouveaux enjeux qui en résultent.

Le manque de pilotage dans les usages aux différentes étapes de l'échange du contenu en ligne (phases de production, de diffusion et de réception) peut causer des effets délétères sur la santé psychique et physique des collaborateurs. L'usage des technologies numériques est devenu indispensable pour bon nombre de métiers. Pour autant, les « bonnes pratiques » associées à l'usage de ces outils dans le cadre du travail ne se mettent pas en place de manière instinctive et les salariés manquent souvent de recul et de compétences spécifiques pour le faire.

Le milieu professionnel est avant tout un milieu social (Depolo, M. et al., 1998), c'est-à-dire qu'au-delà des performances de l'usage technique de ces outils ou modes de travail, des dynamiques comportementales et sociales existent au sein de l'entreprise. Ces dynamiques sont aussi influencées par le design de certains outils

professionnels intégrant des modèles de captation de l'attention et de construction publique de l'activité (partage des réalisations, construction d'avatars etc.) retrouvé dans les réseaux sociaux personnels et outils de divertissement.

Au-delà des impacts positifs incontestables des outils numériques s'ils sont bien utilisés, des effets délétères sont à redouter en cas de manque d'encadrement⁸⁰. Citons un exemple identifié par L'Orse (L'Observatoire de la Responsabilité Sociétale des Entreprises, 2011), celui de la messagerie électronique : si elle n'est pas réfléchie, elle génère le sentiment d'urgence, augmente les interruptions, provoque la surcharge et une accumulation des informations, rend difficile le traitement et la priorisation de l'information, empiète sur la vie privée avec le sentiment d'être accessible en permanence, diminue la productivité.

Les outils évoluent, contrairement à notre capacité à traiter l'information. Il est donc essentiel de piloter leur mise au point et leurs déploiements pour assurer qu'ils soient adaptés à nos possibilités et consistent bien **en des facilitateurs d'atteinte de nos objectifs, plutôt qu'en un ensemble de supports générant un afflux d'informations inadapté à nos fonctionnements cognitifs**⁸¹.

Un autre facteur d'influence est l'importante continuité des usages que les technologies numériques permettent. La possibilité permanente d'être joignable rend l'individu « extensible » (au sens de (Janelle, D., G., 1973)) et entraîne une impression de disponibilité permanente. Les sphères privée et professionnelle se chevauchent de manière croissante, et le déploiement massif du télétravail suites aux contraintes sanitaires ces derniers mois a fait apparaître de manière très nette les ambivalences et paradoxes de nos outils numériques. Le télétravail a en effet montré qu'il était à la fois facilitateur indispensable à la continuité de nos activités, parfois atout pour la productivité, parfois risque pour cette même productivité et risque de surcharge informationnelle, et que le résultat opérationnel net de sa mise en place dépend largement de l'encadrement des usages de nos outils.

Cela laisse la place aux phénomènes indésirables liés à un usage non maîtrisé comme l'addiction aux technologies mobiles, qui devient une réalité pour les salariés (notion de « *crackberry* », (Mazmanian, M. et al., 2006)). La peur de manquer une information ou un événement, souvent évoquée sous le terme de « *Fear Of Missing Out* », rend l'usage de plus en plus intense et régulier, voire compulsif.

La nécessité d'une « déconnexion » aux outils numériques se fait ainsi sentir par les salariés pour parvenir à véritablement stopper leurs tâches professionnelles aux moments où ils ne sont plus en situation de travail. Mais d'autres études mettent en évidence un nouveau phénomène paradoxal : cette nécessité de « déconnexion » est parfois ressentie par les salariés lorsqu'ils doivent s'atteler à une tâche précise. La continuité de la possibilité d'être joignable à tout instant et par de multiples moyens engendre en effet une omniprésence de notifications et appels (y compris d'ordre professionnels), qui perturbe la concentration et parasite la réalisation des tâches effectivement à mener par les salariés (Fernandez, V. et al., 2014) (Marraud, L., 2012). Ces phénomènes sont consubstantiels de la conception des dispositifs numériques et sont identifiés dans la littérature comme les **effets paradoxaux des technologies numériques mobiles** (Jarvenpaa, S., L., Lang, K., L., 2005).

Cela illustre une fois encore l'inévitable ambivalence de technologies conçues pour interagir avec nos mécanismes d'attention, et renforce le constat d'une nécessité de pilotage de ces technologies qui aboutissent régulièrement, y compris dans la sphère professionnelle, à des effets contre-productifs lorsqu'elles sont déployées sans réflexion préalable et stratégique.

D. Conclusions : choisir un futur technologique, c'est faire le choix d'un certain avenir sociétal

- Une nécessité de pilotage et de modération

Nos usages numériques se sont aujourd'hui construits selon des automatismes dynamisés par les designs de captation de nos plateformes et par la volonté d'une augmentation de la disponibilité et de la quantité des contenus. Or aujourd'hui, nos outils nous permettent non plus d'accéder à de l'information en des instant précis, mais bien

⁸⁰ Le terme de « technostress » (Brod, C., 1984) était déjà utilisé dans les années 80 pour caractériser les difficultés liées à l'utilisation des technologies nouvelles, notamment dans le milieu professionnel.

⁸¹ Nos outils cognitifs étant davantage construits pour appréhender des déroulements séquentiels et localisés des événements, la construction d'une société en réseau offrant un afflux simultané et global d'information porte le risque de surcharge informationnelle et de saturation cognitive (Castells, M., 1998) (Isaac, H. et al., 2007) (Lahlou, S. et al., 2000) (Shenk, D., 1998)

d'être connectés à l'intégralité des espaces virtuels en permanence. Comprendre que les technologies connectées ne sont plus de simples outils mais une dimension supplémentaire à toutes les parts de nos sphères privées et intimes permet de comprendre la nécessité de maîtriser le développement de nos usages. Nous sommes aujourd'hui utilisateurs des plateformes, consommateurs d'informations et producteurs de contenus. Contenus qui impliquent nos quotidiens, nos sphères privées et même intimes en rendant publique et accessible une part de notre image.

Piloter le développement de nos usages, c'est identifier les périmètres de vigilance à construire pour éviter les effets délétères sur nos sphères privées et familiales, sur nos sphères professionnelles et académiques. Ce pilotage, s'il implique de comprendre la construction des usages et de leurs effets dans les quotidiens individuels, ne peut être construit qu'au travers d'outils collectifs. Pouvoirs publics, acteurs privés, régulateurs, communautés de designers et de consommateurs et experts des traductions sanitaires et sociologiques de nos choix d'usages sont autant de parties prenantes indispensables à engager. Cela afin de **comprendre la manière dont nos choix technologiques impliquent de véritables choix de société. Déployer une infrastructure et les technologies attenantes, c'est choisir de favoriser une certaine typologie d'usages (qu'ils soient déjà existants ou nouveaux)**. Construire un numérique résilient, c'est donc se donner les outils, informations, données et espace de construction de débat collectif, adéquats à l'arbitrage entre opportunités proposées par nos choix technologiques et effets paradoxaux, indésirables voire délétères. **Cela afin que la question ne soit plus « cette nouvelle technologie est-elle une opportunité incontournable ? », mais plutôt « sous quelles conditions de déploiement et de pilotage de nos usages cette technologie présente-t-elle une véritable opportunité ? ».**

Choisir les directions à donner à l'évolution de nos usages, c'est questionner les contraintes à respecter (qui sont d'ordre énergétique, climatique, environnemental, sociétal) et identifier les arbitrages qui en découlent ainsi que les services à préserver en priorité.

Or la solution quantitative ne se trouve pas dans la dimension individuelle. L'échelle de l'individu sert à traduire les réflexions systémiques dans un quotidien concret, ce qui permet d'identifier les éléments dont doit se nourrir le débat collectif. C'est ce débat collectif qui permet de mettre en place des actions (de politiques publiques, d'adaptation des modèles économiques, de pilotage des décisions privées, de réflexions que cela implique sur la gouvernance) ayant un véritable effet quantitatif, à grande échelle.

Ainsi seulement serons-nous capable de choisir des orientations qui permettront à nos services numériques de préserver leurs effets physiques et sociétaux bénéfiques, sans négliger leurs effets connexes délétères et sans mettre en danger leur propre stabilité, aujourd'hui essentielle aux défis du XXI^{ème} siècle. **Relever le défi de se construire des dynamiques collectives résilientes et pertinentes de nos technologies numériques ne peut se passer d'un questionnement des modèles économiques régissant actuellement les évolutions de nos activités en ligne.**

- **Des politiques publiques à construire**

Les réflexions sociétales sur les usages se doivent d'être étayées et **systémiques**. Il est en effet indispensable, si l'on veut se construire un **système d'usages numériques pertinent et résilient**, de comprendre les dynamiques à l'œuvre au sein des différentes sphères (privées, familiales, professionnelles, éducatives, académiques) ainsi que la manière dont elles interagissent. Par exemple, déployer des tablettes numériques dans la sphère scolaire a un impact sur la construction des habitudes numériques des élèves (parce que ces outils reposent sur des designs et des contenus conçus pour développer une typologie bien précise d'usages, centrée sur la consommation continue et croissante d'informations). Ces comportements étant désormais une part structurante de nos quotidiens, cela aura inévitablement un effet sur la construction des habitudes dans les sphères privées.

Il est donc indispensable de réfléchir à nos usages numériques en termes de politique de santé publique, afin d'être en mesure de construire des palettes d'outils et d'actions non seulement adaptées à chaque sphère mais aussi cohérentes entre elles. **Sans réflexion de ce type et de ce niveau, nos politiques et stratégies de déploiement des outils numériques resteront les opportunités gâchées d'une transition numérique qui manquent ses objectifs** : nous aider à relever les défis physiques et sociétaux de ce siècle.

Ces politiques publiques, construites avec les acteurs de la santé publique et de la construction des usages et de leurs effets, constitueront la pierre angulaire du déploiement d'un système d'usages réfléchis :

- **Des outils pédagogiques et programmes de sensibilisation et de formation permettant aux acteurs collectifs (milieu scolaire, académique supérieur, administrations publiques) de construire de véritables stratégies de déploiement des outils numériques** : en identifiant les bénéfices attendus, en construisant les cadres permettant de rendre le déploiement pertinent et non délétère (notamment les innovations pédagogiques à construire, les besoins en formation etc.), en effectuant des actions de suivi des résultats afin de piloter l'évolution de ces cadres et des déploiements d'outils.
- **Des programmes de sensibilisation et des outils pédagogiques pour les individus en position d'éducation (parents et autres rôles éducateurs)** : afin de permettre aux sphères familiales de dimensionner et piloter la pénétration du numérique en leur sein afin d'en éviter les impacts négatifs.
- **Des programmes d'information adaptés aux entreprises et des outils de construction de bonnes pratiques pour tous les métiers** afin de rendre la culture numérique des entreprises et organisations adaptée aux enjeux.
- **Des leviers de régulation des designs** de captation de l'attention et des automatismes de consommation.
- **Des incitations et travaux initiés ou soutenus par les pouvoirs publics sur les modifications à opérer dans les modèles économiques des offres de services numériques** pour passer d'un paradigme d'évaluation centré sur l'intensification des usages, à un objectif compatible avec les contraintes de résilience physique et sociétale de nos systèmes numériques.

Conclusions

En octobre 2018, dans notre rapport « Pour une sobriété numérique », nous écrivions que « la tendance actuelle de surconsommation numérique dans le monde n'était pas soutenable au regard de l'approvisionnement en énergie et en matériaux qu'elle requerrait » (*The Shift Project*, 2018).

Alors que cette assertion apparaissait à l'époque comme étrange, voire provocatrice, elle est aujourd'hui de plus en plus admise par une grande partie de l'opinion⁸² mais également par les entreprises (le CIGREF a fait de la sobriété numérique un de ses axes stratégiques⁸³), les autorités administratives et politiques⁸⁴, voire une partie des acteurs-clés du numérique⁸⁵ et est régulièrement confirmée par les études quantitatives réalisées sur le sujet⁸⁶. Même si des déclarations de foi en la capacité intrinsèque de la technologie à résoudre les problèmes issus de la technologie continuent à s'observer, le ralentissement des gains d'efficacité énergétique dans la décennie à venir se profile et il devient de plus en plus clair que seule une modération de nos usages limitant ainsi la croissance des volumes numériques permettra de revenir à une trajectoire gérable.

L'appel que nous lançons à « **adopter la sobriété numérique comme principe d'action** » était donc – et reste – pleinement justifié.

Si cet appel a reçu un certain écho médiatique qui a, en retour, permis d'informer différents publics et de faire prendre conscience de la nécessité de ce changement de paradigme au sein de la société, il ne deviendra réellement audible par une majorité d'acteurs que s'il est relayé par des actions de **communication** d'envergure, notamment publiques et s'il s'incarne dans des **politiques**, elles aussi publiques.

Pour que ces actions de communication et que ces politiques aient un impact suffisamment rapide et significatif sur les individus, il est fondamental qu'elles s'appuient sur une compréhension précise des mécanismes comportementaux générant l'hyperconsommation numérique pour savoir identifier les leviers de changement.

C'est la raison pour laquelle nous avons souhaité consacrer une partie significative de ce rapport à la construction sociétale des usages numériques. La mise en évidence des mécanismes psycho-sociétaux à l'œuvre montre que **ce qui est en jeu n'est pas, en première instance, d'appliquer des « bonnes pratiques » individuelles mais plutôt de recouvrer et de conserver la maîtrise de nos interactions numériques à l'échelle collective**. Il y a donc tout un champ d'actions, notamment publiques, à développer et mettre en œuvre, de l'éducation initiale au numérique à la régulation de techniques de design en passant par des campagnes de prévention contre l'obésité numérique.

En ce qui concerne les structures organisées (entreprises, organismes publics, collectivités locales)⁸⁷, il est essentiel de leur donner des clés leur permettant **d'intégrer la dimension environnementale dans le pilotage stratégique et opérationnel de leurs initiatives numériques**.

Nous avons privilégié une approche systémique car il s'agit pour chaque organisation, quelle que soit sa taille, de **changer son approche du numérique et non pas seulement d'acquiescer et d'utiliser de nouveaux outils d'optimisation au sein de stratégies et de politiques qui demeureraient inchangées**.

Ce changement est une démarche d'entreprise à mener sous l'égide des directions générales et avec l'impulsion des directions du numérique, comme le Cigref le décrit dans le rapport de son groupe de travail sur la sobriété numérique⁸⁸. L'enjeu y est non seulement de réduire l'empreinte carbone des systèmes d'information, de le faire de la façon la plus complète possible⁸⁹, mais aussi d'appliquer cet objectif à l'ensemble des projets (significatifs) de numérisation.

Le cadre méthodologique que nous avons construit permet de **guider cette transformation et d'instaurer des modes de fonctionnement cohérents avec ce changement de paradigme au sein de l'entreprise**. A ce titre, ce cadre est complémentaire des démarches plus opérationnelles d'écoconception et de diffusion de bonnes pratiques.

⁸² <https://www.bva-group.com/sondages/numerique-et-environnement/>

⁸³ Selon le rapport d'activités 2018-2019 du Cigref / programme des travaux 2019-2020

⁸⁴ Par exemple, le Sénat dans son rapport d'information sur l'empreinte environnementale du numérique pour une transition numérique écologique, publié le 24 juin 2020

⁸⁵ Feuille de route sur l'environnement et le numérique du Conseil National du Numérique, publiée le 13 juillet 2020

⁸⁶ (GreenIT.fr, 2019) ; Further efficiency gains vital to limit electricity use of data, ING Economics department, novembre 2019 ; Powering the data revolution, HSBC Global Research, mai 2019 ; New perspectives on internet electricity use in 2030, Anders Andrae, juin 2020

⁸⁷ Désignées par commodité de langage sous le vocable « d'entreprises » ou « d'organisations » dans ce rapport

⁸⁸ A paraître fin octobre 2020

⁸⁹ En adoptant une approche comprenant les impacts dus au *scope 3*.

Déployer la sobriété numérique, c'est également pouvoir discriminer au sein des innovations reposant sur des technologies numériques celles qui recèlent un potentiel de gain environnemental de celles qui n'en ont structurellement pas la capacité, afin de prioriser les investissements en conséquence.

Ces innovations, souvent identifiées comme « **smart** », sont généralement présentées comme porteuses d'un gain énergétique ou environnemental significatif et font l'objet d'un marketing intensif et omniprésent, notamment auprès des collectivités locales.

Les analyses détaillées que nous avons conduites sur des solutions d'éclairage intelligent (« smart lighting ») ont conduit à l'élaboration d'un modèle (STERM⁹⁰) qui a permis de mettre en évidence l'impact non négligeable de la consommation énergétique de la couche numérique et notamment de l'énergie grise (consommée lors de la production des équipements constituant la couche numérique), la dépendance du bilan net à des comportements d'utilisation faiblement déterministes et à des conditions *ex-ante* relatives au degré de complexité du système à optimiser.

Sans prétendre ni à l'exhaustivité ni à l'universalité, cette approche permet de mettre en lumière la nécessité **de procéder à des bilans prévisionnels environnementaux** de ces projets dits « smart », sans se reposer sur leur simple dénomination. Elle montre également que dans bien des cas, **le bénéfice environnemental ne proviendra pas ultimement de la technologie employée mais des usages qui en découlent, des comportements des utilisateurs et donc de la capacité à mettre en place une gouvernance orientant ces comportements.**

Les réflexions et pistes de solutions que nous mettons ici à disposition des autorités publiques, des collectivités locales, des entreprises, utilisatrices ou fournisseurs de services numériques, pour déployer la sobriété numérique ne concernent pas uniquement les pays développés. La nécessité d'un **pilotage environnemental de la transition numérique** existe aussi au sein des pays en développement : bien que les contextes initiaux et les trajectoires de référence soient différents, les dynamiques régissant les usages et l'offre restent sensiblement similaires à celles des pays développés.

Nous travaillons à une mise à jour des scénarios prospectifs élaborés en 2018 (*The Shift Project*, 2018) afin d'éclairer les impacts potentiels des innovations technologiques en cours de déploiement (IoT, Intelligence Artificielle, *edge computing*, 5G notamment), dans le but d'aider à l'objectivation des débats de société qui s'enclenchent peu à peu autour d'elles.

Nous réfléchissons par ailleurs au lancement de nouvelles réflexions qui permettront de continuer l'élaboration d'une approche systémique des impacts environnementaux de la transition numérique, notamment autour de l'économie du numérique (modèles d'affaires en place, contribution à la croissance, modèles d'affaires alternatifs) et de couplages sectoriels de la transition numérique et de la transition environnementale.

Enfin, nous prendrons part aux débats publics qui s'engagent et se préparent, en France et en Europe, sur la place, le rôle et la finalité du numérique dans nos sociétés, en y apportant les éclairages issus de nos travaux.

⁹⁰ Smart Technologies Energy Relevance Model

Bibliographie

- ADEME. (2019). *Éclairage public : un gisement d'économies d'énergie*. <https://www.ademe.fr/collectivites-secteur-public/patrimoine-communes-comment-passer-a-l'action/eclairage-public-gisement-deconomies-denergie>. Consulté en 01/2019.
- ADEME. (s.d.). <https://communication-responsable.ademe.fr>.
- AFE. (2018). *Eclairage dans les collectivités: vous avez questions ?* Association Française de l'Eclairage.
- AIE (Agence Internationale de l'énergie). (2019). *World Energy Outlook (WEO)*. AIE. Récupéré sur <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018>
- ALEC Lyon, Hespul. (2017). *Guide des eco-gestes au bureau*. Agence Locale de l'Energie et du Climat, Métropole de Lyon. <https://s3.alec-lyon.org/uploads/2016/05/GUIDE-ECO-GESTES-AU-BUREAU-BAEP.pdf>.
- American Psychological Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders – Fifth Edition (DSM 5)*. ISBN: 978-0-89042-554-1.
- ANandTech. (2019). <https://www.anandtech.com/show/6805/philips-hue-automatedhome-lighting-gets-colorful/4>. Visited on 24/12/2019.
- Andrae, A., & Edler, T. (2015). On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030. *Challenges*, 117 - 157.
- ArchDaily. (2019). <https://www.archdaily.com/897277/how-to-determine-how-many-led-lumens-youll-need-to-properly-light-your-space>. Visited on 24/12/2019.
- Baton-Hervé, E. (2020). *Grandir avec les écrans ? Ce qu'en pensent les professionnels de l'enfance*. Eres. ISBN : 2749266041. Complété par une interview réalisée par L. Marraud. <https://elisabethbatonherve.com/>.
- BCG. (2019). *La vague responsable - Le nouveau défi des entreprises françaises*. Nov. 2019. Boston Consulting Group.
- Bihouix, Ph., Mauvilly, K. (2016). *Le désastre de l'école numérique*. Seuil.
- Birken, C. (2017). *Handheld screen time linked with speech delays in young children*. Presented at the 2017 Pediatric Academic Societies (PAS) Meeting, San Francisco, CA, 04-May-2017.
- Bol, D. et al. (2011). *Application-aware LCA of semiconductors: Life-cycle energy of microprocessors from high-performance 32nm CPU to ultra-low-power 130nm MCU*. Proceedings of the 2011 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology. IEEE. pp. 1–6.
- Bol, D. et al. (2013). *Sleep walker: A 25-MHz 0.4-V Sub-mm² 7-microW/MHz Microcontroller in 65-nm LP/GP CMOS for Low-Carbon Wireless Sensor Nodes*. Solid-State Circuits, IEEE Journal of. 48. 20-32. 10.1109/JSSC.2012.2218067.
- Bordage, F. (2018). *La société s'empare de la sobriété numérique*. <https://www.greenit.fr/2018/10/02/societe-sempare-de-sobriete-numerique/>.
- Bordage, F. (2019). *Ecoconception web : les 115 bonnes pratiques*. Eyrolles.
- Brockman P. E. et al. (2016). *Impact of TV on the quality of sleep in preschoolchildren*. *Sleep Med*, 20.
- Byeon H. et al. (2015). *Relationship between television viewing and langage delay in toddlers*. *PLoS One*, 10.
- Carter B. et al. (2016). *Association between portable screen-based media device access or use and sleep outcomes*. *JAMA Pediatrics*, 170.
- CCC. (2020). *Accompagner l'évolution du numérique pour réduire ses impacts environnementaux*. Convention Citoyenne pour le Climat. <https://propositions.conventioncitoyennepourleclimat.fr/objectif/accompagner-levolution-du-numerique-pour-reduire-ses-impacts-environnementaux/>.

- Chellavel Ganapathi K. et al. (2017). *A study on prevalence of myopia and its associated factors in school children of Salem, Tamil Nadu*. International journal of community medicine and public health. 2017 Aug ; 4(8). doi: <http://dx.doi.org/10.18203/2394-6040.ijcmph20173114>.
- Chiado L. M. et al. (2007). *Blood lead levels and specific attention effects in young children*. Neurotoxicol Teratol, 29.
- Chonchaiya W. et al. (2008). *Television viewing associates with delayed language development*. Acta Paediatrica, 97.
- Cisco. (2016). *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2015–2020*. https://www.cisco.com/c/dam/m/en_in/innovation/enterprise/assets/mobile-white-paper-c11-520862.pdf.
- CISCO. (2019). *Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022*.
- CNNumerique. (2020). *Feuille de route sur l'environnement et le numérique*. Conseil National du Numérique. <https://cnnumerique.fr/files/uploads/2020/CNNumerique - Feuille de route sur l'environnement et le numerique.pdf>.
- Credoc. (2019). *BAROMÈTRE DU NUMÉRIQUE 2019 - Enquête sur la diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française en 2019*. Paris: ARCEP, CGE et Mission société numérique.
- Cybersecurityventures. (2019). *Global Cybersecurity Spending Predicted To Exceed \$1 Trillion From 2017-2021*. <https://cybersecurityventures.com/cybersecurity-market-report/>.
- De Decker, K. (s.d.). *Low Tech Magazine*. <https://www.lowtechmagazine.com/2009/06/embodied-energyof-digital-technology.html>. Visited on 24/12/2019.
- Delannoy, I. (2017). *L'économie symbiotique – Régénérer la planète, l'économie et la société*. Actes Sud.
- Depolo, M. et al. (1998). *Socialisation au travail : proactivité et recherche d'informations*. Alain Baubion-Broye éd., Événements de vie, transitions et construction de la personne. ERES, 1998, pp. 159-174.
- DesignLifeCycle. (s.d.). <http://www.designlife-cycle.com/raspberry-pi>. Visited on 24/12/2019.
- Desmurget, M. (2013). *TV Lobotomie. J'AI LU*.
- Desmurget, M. (2019). *La Fabrique du Crétin Digital*. Seuil.
- Dieu Osika, S. (2018). *Les écrans : mode d'emploi pour une utilisation raisonnée en famille*. Hatier Grand Public. ISBN: 2401049703.
- Dr. Ducanda, A.-L. (2019). *Construction des usages numériques : explorer leurs effets sociétaux et sur la santé*. (E. m. Marraud, Intervieweur)
- Dubberley, M., Agogino, A. M., & Horvath, A. (2004). *Life-cycle assessment of an intelligent lighting system using a distributed wireless mote network*. *IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, pp. 122-127.
- Duflo, S. (2018). *Quand les écrans deviennent neurotoxiques: Protégeons le cerveau de nos enfants !* Marabout. ISBN: 2501124030.
- EDNA. (2019). *Total Energy Model for Connected Devices*. Report prepared for IEA 4E EDNA. June 2019.
- EPA . (s.d.). *Green engineering principles*. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/green-engineering/about-green-engineering#principles>.
- Fernandez, V. et al. (2014). *Télétravail et « travail à distance équipé » : quelles compétences, tactiques et pratiques professionnelles?* N°238, pp. 101-118.
- France stratégie. (2020). *La consommation de métaux du numérique : un secteur loin d'être dématérialisé*. <https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-2020-dt-consommation-metaux-du-numerique-juin.pdf>.
- Frick, T. (2016). *Designing for Sustainability*. O'Reilly Media, Inc. ISBN: 9781491935774.

- Gartner. (2018). *The Edge Completes the Cloud*. A Gartner Trend Insight Report.
- Gazzaley A., L. D. (2016). *The distracted Mind - Ancient Brains in a High-Tech World*. MIT press.
- Génération Numérique. (2017). *Les 11-18 ans et les réseaux sociaux*.
- Génération Numérique. (2019). *Etude 2019 sur les pratiques numériques des 11-18 ans*.
- Génération Numérique, C. (2019). *Les 11-18 ans et la protection de leurs données personnelles*.
- Google. (2019). *Google Environmental Report 2019*. <https://sustainability.google/reports/environmental-report-2019/>.
- GreenIT.fr. (2019). *Empreinte environnementale du numérique mondial*. Octobre 2019.
- GreenIT.fr. (2020). *Ecoconception numérique : un guide de 45 bonnes pratiques Green IT*. <https://www.greenit.fr/2020/03/10/ecoconception-numerique-un-guide-de-45-bonnes-pratiques/>.
- Greenspector. (2019). *Quels sont les meilleurs navigateurs web à utiliser en 2020*. <https://greenspector.com/fr/quels-sont-les-meilleurs-navigateurs-web-a-utiliser-en-2020/>.
- Gujar N. et al. (2011). *Sleep deprivation amplifies reactivity of brain reward networks, biasing the appraisal of positive emotional experiences*. Journal of Neuroscience 23 March 2011, 31 (12) 4466-4474; DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3220-10.2011>.
- Hache, E. &. (2019). CRITICAL RAW MATERIALS AND ENERGY TRANSITION: LITHIUM, COPPER, COBALT AND NICKEL A DETAILED BOTTOM-UP ANALYSIS. Dans I. A. Economics (Éd.), *42nd IAEE International Conference*. International Conference on Applied Energy (ICAE 2019). doi:10.13140/RG.2.2.20205.74727
- Hacquard, P. &. (2019). Is the oil industry able to support a world that consumes 105 million barrels of oil per day in 2025? (I. É. Nouvelles, Éd.) *Oil & Gas Science and Technology*, 74, 1-11. doi:10.2516/ogst/2019061
- Hallegate, S. (2009). *Strategies to adapt to an uncertain climate change*. Global Environmental Change 19.
- Hansen, M. e. (2019). *Low physical activity and higher use of screen devices are associated with myopia at the age of 16-17 years in the CCC2000 Eye Study*. Acta Ophthalmol. 2019 Sep 9. doi: 10.1111/aos.14242. [Epub ahead of print].
- Harrington, S. e. (2019). *Risk factors associated with myopia in schoolchildren in Ireland*. Br J Ophthalmol. 2019 Dec ; 103(12) : 1803-1809. doi: 10.1136/bjophthalmol-2018-313325.
- Himmelweit, H. et al. (1958). *Television and the child : an empirical study of the effects of television ont the young*. Londres, 522 p.
- Huawei. (2019). *5G Telecom Power Target Network whitepaper*. 5th Global ICT Energy Efficiency Summit. Sep. 2019.
- I4CE. (2017). *Trois notes sur la gestion des risques climatiques de transition par les acteurs financiers – Résumé pour décideurs*. <https://www.i4ce.org/download/gestion-risques-climatiques-financiers/>.
- IDC. (2017). *Global ICT Spending - Forecast*. <https://www.idc.com/promo/global-ict-spending/forecast>.
- IDC. (2017). *Global ICT Spending - Overview*. <https://www.idc.com/promo/global-ict-spending/overview>.
- IEA. (2016). *Energy Efficiency of the Internet of Things - Technology and Energy Assessment Report*. Prepared for IEA 4E EDNA April 2016.
- IEE. (2007). *Guide for Energy Efficient Street Lighting Installations*. Intelligent Energy - Europe (IEE). European Commission.
- iFixIt. (2019). <https://fr.ifixit.com/Vue+%5C%3%5C%89clat%5C%3%5C%A9e/Ikea+TR%5C%3%5C%85DFRI+G+ateway+Teardown/85936>. Visited on 24/12/2019.
- IKEA, bridge. (2019). <https://www.ikea.com/us/en/p/tradfri-gateway-white-00337813/>. Visited on 24/12/2019.

- IKEA, bulb. (2019). <https://www.ikea.com/be/fr/p/tradfri-ampoule-led-e27-806-lumensans-fil-a-variateur-dintensite-blanc-chaud-opalin-90408797/>. Visited on 24/12/2019.
- IKEA, sensor. (2019). <https://www.ikea.com/gb/en/p/tradfri-wireless-motion-sensorwhite-70429913/>. Visited on 24/12/2019.
- Intolo, P. (2019). *Pain and muscle activity of neck, shoulder, upper back, and forearm during touch screen tablet use by children*. *Work*. 2019;64(1):85-91. doi: 10.3233/WOR-192971.
- ITRES. (2019). <https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2018/08/>. Visited on 24/12/2019.
- ITRS. (2007). *International Technology Roadmap for Semiconductors – Environment, Safety and Health*. <https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2018/08/2007ESH.pdf>.
- Janelle, D., G. (1973). *Measuring human extensibility in a shrinking world*. *Journal of Geography*, Vol. 72, No 5, pp. 8-15. .
- Jarvenpaa, S., L., Lang, K., L. (2005). *Managing the paradoxes of mobile technology*. *Information Systems Management*, pp. 7-23.
- Jehel, S., Gozlan, A. (2019). *Les adolescents face aux images trash sur internet*.
- Kotter, J. (1996). *Leading change*. Harvard Business Review Press, 1996.
- Kotter, J. (s.d.). *8-Step Process for Leading Change*. <https://www.kotterinc.com/8-steps-process-for-leading-change/>.
- Kross E. et al. (2013). *Facebook use predicts declines in subjective well-being in young adults*. *PLoS One*, 8.
- Kumar T., M. M. (2017). *Life Cycle Assessment (LCA) to Assess Energy Neutrality in Occupancy Sensors*. Chakrabarti A., Chakrabarti D. (eds) *Research into Design for Communities*, Volume 2. ICoRD 2017. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 66. Springer, Singapore ; pp. 105-116.
- L'Obsevatoire de la Responsabilité Sociétale des Entreprises. (2011). *Guide : Pour un meilleur usage de la messagerie électronique dans les entreprises* . L'Orse. Octobre 2011.
- Laigaard, P. e. (2019). *Retinal arteriolar wall-to-lumen ratios at 16-17 years in the Copenhagen Child Cohort 2000 Study*. *Journal of Hypertension*. 2019 Dec 12. doi: 10.1097/HJH.0000000000002329. [Epub ahead of print].
- Laloux, F. (2014). *Reinventing Organizations. Vers des communautés de travail inspirées*, . éd. Diateino.
- Lardellier, P., Moatti, D. (2014). *Les ados pris dans la Toile. Des cyberaddictions aux techno-dépendances*. Paris, Éditions Le Manuscrit, Coll. « Addictions : Plaisir, Passion, Possession » p. 36.
- Lin, L. &. (2016). *Association between social media use and depression among U. S. young adults*. *Depression and anxiety*. 33(4). doi:10.1002/da.22466
- Lynn White, J. (1967, March). *The Historical Roots of Our Ecologic Crisis*. *Science*, 155(3767), 1203-1207. Récupéré sur <http://www.jstor.org/stable/1720120?origin=JSTOR-pdf>
- Markowitz, A. (2015). *Digitaler Burnout*. Droemer.
- Marrauld, L. . (2012). *De la conception d'une plateforme de télétravail virtualisée et unifiée : analyses socio-techniques du travail à distance équipé*. Thèse de doctorat, p. 327.
- Martirano, L. (2011). *A Smart Lighting Control to Save Energy*. *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems*. Vol. 1. IEEE. 2011, pp. 132–138.
- Masur, E. &. (2016, April). *Infants' background television exposure during play: Negative relations to the quantity and quality of mothers' speech and infants' vocabulary acquisition*. *First Language*, 36(2), 109–123.
- Meadows, D. (1999). *Sustainable Systems Lecture*. <http://donellameadows.org/sustainable-systems-videos/>.
- Meadows, D. (2008). *Thinking in Systems*. Chelsea Green Publishing. ISBN : 9781603580557.

- Microsoft. (2019). *Microsoft 2019 Data Factsheet: Environmental Indicators*. <https://aka.ms/Datafactsheetenvironmentalsustainability2019>.
- Ministère de l'économie, des finances et de la relance. (2019). *9 - PACTE : Redéfinir la raison d'être des entreprises*. <https://www.economie.gouv.fr/loi-pacte-redefinir-raison-etre-entreprises>.
- Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer. (2016). *Méthode pour la réalisation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre*. Version 4. Octobre 2016. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Guide%20m%C3%A9thodologique%20sp%C3%A9cifique%20pour%20les%20collectivit%C3%A9s%20pour%20la%20r%C3%A9alisation%20du%20bilan%20d%E2%80%99%C3%A9missions%20de%20GES.pdf>.
- MTES. (2019). *La neutralité carbone des entreprises*. Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire. 7 février 2019. <https://www.ecologie.gouv.fr/neutralite-carbone-des-entreprises>.
- MTES. (2020). *Pollution numérique : Brune Poirson recevra les opérateurs téléphoniques le jeudi 20 février 2020 à 14h au ministère de la Transition écologique et Solidaire*. <https://www.ecologie.gouv.fr/pollution-numerique-brune-poirson-recevra-operateurs-telephoniques-jeudi-20-fevrier-2020-14h-au>.
- MTES. (2020). *Stratégie Nationale Bas Carbone*. Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc>.
- Nikkelen, S. &. (2014). Media Use and ADHD-Related Behaviors in Children and Adolescents: A Meta-Analysis. *Developmental psychology*. 5., 2228-2241. doi:10.1037/a0037318
- OCDE. (2015). *Students, computers and learning : Making the connection (PISA)*. oecd.org.
- OSRAM Opto Semiconductors GmbH. (2009). *Life Cycle Assessment of Illuminants: A Comparison of Light Bulbs, Compact Fluorescent Lamps, and LED Lamps*.
- Pasquier, D. (2018). *Classes populaires en ligne : des « oubliés » de la recherche ?* Réseaux 2018/2-3 (n° 208-209), p. 9-23.
- Pempek, T. et al. (2014). *The Effects of Background Television on the Quantity and Quality of Child-Directed Speech by Parents*. *Journal of Children and Media*, vol. 8, no. 3, pp. 211–222, Jul. 2014.
- Philips, bridge. (2019). <https://www2.meethue.com/fr-be/p/hue-bridge/8718696511800>. Visited on 24/12/2019.
- Philips, bulb. (2019). <https://www2.meethue.com/fr-be/p/hue-white-ambiance-ampouleindividuelle-e14/8718696695203>. Visited on 24/12/2019.
- Philips, sensor. (2019). <https://www2.meethue.com/fr-be/p/hue-detecteur-de-mouvement/8718696743171>. Visited on 24/12/2019.
- Primark B. A. et al. (2009). *Association between media use in adolescence and depression in young adulthood*. *Archives of General Psychiatry*, 66.
- Ra C. K. et al. (2018). *Association of digital media use with subsequent symptoms of attention-deficit/hyperactivity disorder among adolescents*. *JAMA*, 320.
- Raman S. R. et al. (2018). *Trends in attention-deficit hyperactivity disorder medication use*. *Lancet Psychiatry*, 5.
- Reinsel, D., Gantz, J., Rydning, J. (2018). *Data Age 2025 – The Digitalization of the World, From Edge to Core*. An IDC Whit Paper, sponsored by Seagate, Nov. 2018.
- Rideout V. (2015). *The common sens census: media use by tweens and teens*. Common sens media.
- Rodgers, R.F. (2017). *Media Exposure in Very Young Girls: Prospective and Cross-Sectional Relationships With BMIz, Self-Esteem and Body Size Stereotypes*. *Developmental Psychology*. 53. doi: 10.1037/dev0000407.
- Rodhain, F. (2019). *La nouvelle religion du numérique. Le numérique est-il écologique ?*. Editions EMS et Libre & Solidaire, Paris, 2019, 130 p. .
- Ryan, P., Smith, T., & Wu, A. (2019). *Total energy models for connected devices*. IEA 4E EDNA.

- Rycroft, M. (2008). *V. Smil, Energy in Nature and Society: General Energetics of Complex Systems*. Surveys in Geophysics. 29. 67-69. 10.1007/s10712-008-9034-2.
- Salman, M., Easterbrook, S., Sabie, S., & Abate, J. (2016, August). Sustainable and smart: Rethinking what a smart home is. *ICT for Sustainability 2016*.
- Saxena, R. e. (2017). *Incidence and progression of myopia and associated factors in urban school children in Delhi: The North India Myopia Study (NIM Study)*. PLoS One. 2017 Dec 18 ; 12(12) : e0189774. doi: 10.1371/journal.pone.0189774. eCollection 2017.
- Sénat. (2020). *Rapport d'information sur l'empreinte environnementale du numérique*. 24 juin 2020. <http://www.senat.fr/rap/r19-555/r19-5551.pdf>.
- Shakya H. B. et al. (2017). *Association of Facebook use with compromised well-being*. Am J Epidemiol, 185.
- Shehabi, A. (2016). *United States Data Center Energy Usage Report*. p. 47. <https://eta.lbl.gov/publications/united-states-data-center-energy>.
- Sikder, A., M. et al. (2018). *IoT-enabled Smart Lighting Systems for Smart Cities*. Conference Paper. IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC), 2018. doi: 10.1109/CCWC.2018.8301744 .
- Société générale. (2020). *La réduction de notre impact carbone*. <https://www.societegenerale.com/fr/transition-energetique-engagements-climat/reduction-impact-carbone>.
- Strengers, Y., & Nicholls, L. (2017). Convenience and energy consumption in the smart home of the future: Industry visions from Australia and beyond. *Energy Research & Social Science*, 86-93.
- Takeuchi H. et al. (2015). *The impact of television viewing on brain structures”, Cerebral Cortex, 25*.
- Takeuchi, H. et al. (2016). *Impact of videogame play on the brain’s microstructures properties*. Molecular Psychiatry, 21.
- Tamana S. K. et al. (2019). *Screen-time is associated with inattention problems in preschoolers*. PLoS One, 14.
- Tanimura, M. (2007). *Television Viewing, Reduced Parental Utterance, and Delayed Speech Development in Infants and Young Children*. Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine, vol. 161, no. 6, p. 618, Jun. 2007.
- Taylor, E. (2015). *The environmental impact of smart grids communication systems: a case-study approach*. TFE, UCLouvain.
- Teschler, L. (2019). <https://www.powerelectronicstips.com/teardown-inside-ikeassmart-led-bulb/>. Visited on 24/12/2019.
- The Open Group® . (s.d.). *Standards internationaux d’architecture d’entreprise TOGAF® et ARCHIMATE®*. <https://www.opengroup.org/>.
- The Shift Project. (2016). *Les INDC et le budget carbone – Simulation de trajectoires d’émission compatibles avec le budget carbone +2°C*. Paris: https://theshiftproject.org/wpcontent/uploads/2017/12/note_danalyse_les_indc_et_le_budget_carbone_the_shift_project_0.pdf.
- The Shift Project. (2018). *[Lean ICT Materials] Forecast Model*. Paris: Groupe de travail "Lean ICT". Récupéré sur <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/10/Lean-ICT-Materials-Forecast-Model-2018.xlsx>
- The Shift Project. (2018). *Lean ICT – Pour une sobriété numérique*. Paris: Groupe de travail "Lean ICT". Récupéré sur <https://theshiftproject.org/article/pour-unesobriete-numerique-rapport-shift/>
- The Shift Project. (2018). *Lean ICT – Pour une sobriété numérique*. <https://theshiftproject.org/article/pour-unesobriete-numerique-rapport-shift/>.
- The Shift Project. (2019). *Climat : l’insoutenable usage de la vidéo en ligne*. Paris. Récupéré sur <https://theshiftproject.org/article/climat-insoutenable-usage-video/>

- The Shift Project. (2019). *Climat : l'insoutenable usage de la vidéo en ligne*.
- The Shift Project. (2019). *Scénarios énergie-climat : Évaluation et Mode d'emploi*. The Shift Project et Afep, Paris. Récupéré sur <https://theshiftproject.org/article/scenarios-energie-climat-evaluation-mode-emploi-rapport-shift/>
- Tisseron, S. (2011). *Intimité et extimité*. Paris: Seuil, "Communications". 2011/1 n° 88, p. 83-91. ISBN: 9782021045789. Récupéré sur <https://www.cairn.info/revue-communications-2011-1-page-83.html>
- Toh S.H. et al. (2019). *Mobile touch screen device use and associations with musculoskeletal symptoms and visual health in a nationally representative sample of Singaporean adolescents*. Ergonomics. 2019 Jun;62(6):778-793. doi: 10.1080/00140139.2018.1562107. Epub 2019 Apr 23.
- Twenge J. et al. (2017). *Increases in depressive symptoms, suicide-related outcomes, and suicide rates among U.S. adolescents after 2010 and links to increased new media screen time*. Clinical psychological science, 6(1) : 3-17. doi: 10.1177/2167702617723376.
- Twenge J. et al. (2018). *Decreases in psychological well-being among American adolescents after 2012 and links to screen time during the rise of smartphone technology*. Emotion. 2018 Sep ; 18(6) : 765-780. doi: 10.1037/emo0000403.
- Van Dam, S. (2013). *Smart energy management for households (TU Delft)*.
- Van den heuvel M. et al. (2019). *Mobile media device use is associated with expressive language delay in 18-month-old children*. Journal of developmental behavioural pediatrics, 40.
- Verduyn P. et al. (2015). *Passive Facebook usage undermines affective well-being : Experimental and longitudinal evidence* . Journal of Experimental Psychology : General, 144.
- Walsh J. J. et al. (2018). *Associations between 24 hour movement behaviours and global cognition in US children*. Lancet Child & Adolescent Health, 2.
- Wartella, E., Reeves, B. (1985). *Historical Trends in Research on children and the Media : 1900-1960*. Journal of communication, vol. 35, n°2, printemps 1985, pp. 118-133.
- Weiss M. D. et al. (2011). *The Screen Culture*. Attention Deficit Hyperactivity Disorder, 3.
- Williams, E., D., Ayres, R., U., Heller, M. (2002). *The 1.7 kilogram microchip: Energy and material use in the production of semiconductor devices*. Environmental science & technology 36.24, pp. 5504–5510.
- Winn, M. (1977). *The Plug-In Drug: Television, Children, And The Family*. Viking Penguin ed., ISBN : 0140076980.
- World Health Organization. (2018). *International Classification of Diseases – ICD-11*. <https://www.who.int/classifications/icd/en/>.
- Xu G. et al. (2018). *Twenty-years trends in diagnosed attention-deficit/hyperactivity disorder among us children and adolescents, 1997-2016*. JAMA Network Open, 1.
- Yoo S. S. et al. (2007). *The human emotional brain without sleep – a prefrontal amygdala disconnect*. Current Biology, 17, 2007, pp. R877-R878, doi : <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.08.007>.
- Youmatter. (2019). <https://youmatter.world/fr/definition/scope-1-2-3-definition/>. Visited on 24/12/2019.
- Yung, W., KC et al. (2018). *Carbon Footprint Analysis of Printed Circuit Board*. Environmental Carbon Footprints. Elsevier, pp. 365–431.
- Zengin-Akkus, P. et al. (2018). *Speech delay in toddlers: Are they only 'late talkers'?* Turk. J. Pediatr., vol. 60, no. 2, pp. 165–172.

Auteurs principaux

Hugues FERREBOEUF

Directeur du projet « Déployer la sobriété numérique » – *The Shift Project*

+ 33 (0) 6 18 44 88 21 | hugues.ferreboeuf@theshiftproject.org

Hugues Ferreboeuf a effectué la majeure partie de sa carrière professionnelle dans le secteur des technologies de l'information, dont plus de 15 ans à des postes de direction générale. Il a travaillé dans différents environnements, tels que de grandes entreprises, des entreprises à forte croissance et des organismes gouvernementaux et a également été entrepreneur, ayant créé 3 sociétés. Il est Ingénieur des Mines, diplômé de l'École Polytechnique et de Télécom ParisTech. Convaincu que nous vivons des changements majeurs qui exigent des actions décisives et rapides, il a maintenant choisi de mettre à profit son expérience en conseillant les entreprises et les organismes publics sur la façon de se transformer face aux transitions numérique, environnementale et sociétale en cours. Il est associé au sein de Virtus Management, société de conseil de direction et a rejoint par ailleurs le think tank The Shift Project fin 2016 où il dirige depuis lors le projet Lean ICT (ou comment rendre la transition numérique respectueuse de l'environnement). Auteur principal du rapport « Lean ICT – Pour une sobriété numérique » (*The Shift Project* 2018), il a coréalisé en juin 2020 une étude pour le Sénat sur l'évolution de l'empreinte carbone du numérique en France. Il est également conférencier en France et à l'étranger, et enseignant à Sciences Po Paris.

Maxime EFOUI-HESS

Coordinateur de projet – *The Shift Project* et Pilote de l'Axe 1 : « Analyse la pertinence énergétique des projets connectés » et co-pilote de l'Axe 3 : « Les usages numériques : une construction sociétale »

+ 33 (0) 6 35 13 08 37 | maxime.efoui@theshiftproject.org

Maxime Efoui-Hess a rejoint l'équipe du Shift pour travailler sur les technologies de l'information et de la communication. Ingénieur spécialiste du climat et de la modélisation, il est diplômé du parcours Energie, Transport, Environnement de l'ISAE-SUPAÉRO et du parcours Dynamique du Climat de l'Université Paul Sabatier à Toulouse et de l'École nationale de la météorologie. Il a travaillé sur les mécanismes physiques du développement caniculaire en climat futur en France et en Europe, au sein du Centre européen de recherche et de formation avancée en calcul scientifique (CERFACS), à Toulouse. Il est co-auteur avec Hugues Ferreboeuf du rapport « Lean ICT – Pour une sobriété numérique » (*The Shift Project*, 2018), et auteur principal du rapport « Climat : l'insoutenable usage de la vidéo en ligne » (*The Shift Project*, 2019).

Laurie MARRAULD

Cheffe de projet Santé – *The Shift Project* et Maître de conférence – EHESP

Co-pilote de l'Axe 3 : « Les usages numériques : une construction sociétale »

+33 (0) 6 10 97 69 72 | laurie.marraud@theshiftproject.org

Laurie Marraud est Maître de Conférences à l'École des Hautes Etudes en Santé Publique (EHESP), spécialisée sur la question des usages des technologies numériques en santé. Docteure en sciences de gestion, elle a réalisé sa thèse à Télécom ParisTech, avant d'intégrer le LGI de l'École Centrale de Paris et le CRG à l'École Polytechnique en tant que post-doctorante. Elle axe ses recherches actuelles sur les conséquences de l'introduction des TIC en santé dans un contexte de transition épidémiologique, démographique et socio-technique. Elle s'intéresse en particulier aux effets ambivalents des technologies en pratique. Elle collabore sur les questions de démocratie sanitaire et des TIC comme levier de l'engagement patient et de nouvelles organisations de soins. Elle a initié en 2019 au *Shift* un travail sur le système de santé, le climat et l'énergie, et contribue au groupe de travail sur l'impact environnemental du numérique, particulièrement sur l'Axe 3 « Construction des usages numériques » du rapport.

Céline LESCOP

Lead Data Architect – AXA

Pilote de l'Axe 2 : « Guider les organisations vers un Système d'Information durable »

+ 33 (0) 6 09 24 54 68 | lescop.celine@gmail.com

Céline Lescop est Lead Data Architect du groupe AXA. Ingénieure en informatique diplômée de l'École Nationale Supérieure d'Informatique pour l'Industrie et l'Entreprise (ENSIIE), elle a d'abord travaillé au sein de directions informatiques de l'industrie pharmaceutique (Galderma, AstraZeneca), où elle a pris en charge de bout en bout une grande diversité de projets informatiques. Elle a ensuite exercé en tant qu'architecte data dans conseil (ARISMORE), avant de rejoindre le secteur de l'assurance avec le groupe AXA, dont elle dirige l'architecture data. Depuis 2010, elle enseigne l'architecture data dans des écoles d'ingénieurs (ENSIIE, CentraleSupélec) et anime le groupe de travail « Information Architecture » dans le cadre de l'Architecture Forum de The Open Group depuis 2019 dans le but d'enrichir les standards disponibles sur l'architecture des données. Elle contribue au groupe de travail sur l'impact environnemental du numérique du Shift, pour lequel elle a coordonné les recherches sur l'Axe 2 « Réduire l'impact environnemental du Système d'Information » du rapport.

The Shift Project

The Shift Project est un think tank qui œuvre en faveur d'une économie libérée de la contrainte carbone. Association loi 1901 reconnue d'intérêt général et guidée par l'exigence de la rigueur scientifique, notre mission est d'éclairer et influencer le débat sur la transition énergétique en Europe.

Contact presse :

Jean-Noël Geist, Chargé des affaires publiques : + 33 (0) 6 95 10 81 91 | jean-noel.geist@theshiftproject.org

theshiftproject.org

