

-LEAN ICT- POUR UNE SOBRIÉTÉ NUMÉRIQUE

*RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL DIRIGÉ PAR HUGUES FERREBOEUF
POUR LE THINK TANK THE SHIFT PROJECT – OCTOBRE 2018*



Étude réalisée avec le soutien de l'Agence française de développement et de la Caisse des dépôts



Avant-propos

The Shift Project, think tank de la transition énergétique, a pour vocation de se saisir d'enjeux tout à la fois décisifs et délicats pour réussir cette 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 plus importants 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.

Le but : favoriser une maximisation de l'impact positif du Numérique sur l'environnement, et une minimisation de ses impacts négatifs. Au vu des nombreuses thèses contradictoires produites sur le sujet jusqu'ici, il nous a paru utile de chercher à aboutir à un examen aussi objectif que possible de l'ensemble de ces impacts, pour en tirer des recommandations pratiques et systémiques, en phase avec les objectifs de décarbonation.

Les conclusions et recommandations du groupe de travail sont destinées à tous les acteurs de la vie économique, sociale et politique, et contribueront à éclairer une question clé pour évoluer vers une société numérique durable.

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

Crédit photo de couverture : Carlos Irineu Da Costa

Remerciements

Hugues Ferreboeuf, directeur du groupe de travail « Lean ICT », tient à remercier chaleureusement les membres du groupe de travail :

Françoise Berthoud, Ingénieure de recherche en informatique au CNRS et directrice du GDS EcoInfo

Philippe Bihoux, Ingénieur spécialiste des métaux

Pierre Fabre, Expert sénior en télécommunications, AFD

Daniel Kaplan, Conseiller scientifique, FING

Laurent Lefèvre, Chercheur, INRIA

Alexandre Monnin, Chercheur en architecture web et philosophe, INRIA

Olivier Ridoux, Professeur des universités, IRISA et Université de Rennes 1

Samuli Vaija, Lead life cycle analyst and eco-design expert

Marc Vautier, Expert éco-conception et développement durable

Xavier Verne, Ingénieur spécialisé en architecture de grands projets informatiques

Alain Ducass, Ingénieur et Consultant, Energie et Numérique en Afrique

Maxime Efoui-Hess, Chargé de projet, *The Shift Project*

Zeynep Kahraman, Directrice des projets, *The Shift Project*

Ainsi que Matthieu Auzanneau, Directeur, Jean-Marc Jancovici, président, et les membres de l'équipe du think tank *The Shift Project* ;

les Shifters¹ ayant contribué aux travaux : Francis Charpentier, Guillaume Andrieu, Jean-Marc Laperrelle, Nathalie Dedryvère, Annabelle Borghini, Lilian Boyer ;

et les participants aux ateliers collaboratifs du 29 mars 2018 pour leurs commentaires sur le rapport intermédiaire distribué à cette occasion.

Le soutien de l'Agence Française de Développement et de la Caisse des Dépôts et Consignations, qui ont parrainé ce projet et nous ont également permis d'interagir avec leurs équipes, nous a été précieux.

¹ Les Shifters sont une association qui soutient *The Shift Project* : des bénévoles aux profils, expériences et compétences très variées, intéressés par la transition carbone de l'économie, qu'ils soient déjà actifs dans ce domaines ou non.

POUR UNE SOBRIÉTÉ NUMÉRIQUE

Résumé aux décideurs

du rapport du groupe de travail « Lean ICT » dirigé par Hugues Farreboeuf

CONTEXTE

L'Accord de Paris engage tous les États de la planète à sortir le plus vite possible des énergies fossiles. Celles-ci représentent 80 % de la consommation d'énergie mondiale, et sont responsables de l'essentiel des émissions anthropiques de gaz à effet de serre. **Tout accroissement de la consommation globale d'énergie rend plus difficile la réussite de ce défi historique vital : empêcher le chaos climatique.**

Le numérique étant reconnu comme un levier de développement économique et social, **la transition numérique apparaît comme incontournable** pour l'ensemble des pays et des entreprises, tandis que les objets et interfaces numériques irriguent peu à peu tous les aspects de la vie sociale. La transition numérique est aussi considérée comme un moyen de réduire la consommation d'énergie dans un grand nombre de secteurs (« IT for Green »), à tel point que l'on considère de plus en plus qu'il ne sera pas possible de maîtriser le changement climatique sans un recours massif au numérique.

Pourtant, **les impacts environnementaux directs et indirects (effets rebond) liés aux usages croissants du numérique sont systématiquement sous-estimés**, du fait de la miniaturisation des équipements et de « l'invisibilité » des infrastructures utilisées. Le risque est réel de voir se réaliser un scénario dans lequel des investissements de plus en plus massifs dans le numérique aboutiraient en fait à une augmentation nette de l'empreinte environnementale des secteurs numérisés - ce qui, en pratique, se constate déjà depuis plus d'une décennie.



CONCLUSIONS PRINCIPALES

Les effets systémiques mondiaux de la transition numérique actuelle restent pour l'instant fortement incertains, alors qu'ils sont souvent considérés comme positifs a priori. Avec la bonne réglementation, la transition numérique peut bien sûr aider à réduire la consommation d'énergie et de matières premières de manière sectorielle. Par ailleurs, l'efficacité énergétique des technologies digitales a effectivement très largement progressé. Mais les grandes tendances mondiales tous secteurs confondus dressent un tableau alarmant. L'explosion de l'impact environnemental du numérique peut et doit être évitée par la mise en œuvre de la « sobriété numérique ».

LA TENDANCE À LA SURCONSOMMATION NUMÉRIQUE N'EST PAS SOUTENABLE AU REGARD DE L'APPROVISIONNEMENT EN ÉNERGIE ET EN MATÉRIEL QU'ELLE REQUIERT

La transition numérique génère actuellement une augmentation forte de l'empreinte énergétique directe du numérique. Cette empreinte inclut l'énergie de fabrication et d'utilisation des équipements (serveurs, réseaux, terminaux). Elle est en progression rapide, de 9 % par an.

- La captation d'une part progressivement démesurée de l'électricité disponible accroît la tension sur la production électrique à l'heure où celle-ci peine à se décarboner.
- La part du numérique dans les émissions de gaz à effet de serre a augmenté de moitié depuis 2013, passant de 2,5 % à 3,7 % du total des émissions mondiales. La demande en métaux rares et critiques, également indispensables aux technologies énergétiques bas-carbone, est elle aussi croissante.
- L'explosion des usages vidéo (Skype, streaming, etc.) et la multiplication des périphériques numériques fréquemment renouvelés sont les principaux facteurs d'inflation.

L'INTENSITÉ ÉNERGÉTIQUE DE L'INDUSTRIE NUMÉRIQUE AUGMENTE MONDIALEMENT

Cette augmentation, de 4 % par an, est à contre-courant de l'évolution de l'intensité énergétique du PIB mondial, qui baisse actuellement de 1,8 % par an.

- La consommation d'énergie directe occasionnée par un euro de numérique a augmenté de 37 % par rapport à 2010.
- Cette évolution va à l'encontre des objectifs de découplage énergétique et climatique du PIB fixés par l'Accord de Paris. Le numérique s'illustre ainsi par une tendance exactement inverse à celle qui lui est généralement attribuée, à savoir dématérialiser l'économie.
- Les émissions de CO₂ du numérique ont augmenté depuis 2013 d'environ 450 millions de tonnes dans l'OCDE, dont les émissions globales ont diminué de 250MtCO₂eq.
- La contribution nette du numérique à la réduction de l'impact environnemental reste donc à démontrer, secteur par secteur, en prenant garde aux nombreux effets rebond.

LA CONSOMMATION NUMÉRIQUE ACTUELLE EST TRÈS POLARISÉE

Les profils de consommation numérique sont extraordinairement contrastés. En moyenne en 2018, un Américain possède près de 10 périphériques numériques connectés, et consomme 140 Gigaoctets de données par mois. Un Indien en possède un seul et consomme 2 Gigaoctets.

- La surconsommation n'est pas généralisée : elle est le fait des pays développés, pour lesquels l'enjeu majeur est de reprendre le contrôle de leurs usages.
- Les impacts attendus de la transition numérique sur la productivité et la croissance ne sont pas visibles dans les pays développés sur les 5 dernières années. Le taux de croissance de la zone OCDE reste stable autour de 2 % alors que la croissance des dépenses numériques est passée de 3 % à plus de 5 % par an.
- L'enjeu est de planifier et prioriser partout les investissements en s'assurant qu'ils servent efficacement les politiques sectorielles, sachant que les pays en développement en retireront le plus de gains.

L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE LA TRANSITION NUMÉRIQUE DEVIENT GÉRABLE SI ELLE EST PLUS SOBRE

Passer de l'intempérance à la sobriété dans notre relation au numérique permet de ramener l'augmentation de consommation d'énergie du numérique à 1,5 %, ce qui n'est que similaire à la tendance globale tous secteurs confondus et n'est pas compatible avec les objectifs de l'Accord de Paris.

- Notre scénario *Sobriety* est possible sans remettre en cause la transition numérique dans son principe même. Ainsi, dans ce scénario, le volume de données transitant dans les data centers 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 développés sont aujourd'hui proches de la saturation.
- Notre scénario *Sobriety* ne suffit pas lui tout seul à réduire l'empreinte environnementale numérique. Il permet simplement d'éviter son explosion. Sa réduction demandera des efforts supplémentaires.

UNE ANALYSE GLOBALE

The Shift Project a rassemblé un groupe d'experts pour étudier l'impact environnemental du numérique, dans le contexte de la « digitalisation », donc de l'augmentation rapide des flux de données et du parc installé de terminaux alors que les usages du numérique se multiplient.

- Les experts se sont intéressés aux **conséquences sur le dérèglement climatique**, sur la consommation d'énergie (production, utilisation) et sur l'approvisionnement matières premières (limites physiques, géopolitiques...).
- La définition retenue pour « le numérique » est large, cohérente avec celle aujourd'hui utilisée par des acteurs du secteur dans leurs approches prospectives.

Cette définition comprend : **réseaux** de télécommunication (d'accès et de transport, fixes, wifi et mobiles) ; **data centers** ; **terminaux** (ordinateurs personnels fixes et portables, tablettes, smartphones, téléphones portables traditionnels, « boxes », équipements audiovisuels connectés y compris les téléviseurs) ; les **capteurs IoT** (Internet of Things). Ce périmètre exclut les équipements numériques non communicants intégrés dans les automobiles ainsi que les composants numériques des chaînes de production industrielle.

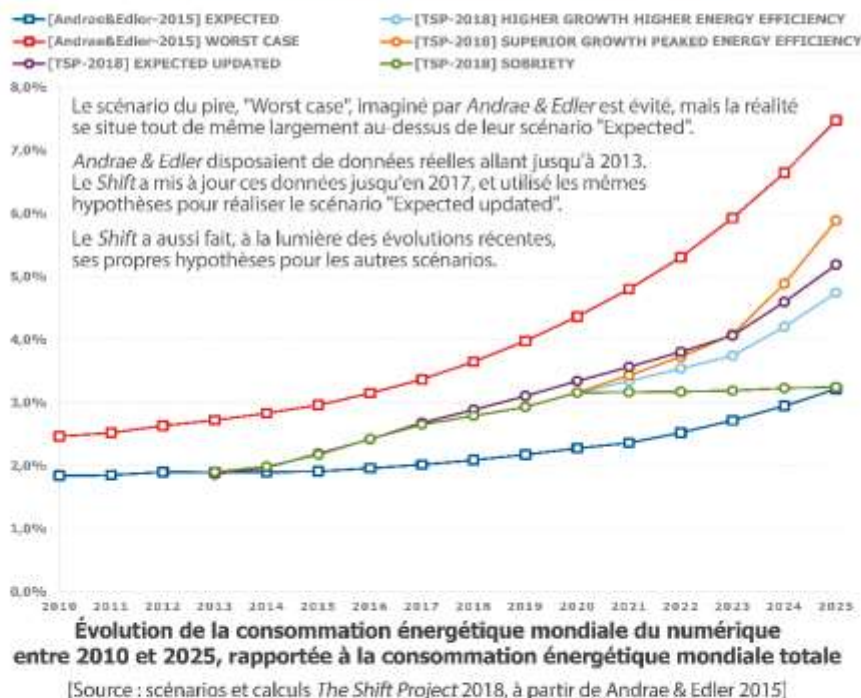
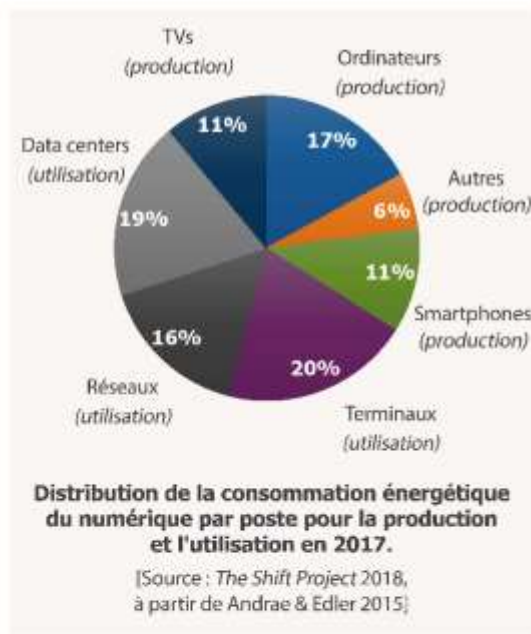
Le directeur du projet, Hugues Ferreboeuf, a rassemblé **des universitaires, des professionnels et des experts du secteur** : Françoise Berthoud (CNRS, GDS EcoInfo), Philippe Bihouix (exp. métaux), Pierre Fabre (AFD), Daniel Kaplan (FING), Laurent Lefevre (INRIA), Alexandre Monnin (INRIA, ESC-Clermont Origens Medialab), Olivier Ridoux (IRISA, Université de Rennes), Samuli Vajja (exp. ACV), Marc Vautier (exp. éco-conception), Xavier Verne (exp. grands projets informatiques),

Alain Ducass (exp. énergie et numérique en Afrique), Maxime Efovi-Hess (TSP), Zeynep Kahraman (TSP).

Le groupe de travail s'est réuni régulièrement depuis avril 2017 et a conduit des **travaux de modélisation et de consolidation des études** sur les impacts environnementaux du numérique. Près de 170 travaux ont été pris en compte, la plupart publiés entre 2014 et 2018.

Les conclusions rejoignent l'appel à **réduire les impacts environnementaux du numérique et mettre son potentiel d'innovation au service de la transition écologique** lancé par l'Admi, la FING, le WWF France et GreenIT.fr dans le « **Livre blanc Numérique et Environnement** » au printemps 2018. Il confirme aussi l'importance de la problématique soulevée en septembre 2018 par le rapport de la **Conférence des Nations unies sur le commerce et le développement**, qui titre « **les pays en développement pourraient avoir beaucoup à perdre face aux monopoles du numérique** ».

DES SCÉNARIOS POUR 2025



DES OUTILS DE PILOTAGE

Le Shift a élaboré des outils facilitant ce changement de paradigme. Destinés aux grandes organisations (administrations publiques, banques, grandes entreprises de services, etc.), ces outils gagnent à être couplés à des politiques publiques poursuivant les mêmes objectifs.

- UN RÉFÉRENTIEL ENVIRONNEMENTAL DU NUMÉRIQUE (REN)** qui donne, de manière accessible, des ordres de grandeur vérifiés sur l'énergie et les matières premières mobilisées par la production et l'utilisation de technologies numériques courantes.
- DES LEVIERS POUR LES DIRECTIONS** des grandes organisations, qui sont des mesures leur permettant d'agir sur la demande et la consommation de services numériques, sans que cela obère leur transition numérique.
- DES PRINCIPES DE POLITIQUES PUBLIQUES**, notamment destinés aux pays en développement, pour que ceux-ci retirent les bénéfices attendus de la transition numérique, y compris environnementaux.

POUR DÉPLOYER LA SOBRIÉTÉ NUMÉRIQUE

Une transition numérique sobre consiste essentiellement à acheter les équipements les moins puissants possibles, à les changer le moins souvent possible, et à réduire les usages énergivores superflus. La sobriété numérique est une approche « lean », soit au plus juste, qui est aussi source d'efficacité pour les organisations. Son principe étend au niveau sociétal la prise en compte des objectifs poursuivis par les approches techniques de type « Green IT », et confirme leur importance.

Adopter la sobriété numérique comme principe d'action. Réduire l'empreinte énergétique et environnementale du numérique passe par un retour à une capacité individuelle et collective à interroger l'utilité sociale et économique de nos comportements d'achat et de consommation d'objets et de services numériques, et à les adapter en conséquence.

Accélérer la prise de conscience des impacts environnementaux du numérique dans les entreprises et organisations publiques, au sein du grand public (étiquetage, communication, etc) et dans le monde de la recherche.

Intégrer les impacts environnementaux comme critères de décision dans les politiques d'achat et d'utilisation des équipements numériques, ceci dans les pays développés comme dans les pays en développement, dans les organisations publiques comme privées.

Permettre aux organisations de piloter environnementalement leur transition numérique en disposant de références et d'outils leur permettant de prendre en compte l'impact environnemental de la composante numérique des choix qu'elles envisagent, à différents niveaux de pilotage. En tirant parti de l'exemple du REN, appuyer la mise en place d'une base de données publique (sur le modèle de la base carbone de l'Ademe) pour permettre aux acteurs d'analyser leur impact environnemental.

Procéder à un bilan carbone des projets numériques, pour inclure cette donnée dans l'analyse. La pression de l'offre (GAFAM, BATX*), et les attentes de croissance du PIB associées à la numérisation ne peuvent servir de seuls juges dans la sélection des projets. De plus, les gains économiques, environnementaux et sociaux potentiels sont plus importants pour les pays en développement, car les infrastructures sont encore à créer.

Améliorer la prise en compte des aspects systémiques du numérique dans les secteurs clés que sont l'énergie, les transports, l'habitat et l'agriculture-alimentation. Développer une expertise autour de cette approche pour accélérer sa mise en œuvre.

Mettre en place ces mesures à l'échelle européenne et auprès d'organisations internationales, compte tenu de l'envergure mondiale et de la puissance économique des acteurs principaux du numérique.

*GAFAM (Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft), BATX (Baidu, Alibaba, Tencent, Xiaomi)

Table des matières

Avant-propos.....	2
Remerciements	3
Résumé aux Décideurs	4
Table des matières	6
Index des figures et des tableaux	8
Liste d’abréviations	9
Introduction : le Numérique, outil ou handicap pour la transition énergétique ?	10
a. Un outil pour limiter la consommation d’énergie...	10
b. ...ou bien une irrésistible évolution sociétale...	10
c. ...à l’origine de cascades incontrôlables d’effets rebond ?	11
I. Objectifs et démarche de travail du projet « Lean ICT »	12
a. Les trois objectifs du projet.....	12
b. La démarche du groupe de travail	12
II. Enjeux et constats	14
a. Observations méthodologiques.....	14
b. Analyse globale	14
III. Le Référentiel Environnemental du Numérique (REN)	27
a. Périmètre du Référentiel	28
b. Les principales hypothèses de calcul	28
c. La phase de production : extraction et production des équipements	29
d. La phase d’utilisation : équipements et actions numériques.....	31
e. Constats et tendances	34
f. Les fondations d’un référentiel universel pour le Numérique.....	35
IV. Sobriété numérique dans l’entreprise : exemples de leviers	36
a. Périmètre des recommandations	36
b. Méthodologie de calcul	36
c. Leviers n°1 & n°2 : Allonger la durée de vie des équipements professionnels.....	37
d. Levier n°3 : Augmenter la part de smartphones « pro-perso » dans le parc professionnel.....	38
e. Levier n°4 : Favoriser l’échange de documents bureautiques via une plateforme partagée.....	39
f. Levier n°5 : Mettre en place des métriques opérationnelles.....	40
V. Sobriété numérique et pays en développement	42
a. Le Numérique dans les pays en développement	42
b. Le Numérique et l’environnement.....	51
c. Préconisations.....	57
Conclusions	59

Annexes	63
a. Annexe 1 : Consommation énergétique du Numérique 2013-2025	63
b. Annexe 2 : Évolution du parc de terminaux communicants.....	64
c. Annexe 3 : Évolution du trafic des data centers et des réseaux	65
d. Annexe 4 : Note Méthodologique du « Référentiel Environnemental du Numérique ».....	67
e. Annexe 5 : Note méthodologique des « Leviers Entreprises ».....	73
f. Annexe 6 : Least Developed Countries (UN-OHRLLS).....	79
g. Annexe 7 : Principles for digital development	81
Références.....	82

Index des figures et des tableaux

Figures

Figure 1 : Évolution 2013-2025 de la consommation énergétique du Numérique en TWh	16
Figure 2 : Évolution 2010-2025 de la consommation énergétique du Numérique rapportée à la consommation énergétique mondiale	17
Figure 3 : Évolution 2013-2025 de la part du Numérique dans les émissions de GES	18
Figure 4 : Trajectoires d'émission compatibles avec une hausse de température limitée à 2°C	19
Figure 5 : Distribution de la consommation énergétique du Numérique par poste en 2017 (P : Production)	20
Figure 6 : Production annuelle des smartphones et croissance mondiale du parc	21
Figure 7 : Évolution des livraisons d'équipements domestiques connectés	21
Figure 8 : Évolution des parts de trafic 2016-2021	23
Figure 9 : Les principaux métaux des TICs	24
Figure 10 : Architecture d'un smartphone, petit extrait des métaux	24
Figure 11 : Taux de recyclage des métaux	25
Figure 12 : Extraction de l'indium dans le temps	26
Figure 13 : Pays produisant le plus de matières premières critiques	26
Figure 14 : Empreinte carbone des produits Apple à mesure que les spécifications augmentent	30
Figure 15 : Nombre de terminaux installés entre 2013 et 2020	34
Figure 16 : Croissance annuelle des parcs installés de terminaux entre 2016 et 2021	34
Figure 17 : Population mondiale non-connectée	43
Figure 18 : Access to ICTs by development status, 2017 estimates	43
Figure 19 : Internet adoption and connectivity gaps, by region (percentage of population using or connected to mobile broadband)	44
Figure 20 : WSIS Action lines – SDGs Matrix -at a glance- (1)	45
Figure 21 : WSIS Action lines – SDGs Matrix -at a glance- (2)	46
Figure 22 : Pénétration mobile en Inde	47
Figure 23 : Pénétration mobile en Afrique Sub-saharienne	47
Figure 24 : Smartphones as a percentage of total mobile connections excluding cellular IoT	48
Figure 25 : Investissements étrangers en infrastructures numériques	48
Figure 26 : Estimated investment costs of universal connectivity	49
Figure 27 : Le marché du travail est de plus en plus polarisé dans de nombreux pays en développement	50
Figure 28 : Policy framework for investment in the digital economy	52
Figure 29 : Disparité de l'accès à internet au sein des pays africains	56
Figure 30 : Intensité énergétique mondiale	59
Figure 31 : Évolution comparée des taux de croissance des dépenses ICT et du PIB	60

Tableaux

Tableau 1 : Consommation d'énergie mondiale du Numérique en TWh	15
Tableau 2 : Émissions de GES mondiales du Numérique en Gigatonnes de CO ₂ eq	17
Tableau 3 : Nombre d'équipements par habitant	22
Tableau 4 : Équipements numériques dans un foyer de 4 personnes dans un pays de l'OCDE	22
Tableau 5 : Métaux utilisés pour les technologies énergétiques bas-carbone	25
Tableau 6 : Référentiel Environnemental du Numérique (REN), phase de Production	29
Tableau 7 : Référentiel Environnemental du Numérique (REN), Phase d'utilisation – Equipements	32
Tableau 8 : Référentiel environnemental du numérique (REN), Phase d'utilisation – Actions numérique	32
Tableau 9 : Part de l'usage dans les émissions directes de GES	33
Tableau 10 : Quantification de l'effet des Leviers Entreprises n°1 et n°2, Synthèse	38
Tableau 11 : Quantification de l'effet du Leviers Entreprises n°3, Synthèse	39
Tableau 12 : Quantification de l'effet du Leviers Entreprises n°4, Synthèse	40
Tableau 13 : Quantification de l'effet du Leviers Entreprises n°5, Synthèse	41
Tableau 14 : Evolution 2017-2023 de la consommation énergétique du Numérique en Inde et en Afrique sub-saharienne	54
Tableau 15 : Nombre d'équipements numériques par habitant par région	55
Tableau 16 : Évolution et part de l'énergie consommée par le Numérique dans les PED	56
Tableau 17 : Répartition géographique de la consommation numérique et de ses émissions de GES	60

Liste d'abréviations

AIE / IEA	Agence internationale de l'énergie
BATX	Baidu, Alibaba, Tencent, Xiaomi
CAGR	Compounded annual growth rate
CNUCED	Conférence des Nations unies sur le commerce et le développement
CO ₂ eq	Désigne le potentiel de réchauffement global d'un gaz à effet de serre, calculé par équivalence avec une quantité de CO ₂ qui aurait le même potentiel de réchauffement global
DSI	Direction des Systèmes d'Information
DDD	Directions Développement Durable
GAFAM	Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft
GES / GHG	Gaz à effet de serre
ICT	Technologies de l'information et de la communication
IOT	Internet of Things
NDC	Nationally Determined Contribution
OCDE / OECD	Organisation de coopération et de développement économiques
ODD	Objectif de Développement Durable
PED	Pays en développement
PUE	Power Usage Effectiveness
REN	Référentiel Environnemental du Numérique
SDG	Sustainable Development Goals (ODD)
SSD	Solid State Disk
UN / ONU	Nations Unies
UNDP	Programme des Nations unies pour le développement

Introduction : le Numérique, outil ou handicap pour la transition énergétique ?

Afin d'empêcher le chaos climatique, l'accord international sur le climat signé à Paris en décembre 2015 engage toutes les nations de la planète à sortir le plus vite possible des énergies fossiles, responsables de l'essentiel des émissions anthropiques de gaz à effet de serre. Tout accroissement de la consommation globale d'énergie rend plus difficile la réussite de ce défi historique vital.

Dans ce contexte, le développement vorace en énergie des usages du Numérique, ainsi que ses interactions actuelles et potentielles avec les politiques climatiques, soulèvent de nombreuses questions.

Le Numérique est aujourd'hui considéré quasi unanimement comme le principal levier de développement économique et social :

« Croissance, emplois et services sont les avantages les plus importants qu'apportent les investissements dans le numérique. [...] les technologies numériques aident les entreprises à devenir plus productives ; les populations à trouver des emplois et élargir leurs possibilités, et les pouvoirs publics à fournir des services de meilleure qualité à tous. » (Banque mondiale, 2016)

Dans les pays développés où la transformation numérique des entreprises et du secteur public s'accélère, il est vu comme **« la » solution pour revenir à la croissance :**

« Le marché unique numérique pourrait apporter 415 milliards d'euros² à l'économie européenne et stimuler ainsi la création d'emplois, la croissance, la concurrence, l'investissement et l'innovation. Il pourrait élargir les marchés, offrant ainsi de meilleurs services à des prix plus avantageux, transformer les services publics et créer de nouveaux emplois. Il favoriserait la création de nouvelles entreprises et permettrait aux entreprises existantes de se développer et d'innover au sein d'un marché de plus de 500 millions de personnes. » (Commission européenne, 2018)

Dans les pays en développement, où l'investissement dans des infrastructures numériques apparaît aussi indispensable que celui consacré aux infrastructures électriques ou de transport, sa capacité de disruption apparaît comme **l'opportunité d'entrer sans retard dans la troisième révolution industrielle**, même s'il existe un risque de fracture sociale liée au degré d'appropriation de la technologie.

« Une étude McKinsey parue en novembre 2013 révélait ainsi l'extraordinaire potentiel du numérique sur le continent : en 2025, l'Afrique verrait internet contribuer 300 milliards à son économie, dont 75 milliards de commerces en ligne, avec également 300 milliards de gains de productivité dans de très nombreux secteurs stratégiques. » (Les Echos, 2016)

a. Un outil pour limiter la consommation d'énergie...

Le Numérique apparaît aussi souvent comme **un moyen de réduire la consommation d'énergie dans un grand nombre de secteurs** (concepts « IT for Green » ou « Green by IT »), en permettant une utilisation plus efficiente des ressources : énergie (smart grids, small grids), transport (mobilité connectée), industrie (usine 4.0), services (e-commerce), bâtiments (smart building), agriculture (smart farming, smart water), etc.

À tel point que **l'on considère de plus en plus qu'il ne serait pas possible de maîtriser le changement climatique sans un recours massif au Numérique.**

Par ailleurs, **l'empreinte matérielle du Numérique est très largement sous-estimée par ses utilisateurs**, compte tenu de la miniaturisation des équipements et de « l'invisibilité » des infrastructures utilisées. Ce phénomène est renforcé par la généralisation de l'offre de services dans le « Cloud », qui rend d'autant plus imperceptible la réalité physique des usages, et conduit à sous-estimer les impacts environnementaux directs du Numérique.

b. ...ou bien une irrésistible évolution sociétale...

L'équipement numérique (smartphone en particulier) est de plus en plus perçu comme un prolongement de soi, rendant ainsi d'autant plus problématique, voire douloureuse, la prise de conscience de ses impacts.

De ce point de vue, la transition numérique est intimement liée à une profonde mutation psycho-sociétale dont les effets sont d'ores et déjà bien observables sur les générations Y et Z chez qui, par exemple, « il y a aujourd'hui,

² Par an, soit presque 3 points de PIB

entre l'objet et son porteur, une intimité de type organique, un rapport de continuité dans lequel l'objet se montre plus directement efficace à assurer une jouissance directe que n'importe quel partenaire humain » (Gaillard, 2018).

c. ...à l'origine de cascades incontrôlables d'effets rebond ?

Les impacts bénéfiques indirects sur la consommation énergétique sont, quant à eux, souvent surestimés, du fait notamment de la non-prise en compte d'impacts négatifs indirects. Quant aux gains positifs liés aux progrès sur l'efficacité (en temps, ressources énergétiques, etc.), ils sont en très grande majorité surestimés du fait de la **non-prise en compte des « effets rebond³ », qui conduisent à augmenter la consommation des ressources dont on a augmenté l'efficacité ou la facilité d'usage...**

Il semble d'ailleurs qu'il n'existe pas d'exemple de technologie qui ait été introduite dans les cinquante dernières années et qui ait permis, par elle-même, une réduction nette de l'emploi de matériaux ou d'énergie dans les processus dans lesquelles elle s'intégrait :

« Le cadre d'analyse appliqué à 57 cas différents indique clairement que le progrès technologique ne s'est pas traduit par une dématérialisation « automatique » dans ces différents cas »

« L'effet rebond peut (et c'est en général le cas apparemment) surcompenser la dématérialisation directement induite par le progrès technologique. » (Magee & Devezas, 2017)

Le risque lié aux effets rebond est ici d'autant plus important que **les processus de transition énergétique et numérique ne sont que très rarement coordonnés au sein d'une même approche systémique.**

Le risque de voir se réaliser un scénario dans lequel des investissements de plus en plus massifs dans le Numérique aboutiraient à une augmentation nette de l'empreinte environnementale des secteurs numérisés est donc bien réel.

³ Identifié dès la révolution industrielle, l'« effet rebond », décrit comment l'amélioration du rendement énergétique d'un objet particulier (locomotive, ordinateur, etc.), débouche la plupart du temps non sur une diminution, mais au contraire sur un accroissement de la consommation d'énergie globale dédiée à la fonction technique que remplit cet objet (transport ferroviaire, informatique, etc.). De très nombreuses recherches ont confirmé cet état de fait. Voir en particulier (Santarius, Walnum, & Aall, 2016).

I. Objectifs et démarche de travail du projet « Lean ICT »

a. Les trois objectifs du projet

La définition de ce que peut recouvrir l'approche « Lean ICT » (« *lean* » signifie mince, allégé, optimisé, en anglais) apparaîtra à la lecture de ce rapport. Une telle définition, en termes de recommandations pratiques, constitue la finalité même du projet. On peut cependant indiquer déjà que **cette approche Lean ICT renvoie tout à la fois à un souci de sobriété dans la consommation de ressources et à la satisfaction au plus juste des besoins ciblés.**

Il est impossible d'évaluer des décisions sans mesurer leurs effets, ni de définir des objectifs ou des trajectoires sans être capable de décrire un état initial.

Afin d'éclairer les choix structurants que les décideurs politiques et économiques devront faire dans les trois à cinq ans à venir, pour **coordonner dans une même approche systémique les processus de transition énergétique et numérique**, *The Shift Project* s'est donné trois objectifs.

1. Objectif 1 : clarifier quantitativement les impacts

Clarifier les impacts environnementaux directs du Numérique via une approche quantitative, tant d'un point de vue global qu'en termes d'usages ou d'équipements caractéristiques, **à travers la publication d'un Référentiel Environnemental du Numérique (REN)**. Ceci afin de disposer de repères fiables, immédiatement mobilisables par des non-spécialistes, dans la prise de décisions collectives comme individuelles. Il est en effet aujourd'hui difficile de trouver ces données, sauf à se plonger dans un vaste ensemble épars de travaux universitaires et de notices techniques. Le besoin de disposer d'un tel ensemble de données de référence librement accessible a été d'ailleurs réaffirmé dans un Livre Blanc publié en mars 2018 (Iddri, Fing, WWF France, GreenIT.fr, 2018).

2. Objectif 2 : mettre en évidence des tendances et des leviers

Mettre en évidence de façon quantitative l'incidence, sur l'impact environnemental, des politiques d'investissement, des pratiques de gestion et des usages, au sein des entreprises d'une part, des pays en développement d'autre part. Il s'agit également d'**identifier simultanément les leviers d'amélioration** ainsi que leurs conséquences économiques, sociales et environnementales. Nous nous sommes volontairement concentrés sur ces deux seuls exemples d'écosystèmes numériques afin de pouvoir disposer d'analyses non seulement qualitatives, mais également quantitatives de l'efficacité de ces leviers.

3. Objectif 3 : proposer des actions

Mener des actions de promotion des bonnes pratiques d'un usage raisonné du Numérique, y compris au service d'initiatives plus globales de développement durable, auprès des décideurs politiques et économiques, en France et en Europe, ceci en coordination avec d'autres acteurs publics ou privés partageant les mêmes objectifs.

b. La démarche du groupe de travail

Un **groupe de travail d'une dizaine de personnes** – universitaires, professionnels et experts du secteur – s'est réuni régulièrement depuis avril 2017, donnant lieu à des travaux de modélisation et de consolidation des études, ainsi qu'à des échanges d'expertise. Ces réunions ont été complétées par des **interviews d'acteurs et d'experts** des problématiques concernées.

Certains points ont fait l'objet d'approfondissements par les « Shifters », le réseau de bénévoles partenaires du *Shift Project*. Nous avons également recouru, autant que de besoin, à l'avis d'autres groupes de travail du *Shift Project*.

Ce travail s'appuie sur une **bibliographie importante : près de 170 travaux**, la plupart publiés entre 2014 et 2018 (nous nous sommes concentrés sur cette période, compte tenu du rythme d'évolution du secteur, des usages et des technologies numériques), une majorité étant des articles scientifiques ou des études produits par des organismes publics.

Nous avons privilégié les articles citant des sources primaires d'information et décrivant en détail leur méthodologie de calcul.

En effet, nous nous sommes rapidement aperçus qu'une partie conséquente de la littérature sur le sujet reprenait des chiffres issus de documents antérieurs, très souvent sans les croiser avec d'autres, et sans les assortir de précautions sur leurs limites de validité.

Ces limites pouvant venir :

- d'une ancienneté trop importante ;
- du fait que les chiffres sont le résultat d'un modèle, reposant forcément sur des hypothèses simplificatrices et pouvant elles-mêmes devenir obsolètes ;
- de la taille et des spécificités de l'échantillon lorsqu'il s'agit de chiffres issus de mesures.

À noter d'ailleurs qu'il existe peu de chiffres globaux (à l'échelle d'un pays par exemple) issus de mesures, et que les divergences observées d'une étude à l'autre viennent de l'étape de modélisation ou du périmètre considéré.

La présence insuffisante de tels chiffres, donnant prise à des perceptions erronées, est d'ailleurs une composante intégrale de la problématique de notre étude.

La publication de ce rapport intervenant en octobre 2018, elle nous permettra d'interagir dans les semaines qui viennent avec d'autres acteurs explorant les interactions entre le Numérique et l'environnement, en France et en Europe, à quelques semaines de la COP 24.

II. Enjeux et constats

a. Observations méthodologiques

Compte-tenu de la rapidité des évolutions technologiques, les frontières du Numérique sont mouvantes et nous en avons retenu une définition assez large, cohérente avec celle aujourd'hui utilisée par des acteurs de référence du secteur numérique dans leurs approches prospectives (Cisco, Gartner etc.).

Le périmètre des équipements (et des usages associés) que nous avons retenu pour le calcul de l'empreinte énergétique et environnementale est donc le suivant :

- Réseaux de télécommunication (d'accès et de transport, fixes, wifi et mobiles)
- Data centers
- Terminaux : ordinateurs personnels (fixes et portables), tablettes, smartphones, téléphones portables traditionnels, « boxes », équipements audiovisuels connectés (y compris les téléviseurs connectés)
- Capteurs IoT (Internet of Things)⁴

Ce périmètre exclut les équipements numériques non communicants intégrés dans les automobiles ainsi que les composants numériques des chaînes de production industrielle.

Pour tous ces équipements, **nous prenons en compte la phase de production et la phase d'utilisation.**

Nous n'avons pas quantifié les impacts liés à la phase de fin de vie, par manque de données fiables notamment à cause de la faible proportion d'équipements pris en charge dans les filières de traitement (15% dans le monde, (Baldé et al., 2015)). Cette situation est préoccupante puisqu'elle résulte non-seulement en une perte de matériaux, mais également en une pollution des sols croissante et largement ignorée, même si cette dernière est localisée aux sites de production et aux sites de traitement inadaptés, ou encore aux décharges sauvages de déchets.

Le périmètre de nos analyses est d'abord mondial, sachant par ailleurs que nous les détaillons sur un plan européen et/ou français, lorsque la granularité des sources primaires d'information le permet.

b. Analyse globale

1. Consommation énergétique : une croissance problématique

Comme nous l'avons mentionné en introduction, **il n'existe pas de chiffres globaux** issus de mesures (même à l'échelle d'un pays) de la consommation d'énergie induite par les usages du Numérique. Les estimations disponibles sont obtenues soit par projection de mesures réalisées sur des échantillons (par exemple, un ensemble de data centers), soit par utilisation de modèles plus ou moins sophistiqués, mais détaillant rarement l'ensemble des hypothèses adoptées ; en outre, le périmètre retenu dans les études disponibles comme étant celui du Numérique est variable.

Nous avons choisi de **nous appuyer sur un modèle développé par Andrae et Edler** en 2015 (Andrae & Edler, 2015) pour quatre raisons principales :

- le périmètre adopté est similaire à notre définition du Numérique et ce périmètre est mondial ;
- l'article est un article scientifique ayant fait l'objet d'une « peer review » avant publication ;
- l'ensemble des hypothèses utilisées et des formules de calcul est explicité ;
- la granularité du modèle est suffisante pour faire des études de sensibilité sans que son niveau de complexité empêche une identification claire des paramètres dimensionnant.

L'étude d'Andrae et Edler élabore des **scénarios d'évolution de la consommation énergétique du Numérique de 2010 à 2030** :

- « **best case** » : les gains d'efficacité énergétique (des équipements, des plateformes technologiques) s'accroissent et la croissance du trafic ralentit ;
- « **expected case** » : les gains d'efficacité énergétique et le taux de croissance du trafic sont conformes à l'historique 2010/2013 ;
- « **worst case** » : les gains d'efficacité énergétique sont moindres et la croissance du trafic s'accroît.

⁴ L'internet des objets, ou IdO (en anglais Internet of Things, ou IoT) est l'infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution (Union Internationale des télécommunications, 2012).

Nous avons souhaité dans un premier temps actualiser le point de passage en 2017 sur la base de données à jour, relatives aux paramètres dimensionnants. Puis nous avons mis à jour les prévisions en nous limitant à un horizon 2025.

Nous avons donc mis à jour les données de trafic et de parcs installés à partir de deux rapports publiés annuellement par Cisco :

- *Cisco Global Cloud Index, Forecast and Methodology, Whitepaper* (Cisco, 2018) décrivant les caractéristiques qualitatives et quantitatives des flux de données traités dans les data centers de l'année précédant le rapport à un horizon de 5 ans ;
- *Cisco The Zettabyte era, Trends and Analysis, Whitepaper* (Cisco, 2017a) décrivant les caractéristiques qualitatives et quantitatives des flux de données écoulés par les réseaux de télécommunication et des parcs de terminaux connectés, de l'année précédant le rapport à un horizon de 5 ans.

En ce qui concerne la production de terminaux, nous nous sommes appuyés sur les chiffres publiés trimestriellement par Gartner⁵ et IDC (International Data Corporation)⁶, le site de statistiques Statista⁷, et nous avons actualisé les statistiques de consommation globale (tous secteurs) d'électricité à partir de la base de données *Headline Energy Data 2018* de l'Agence internationale de l'énergie (International Energy Agency (IEA), 2018).

Enfin, nous avons défini quatre scénarios pour établir nos prévisions 2025 :

- « **Expected updated** » : nous avons gardé le même rythme de gain d'efficacité énergétique que dans le scénario « expected case », et nous avons actualisé les données de trafic uniquement sur la base des chiffres fournis par Cisco, en prolongeant les tendances au-delà de 2021.
- « **Higher growth higher EE** » : nous avons fait l'hypothèse que l'efficacité énergétique s'améliore plus rapidement à partir de 2015 et nous avons actualisé les données de trafic sur la base de l'historique fourni par Cisco et en appliquant aux prévisions d'ici 2025 le taux de croissance historique, qui s'avère plus important que dans le scénario précédent.
- « **Superior growth peaked EE** » : variante du scénario précédent, il prend en compte une légère augmentation de la croissance du trafic après 2020 par rapport à celui-ci et un pic des gains d'efficacité énergétique en 2020, notamment dans les data centers. Cette hypothèse s'appuie sur les craintes de plafonnement de la performance énergétique une fois appliquées toutes les bonnes pratiques (United States Data Center Energy Usage Report, 2016, page 47).
- « **Sobriety** » : identique au scénario "Higher growth higher EE" jusqu'en 2020, puis ralentissement de la croissance du trafic et de la production permis par la mise en œuvre de pratiques de sobriété. Ce scénario intègre également une décélération des gains d'efficacité énergétique des data centers après 2020 afin de tester la robustesse de l'approche.

Il en ressort que **la consommation énergétique du Numérique dans le monde augmente d'environ 9% par an** (période 2015 à 2020), une tendance largement supérieure au scénario moyen « expected case » prévu par Andrae et Edler (4%) et à peine inférieure à leur scénario catastrophe « worst case » (10%). Ce taux de croissance correspond à un doublement en 8 ans et est appelé à augmenter dans tous les scénarios n'intégrant pas un changement volontariste dans les pratiques de consommation (trafic, terminaux).

Consommation d'énergie en Twh	2015	2020	2025	CAGR ⁸ 2015/2020	CAGR 2020/2025
Expected - 2015	2312	2878	4350	4,5%	8,7%
Worst - 2015	3677	5976	12 352	10%	15,5%
Expected updated	2389	3834	6254	9,9%	10,2%
Higher growth higher EE	2373	3622	5716	8,9%	9,5%
Superior growth peaked EE	2373	3622	7096	8,9%	14,5%
Sobriety	2373	3622	3909	8,9%	1,6%

Tableau 1 : Consommation d'énergie mondiale du Numérique en TWh

[Source : [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produit par The Shift Project à partir des données publiées par (Andrae & Edler, 2015)]

⁵ <http://www.gartner.com>

⁶ <http://www.idc.fr>

⁷ <https://fr.statista.com/>

⁸ Compounded Annual Growth Rate, (ou taux de croissance composé en français). Ex : une somme qui passe de 100 à 121 en deux ans a cru (CAGR) de 10% l'an.

La part du Numérique dans la consommation finale d'énergie (elle-même en croissance de 1,5% par an) aura ainsi augmenté de presque 70% entre 2013 et 2020.

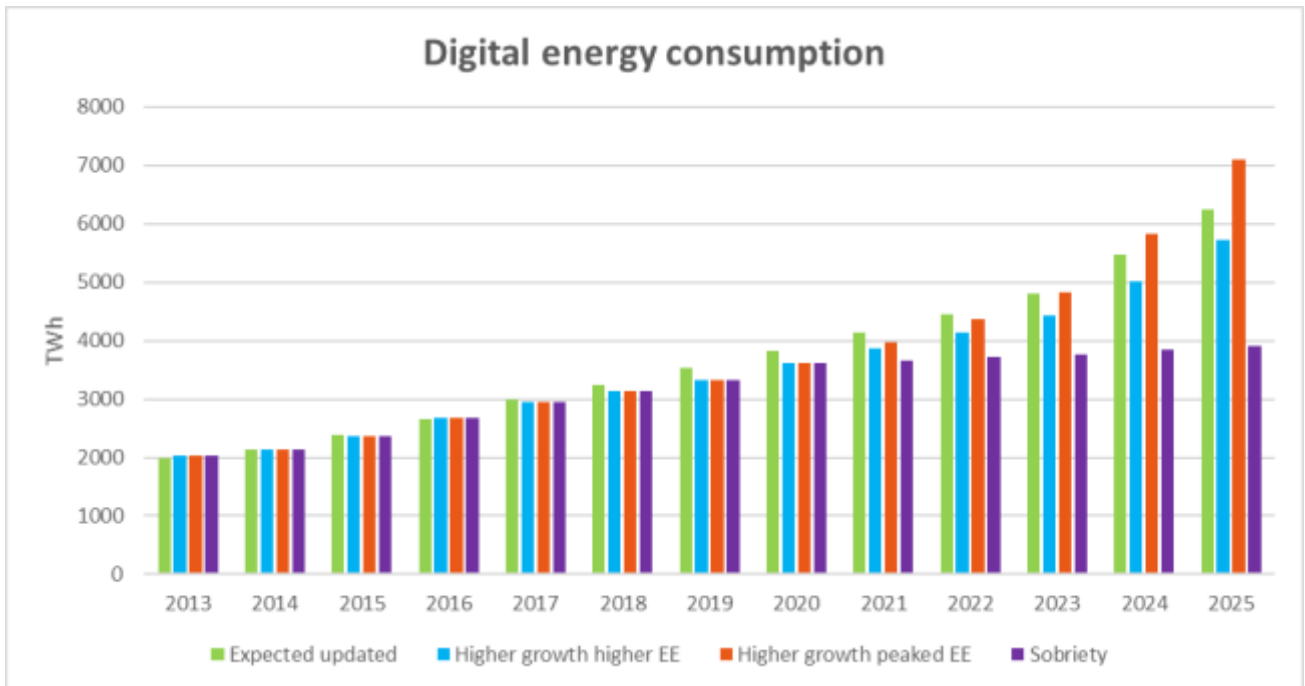


Figure 1 : Évolution 2013-2025 de la consommation énergétique du Numérique en TWh

[Source : [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produit par The Shift Project à partir des données publiées par (Andrae & Edler, 2015)]

En rapportant la consommation énergétique du Numérique à la consommation mondiale d'énergie (elle-même en croissance de 1,5 % par an), **cette proportion (désignée ici par RatioE) passe de 1,9% en 2013 à 2,7% en 2017, et atteindra 3,3% en 2020.**

Compte tenu de la dynamique actuelle de la consommation et de son inertie, il sera à peu près impossible de contenir le RatioE en-dessous de ce niveau à cette échéance.

Concernant la période 2020 à 2025, la comparaison des différents scénarios montre l'apparition de bifurcations :

- Une **accélération** de la croissance lorsque l'on prolonge les tendances de consommation (trafic, terminaux) et d'efficacité énergétique (réseaux et data centers), menant à un RatioE supérieur à **4,5% en 2025.**
- Une **explosion** de celle-ci si les progrès en matière d'efficacité énergétique ralentissent. Or, ce risque est réel car les technologies actuelles approchent de leurs limites et les technologies futures (processeurs quantiques par exemple) ne seront pas industrialisées à cette échéance. Dans ces conditions, un RatioE de **6% en 2025** est probable.
- Une **stabilisation** de la consommation d'énergie par le Numérique si nous parvenons à maîtriser nos pratiques de consommation (plus de sélectivité dans les usages vidéo, durée de conservation des smartphones un peu allongée), et ce malgré une concrétisation du risque de moindre augmentation de l'efficacité énergétique des infrastructures. Dans ces conditions, la consommation d'énergie n'augmente que de 1,5% par an et le RatioE reste de l'ordre de **3,2% jusqu'en 2025.** Or, il ne s'agit en aucun cas dans ce scénario de museler la transition numérique : la croissance du trafic reste très élevée (17% dans les data centers, 25% sur les réseaux mobiles) et les achats de terminaux soutenus (1,5 milliards de smartphones vendus en 2025, soit le niveau de 2017).

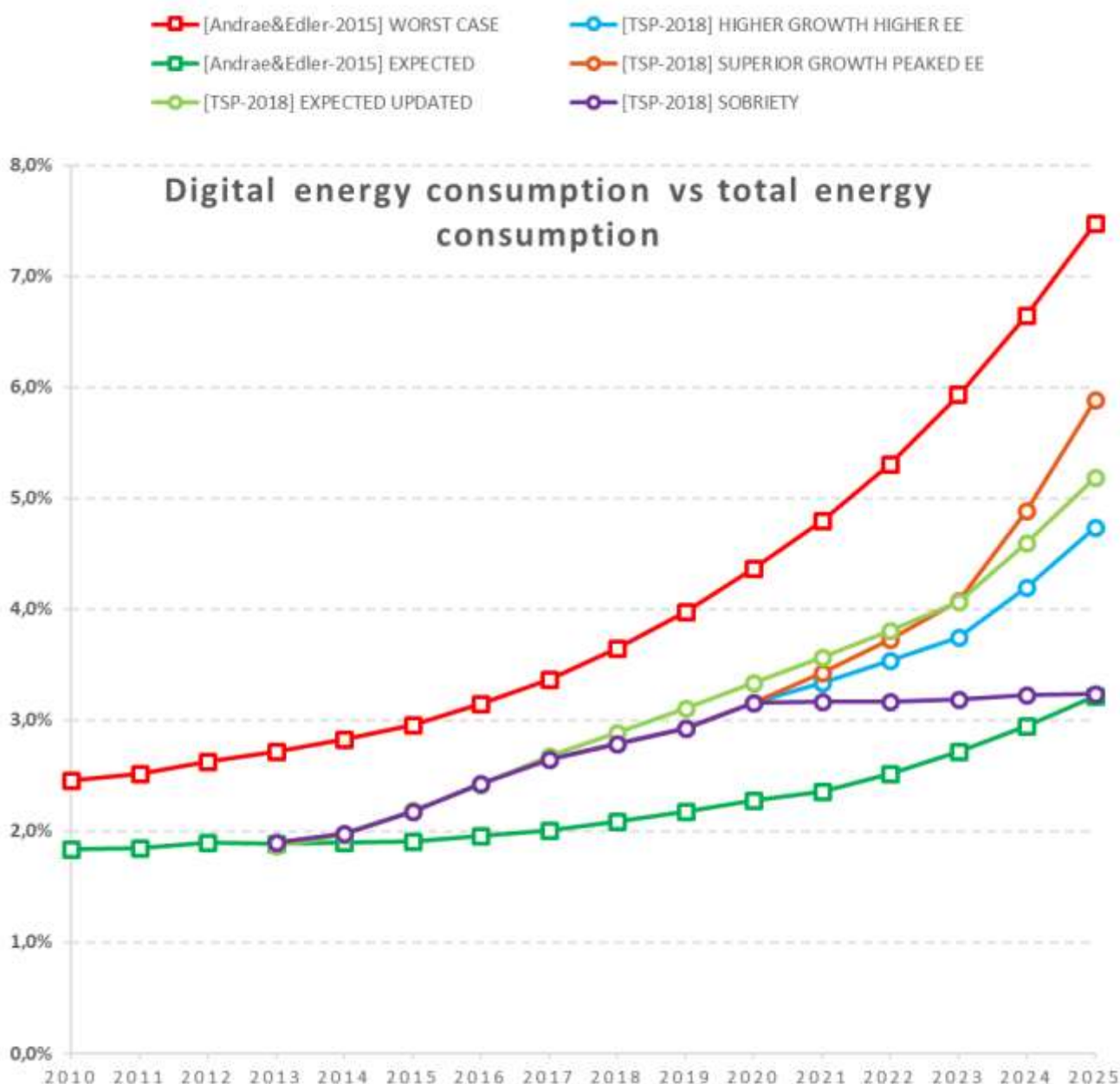


Figure 2 : Évolution 2010-2025 de la consommation énergétique du Numérique rapportée à la consommation énergétique mondiale⁹
 [Source : [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produit par The Shift Project à partir des données publiées par (Andrae & Edler, 2015)]

Compte tenu du mix électrique mondial, la part d'émissions de **gaz à effet de serre (GES)** attribuable au Numérique passerait ainsi de **2,5% en 2013 à 4% en 2020** (2,1 Gt) selon notre estimation.

Émissions de GES en GtCO ₂ eq	2015	2020	2025	CAGR 2015/2020	CAGR 2020/2025
Expected - 2015	1,4	1,7	2,5	4%	8%
Worst - 2015	2,3	3,6	7,6	9,4%	16%
Expected updated	1,5	2,3	3,6	9,2%	9,9%
Higher growth higher EE	1,5	2,1	3,3	8%	9,2%
Superior growth peaked EE	1,5	2,1	4,1	8%	14%
Sobriety	1,5	2,1	2,3	8%	1,2%

Tableau 2 : Émissions de GES mondiales du Numérique en Gigatonnes de CO₂eq
 [Source : [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produit par The Shift Project à partir des données publiées par (Andrae & Edler, 2015)]

⁹ Mise à jour par The Shift Project pour "Expected Updated", "Higher growth higher EE", "Superior growth peaked EE" et "Sobriety"

Ce chiffre est du même ordre de grandeur que ceux relatifs à des secteurs réputés beaucoup plus consommateurs d'énergie carbonée et dont l'empreinte matérielle est réputée bien plus grande : la part d'émissions de GES des véhicules légers (automobiles, motos...) est d'environ 8% en 2018, et celle du transport aérien civil d'environ 2% en 2018. Toujours à titre de comparaison, **le Numérique devrait émettre en 2020 autant de CO₂ que l'Inde en 2015¹⁰, pour la totalité de son milliard trois cent millions d'habitants consommant essentiellement des énergies fossiles.**

Plus préoccupant encore est le **taux de croissance d'environ 8% des émissions de GES dues au Numérique.** En effet, cette croissance doit s'analyser dorénavant au regard des objectifs de réduction des émissions de GES tels que définis lors de la COP 21. Or, alors que l'on peut espérer une baisse graduelle des émissions de GES totales à court terme (2020, par exemple), la part du Numérique dans ces émissions va continuer à augmenter et pourrait **doubler d'ici 2025 pour atteindre 8%.**

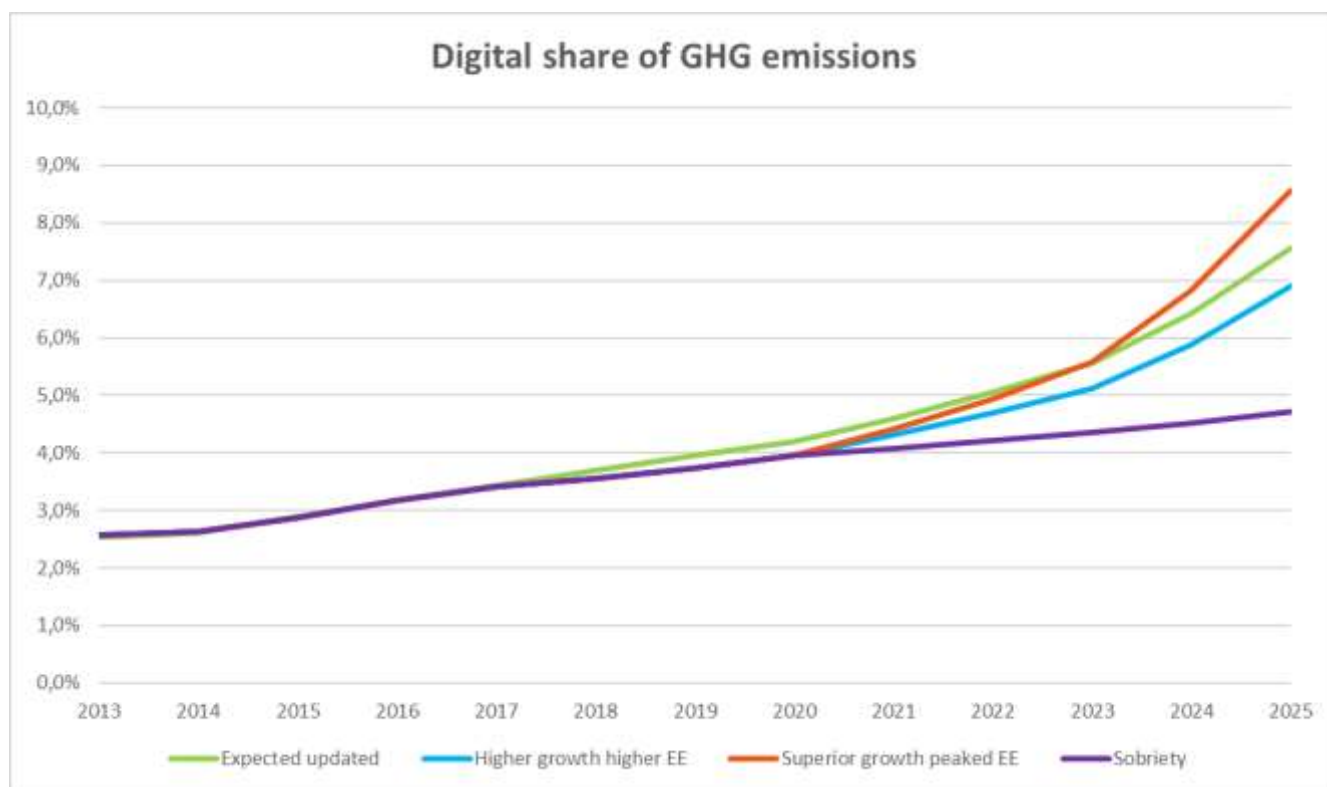


Figure 3 : Évolution 2013-2025 de la part du Numérique dans les émissions de GES

[Source : [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produit par The Shift Project à partir des données publiées par (Andrae & Edler, 2015)

Une autre façon de se représenter la magnitude du risque inhérent à cette situation est de se focaliser sur la trajectoire de réduction des émissions de GES globales nécessaire pour contenir l'augmentation de température moyenne à 2 degrés d'ici 2100.

The Shift Project a montré qu'il faudrait au moins réduire de 5% par an nos émissions de GES à partir de 2018 pour atteindre ces objectifs (voir Figure 4), ce qui représenterait 2,5 GtCO₂eq en début de période, et un effort de réduction cumulée d'environ 11 GtCO₂eq sur les cinq premières années, soit jusqu'en 2023.

¹⁰ (BP, 2017) *Statistical Review of World Energy 2017*. Récupéré sur <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>

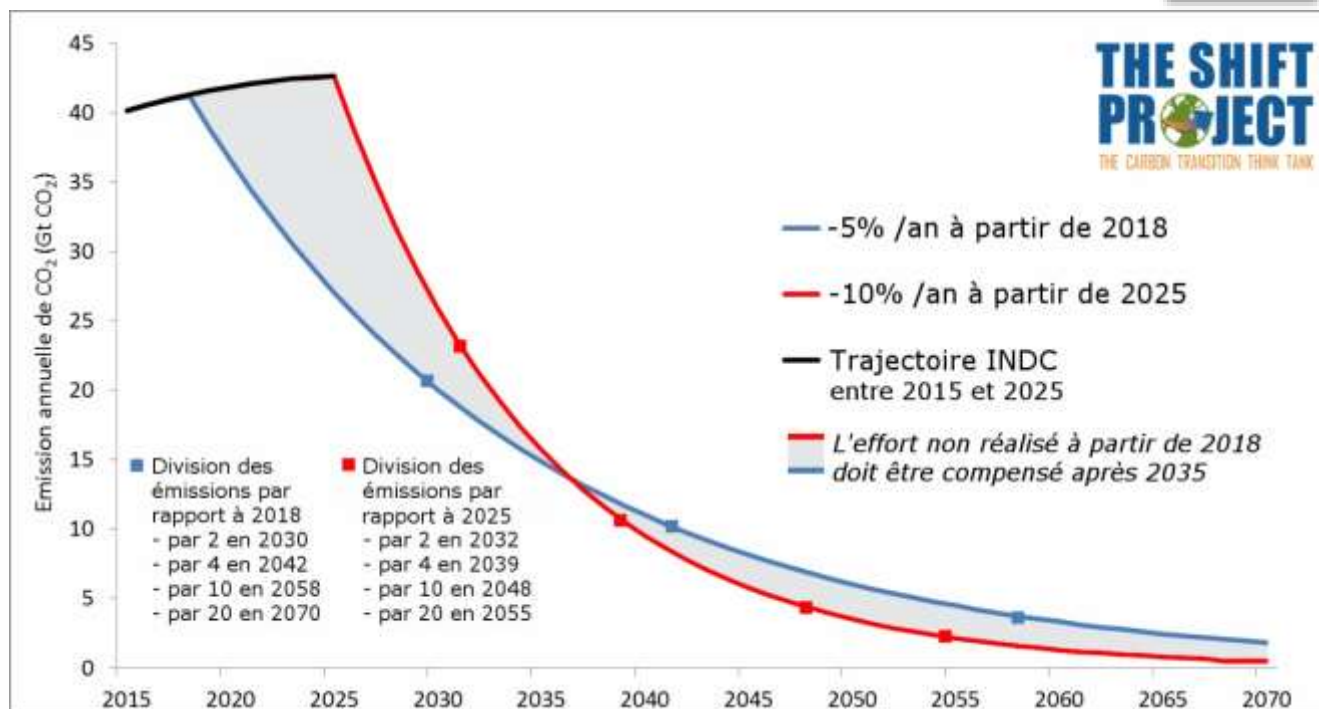


Figure 4 : Trajectoires d'émission compatibles avec une hausse de température limitée à 2°C
[Source : The Shift Project, 2016]

Au rythme de croissance actuelle des émissions de GES du Numérique, le cumul sur la même période des émissions supplémentaires du Numérique par rapport à 2018 serait d'environ 2,1 GtCO₂eq, ce qui **annihilerait près de 20% de l'effort de réduction global nécessaire.**

La phase de production des équipements occupe une part très significative, environ 45% en 2020, dans l'empreinte énergétique totale du Numérique, ainsi que dans les émissions de GES qui en découlent.

NB. Nos principales conclusions sur ce point sont présentées dans la partie consacrée à la présentation du Référentiel Environnemental du Numérique (REN). Les ordres de grandeur présentés ci-dessous afin de décrire le panorama général sont issus des données du REN.

Un utilisateur de smartphone (s'il garde son appareil deux ans) verra ainsi la consommation énergétique totale induite au cours du cycle de vie de cet équipement se réaliser à plus de 90% avant même son achat¹¹. Ce poids de la phase de production dans l'impact énergétique est de l'ordre de 60% pour une télévision connectée mais est bien supérieur à 80% pour un ordinateur portable.

Une bonne partie des enjeux environnementaux du Numérique n'est donc pas liée à l'usage que l'on en fait, mais en grande partie au volume de matériel produit, à son processus de production, et à sa durée de vie.

¹¹ Nous parlons bien ici de la consommation électrique propre du smartphone : si l'on prend en compte également le surcroît de consommation électrique du réseau occasionné par l'utilisation du smartphone, la proportion est plutôt de l'ordre de 50%. Voir (Ercan, 2013).

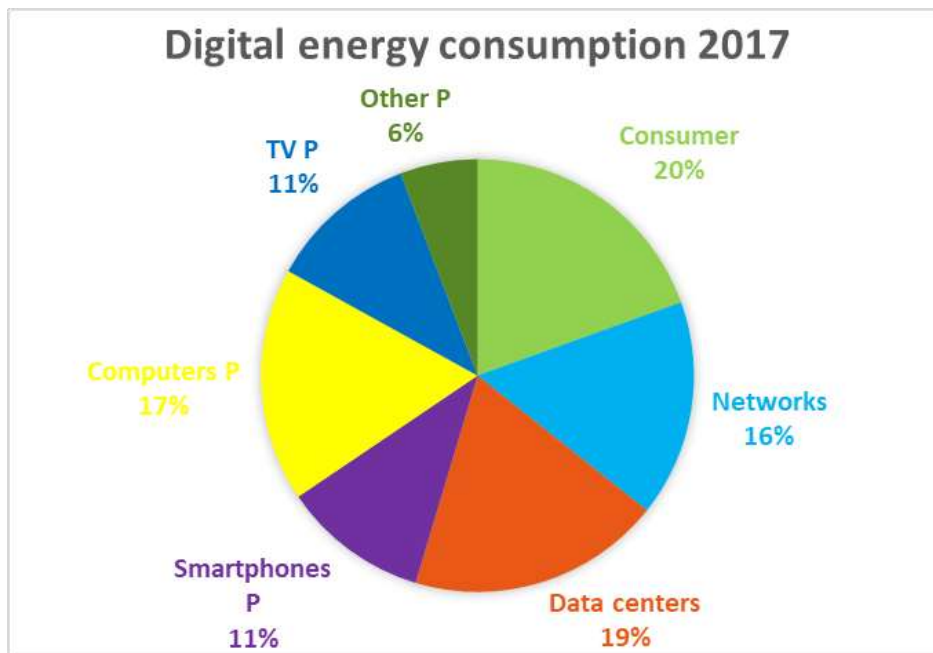


Figure 5 : Distribution de la consommation énergétique du Numérique par poste en 2017 (**P : Production**)
[Source : [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produit par The Shift Project à partir des données publiées par (Andrae & Edler, 2015)]

Les sources de la forte croissance de la consommation énergétique du Numérique sont multiples mais on peut, en première analyse, identifier 4 sources principales :

- le phénomène smartphone ;
- la multiplication des périphériques de la vie quotidienne (ou « connected living ») ;
- l'essor de l'internet des objets industriels (ou IIoT, Industrial Internet of Things) ;
- l'explosion du trafic de données.

a. Le phénomène smartphone

Non seulement **le parc est rapidement croissant** (4 milliards en 2017, 5,5 milliards en 2020, soit **11% par an** (Cisco, 2017b)), mais **la richesse des fonctionnalités** du smartphone ne cesse d'augmenter, ce qui entraîne une consommation d'énergie plus importante lors de sa production, notamment du fait de l'extraction des métaux, toujours plus diversifiés.

La consommation d'énergie du terminal lors de son utilisation¹² augmente également à cause de l'utilisation d'applications plus nombreuses : un marqueur de cette dernière tendance est le fait que la fréquence de rechargement de nos smartphones reste à peu près constante alors que la puissance moyenne de la batterie a augmenté de 50% en 5 ans.

Bien que ce dernier phénomène soit un remarquable exemple d'effet rebond, il n'en reste pas moins que l'essentiel de la consommation d'énergie se situe en phase de production : **90% contre 10% pour son utilisation**, selon les données synthétiques issues du REN¹³.

Or, les volumes de ventes (1,6 milliard d'unités en 2017 (Gartner, 2018a)) sont tirés non seulement par **l'équipement progressif des pays en développement** mais aussi par des **habitudes de consommation « inflationnistes » dans les pays développés** (fréquence de renouvellement inférieure à 2 ans), en partie alimentées par des constats d'obsolescence plus ou moins programmée : les versions successives des systèmes d'exploitation ne sont compatibles avec les terminaux de générations antérieures qu'au prix de la dégradation des performances et/ou d'une réduction importante de la capacité utile de la batterie.

¹² La consommation d'énergie augmente également lors du recyclage car l'énergie de séparation des métaux est fonction de la complexité d'assemblage.

¹³ On néglige ici l'énergie consommée lors de la fin de vie compte tenu du faible taux de prise en charge dans les filières de recyclage et de l'absence de données correspondantes.

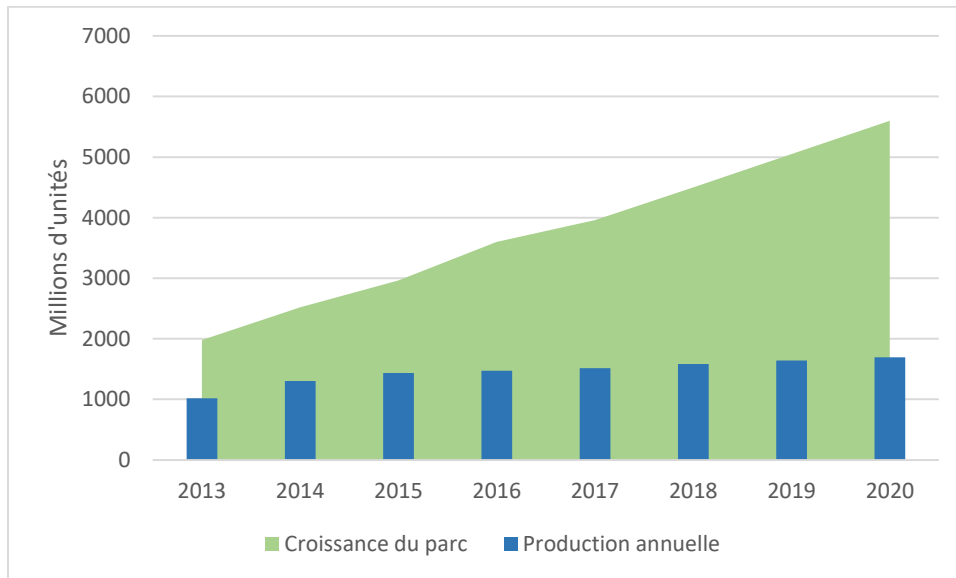


Figure 6 : Production annuelle des smartphones et croissance mondiale du parc

[Source : [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produit par The Shift Project à partir des données publiées par (Cisco, 2014), (Cisco, 2016a), (Cisco, 2016b), (Cisco, 2017), (IDC, 2017a)]

b. La multiplication des périphériques de la vie quotidienne (ou « connected living »)

De nouveaux périphériques apparaissent (bracelets mesurant l'activité physique, enceintes bluetooth portables, etc.) et des équipements existant dans tous les foyers deviennent communicants (télévisions, réfrigérateurs, machines à café, systèmes d'alarme et de surveillance, thermostats, éclairage etc.). Cette tendance est si forte qu'elle entraîne une **croissance de plus de 60% par an de la production de modules de communication embarqués** (voir Figure 7 ci-dessous).

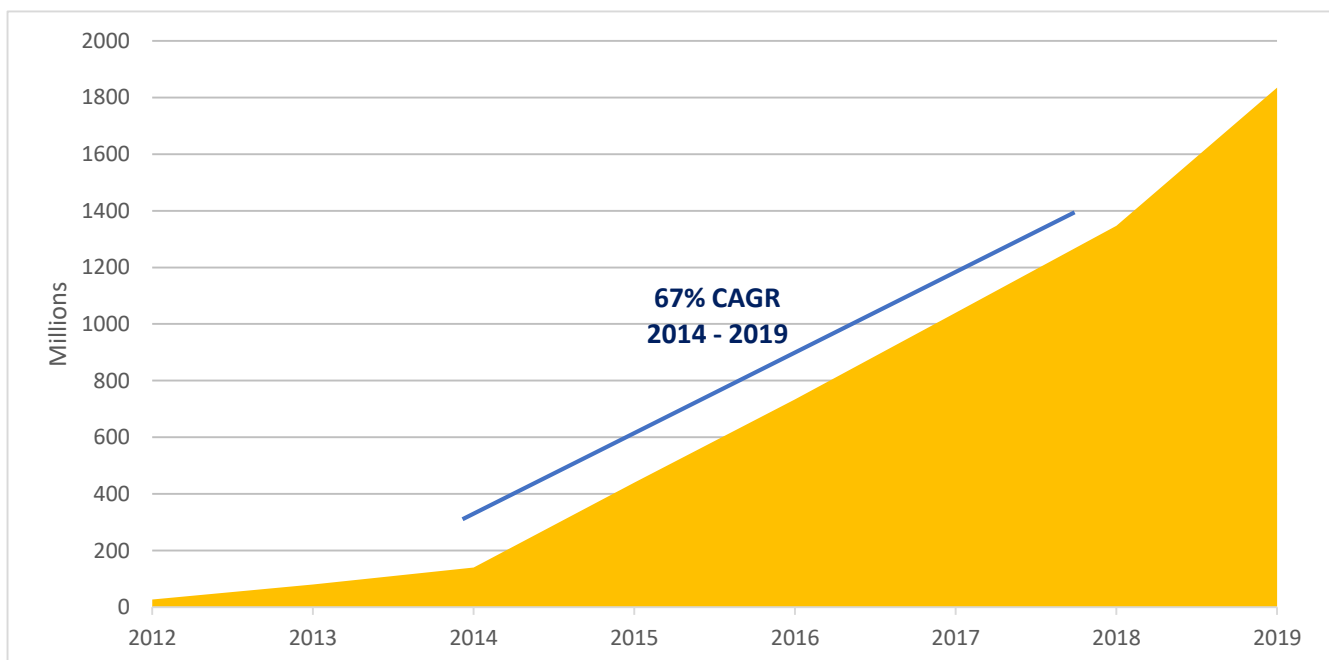


Figure 7 : Évolution des livraisons d'équipements domestiques connectés¹⁴

[Source : (GSMA, 2015)]

Selon l'étude de GSMA (GSMA, 2015) on s'attend ainsi à ce qu'un foyer de 4 personnes dans un pays développé multiplie par 5 en dix ans le nombre de ses équipements numériques connectés : 10 en 2012, 25 en 2017, 50 en 2022 tandis que le taux d'équipement moyen mondial va augmenter de 50% entre 2016 et 2021.

¹⁴ La définition d'équipements domestiques connectés de Business Insider comprend tous les appareils intelligents (machines à laver, sèche-linges, réfrigérateurs, etc.), les systèmes de sûreté et de sécurité (capteurs, moniteurs, caméras et systèmes d'alarme connectés à internet) et les équipements énergétiques tels que les thermostats intelligents et les éclairages intelligents.

Nombre d'équipements connectés par personne	2016	2021	Croissance annuelle
Asie-Pacifique	1,9	2,9	8,3%
Europe centrale et orientale	2,5	3,8	9,1%
Amérique latine	2,1	2,9	7,0%
Moyen-Orient et Afrique	1,1	1,4	5,4%
Amérique du Nord	7,7	12,9	11,0%
Europe de l'Ouest	5,3	8,9	10,9%
Global	2,3	3,5	8,5%

Tableau 3 : Nombre d'équipements par habitant
[Source : (Cisco, 2017b)]

2012	2017	2022
2 smartphones	4 smartphones	4 smartphones
2 laptops/computers	2 laptops	2 laptops
1 tablet	2 tablets	2 tablets
1 DSL/Cable/Fibre/Wifi Modem	1 connected television	3 connected television
1 printer/scanner	2 connected set-top boxes	3 connected set-top boxes
1 game console	1 network attached storage	2 eReaders
	2 eReaders	1 printer/scanner
	1 printer/scanner	1 smart metre
	1 game console	3 connected stereo systems
	1 smart metre	1 digital camera
	2 connected stereo systems	1 energy consumption display
	1 energy consumption display	2 connected cars
	1 Internet connected car	7 smart light bulbs
	1 pair of connected sport shoes	3 connected sport devices
	1 pay as you drive device	5 internet connected power sock
	1 network attached storage	1 weight scale
		1 eHealth device
		2 pay as you drive devices
		1 intelligent thermostat
		1 network attached storage
		4 home automation sensors

Tableau 4 : Équipements numériques dans un foyer de 4 personnes dans un pays de l'OCDE
[Source : (GSMA, 2015)]

Alors que le taux d'équipement augmente dans toutes les régions du Monde, **la croissance du taux d'équipement attendue d'ici 2021 dans les pays développés déjà suréquipés pourrait être cependant largement supérieure à celle des pays en développement** : 70% en Amérique du Nord contre 25% pour le continent africain, accentuant ainsi l'écart existant, pourtant déjà considérable.

c. Essor de l'Internet des Objets Industriels (IIoT)

L'Internet des Objets Industriels (IIoT – Industrial Internet of Things) consiste, grâce à une technologie embarquée (capteurs, actionneurs, puces RFID...) à identifier et faire communiquer entre eux tous les maillons des chaînes de valeur (machines, produits en cours de fabrication, finis et en cours d'utilisation, collaborateurs, fournisseurs, clients, infrastructures...), que l'on peut désigner comme des « objets ».

Les objets connectés permettent alors de collecter des informations – qui n'étaient jusqu'à présent fournies que via des actions manuelles humaines – sous forme de données, données qui peuvent ensuite être stockées puis analysées. C'est **l'un des piliers technologiques de l'Industrie 4.0**, avec la robotique et l'intelligence artificielle.

L'IIoT conduit les entreprises à procéder à des investissements considérables en technologies numériques communicantes (de l'ordre de 965 milliards de dollars en 2017) et en forte croissance (environ 21% par an) (Gartner, 2017). Selon Gartner, le nombre d'interfaces de communication de ce type va augmenter de 55% par an jusqu'à atteindre **7,5 milliards en 2020** (Gartner, 2017). Cet essor devrait contribuer à faire passer le nombre total d'équipements connectés de 8,4 milliards en 2017 à 20 milliards en 2020.

d. L'explosion du trafic de données

La **croissance du nombre d'utilisateurs** équipés d'au moins un terminal connecté (notamment dans les pays en développement), l'augmentation du **ratio du nombre de terminaux connectés par individu** (de 2,1 en 2015 à 3,3 en 2020 en moyenne mondiale), **l'augmentation du trafic vidéo** couplée à la part croissante des images de qualité HD et UHD et au déport des usages vers de la **consommation à la demande** (streaming, VOD, cloud gaming)¹⁵, provoquent une explosion du trafic sur les réseaux (plus de 25% par an, (Cisco, 2017a)) et dans les data centers (+35% par an, (Cisco, 2018)). Cette croissance se produit à un rythme qui surpasse celui des gains d'efficacité énergétique des équipements, des réseaux et des data centers. Ces prévisions de trafic sont par ailleurs **régulièrement revues à la hausse**.

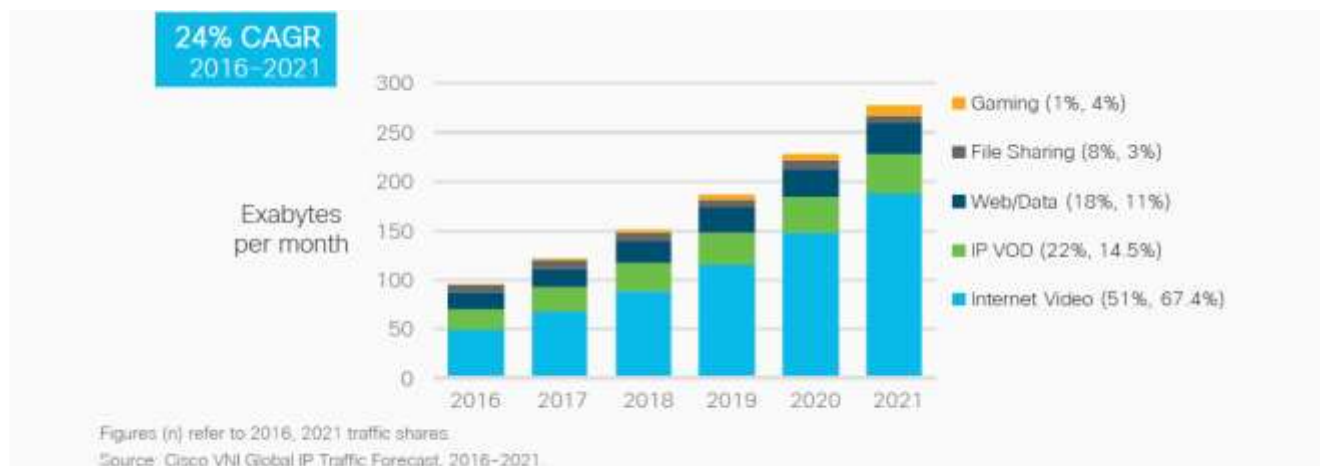


Figure 8 : Évolution des parts de trafic 2016-2021
[Source : (Cisco, 2017a)]

L'essentiel de la croissance de ces flux de données est attribuable à la consommation des services fournis par les « GAFAM »¹⁶, à tel point que celle-ci peut représenter 80% du trafic écoulé sur le réseau de certains opérateurs. Cette augmentation du trafic s'accompagne d'une augmentation du volume de données stockées dans les data centers, tirée par les approches « Cloud » et « Big data » encore plus importante : +40% par an, soit 1 Zettaoctet en 2020 (Cisco, 2018).

Les données stockées dans les data centers devraient représenter ainsi 20% du volume (5 Zettaoctets) de données stockées dans les terminaux, contre 14% en 2015, ce qui contribuera à faire croître le trafic. A noter que Cisco estime à 67 Zettaoctets en 2020 le volume de données « utiles » produites par les approches IoT et IIoT, soit 35 fois plus que la capacité de stockage prévue dans les data centers à cette échéance. Afin de garantir la pleine efficacité des approches « Cloud » et « Big data » actuellement mises en œuvre, il sera donc nécessaire :

- que de nouvelles architectures déportant les capacités de traitement et de stockage des données au plus près des capteurs soient mises en place pour que les services basés sur l'IOT et l'IIoT se développent effectivement (edge computing¹⁷, fog computing). Ceci devrait entraîner une augmentation supplémentaire du parc d'équipements actifs, ainsi que de la dépense énergétique.
- de développer des capacités de stockage supplémentaires basées sur la technologie SSD¹⁸ (notamment 3D NAND¹⁹). Ceci va entraîner une augmentation de l'intensité énergétique de ces équipements liée à la phase de fabrication.

A noter par ailleurs que **cette croissance est si forte qu'une question se pose quant à la capacité même d'assurer une production industrielle suffisante en termes d'équipements de stockage à l'échéance 2020** (Techradar, 2015).

¹⁵ La proportion de téléviseurs UHD va passer de 15% du parc installé en 2016 à 56% en 2021 (Cisco, 2017a)

¹⁶ Google, Apple, Facebook, Amazon, auxquels on ajoute de plus en plus leurs homologues chinois Baidu, Alibaba, Tencent, Xiaomi (BATX).

¹⁷ « Edge Computing est une architecture informatique distribuée ouverte qui présente une puissance de traitement décentralisée permettant les technologies de l'informatique mobile et de l'Internet des Objets (IoT). Les données y sont traitées par le périphérique lui-même ou par un ordinateur ou un serveur local au lieu d'être transmises à un datacenter. » (HPE, 2018, www.hpe.com/fr/fr/what-is/edge-computing). Le Fog computing rapproche encore plus le traitement des données de leur point d'émission, en intégrant dans l'infrastructure tout objet connecté.

¹⁸ SSD ou *Solid State Disk* ou mémoire Flash : le stockage est réalisé dans des puces informatiques.

¹⁹ NAND : type de technologie mémoire Flash

4. Les métaux rares : une potentielle vulnérabilité

La production d'équipements numériques est fortement consommatrice de métaux, certains rares et/ou critiques dont les réserves accessibles (au coût et avec les technologies actuels) sont limitées et qui présentent des pics de production probables dans les décennies à venir pour beaucoup d'entre eux. Cette situation est susceptible non seulement de fragiliser le développement des usages, mais également de porter atteinte à la résilience de nos sociétés numériques.

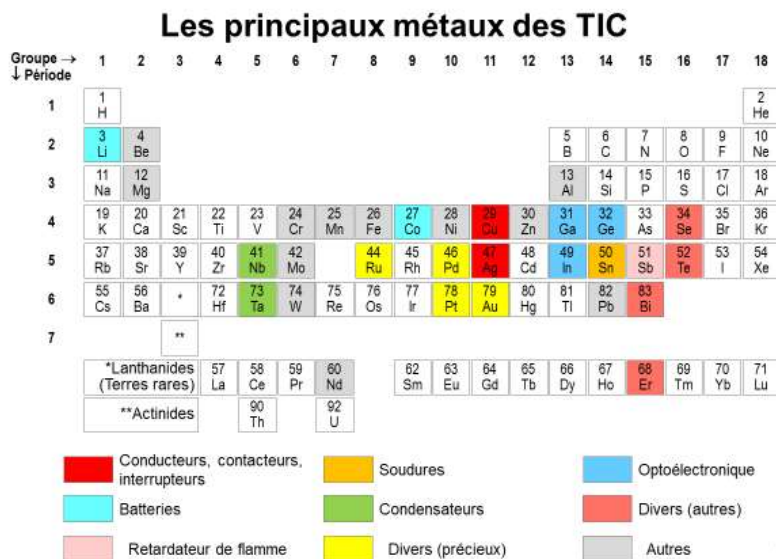


Figure 9 : Les principaux métaux des TICs
[Source : (Bihouix P., 2015)]

Alors que la part du Numérique dans la consommation globale de certains de ces métaux est relativement modeste (cuivre, platine, or), il n'en est pas de même pour d'autres dont il est le principal utilisateur (gallium, indium, tantale, ruthénium, germanium). Au moins une quarantaine de métaux sont par exemple présents dans un smartphone, chacun en des quantités allant de quelques milligrammes à quelques dizaines de grammes. La Figure 10 ci-dessous montre, de façon simplifiée, la correspondance de chacun des métaux avec un composant fonctionnel dont il permet d'optimiser les performances et/ou d'en réduire le coût.



Figure 10 : Architecture d'un smartphone, petit extrait des métaux
[Source : (Orange Labs, 2017)]

Tandis que l'augmentation des taux d'équipement et la multiplication des types de périphériques sollicitent à plein l'exploitation des réserves disponibles de ces métaux, il s'avère que **beaucoup d'entre eux sont faiblement recyclables** : par exemple, le taux de recyclage de l'indium, du gallium, du tantale et du germanium est inférieur à 1%.

Le recyclage devient en outre plus difficile au fil de l'augmentation du nombre de métaux présents dans un composant et de la diminution de leurs concentrations.

Taux de recyclage des métaux

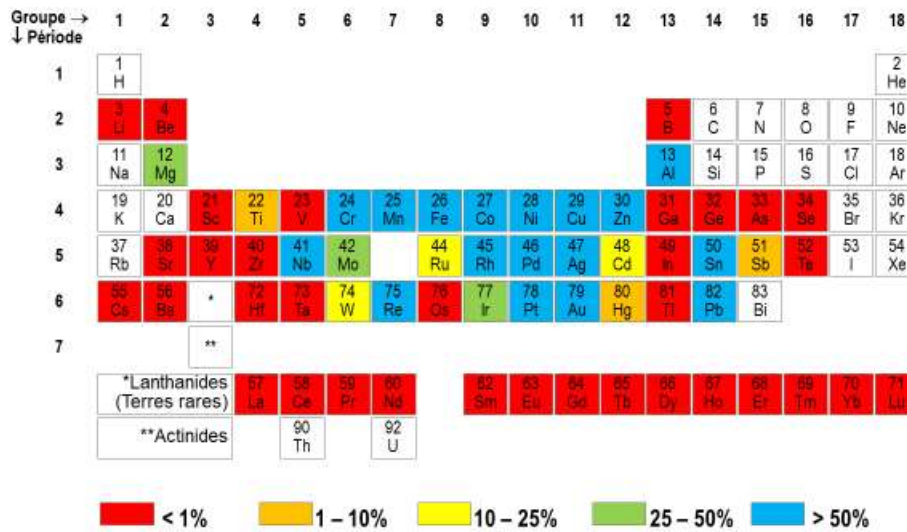


Figure 11 : Taux de recyclage des métaux
[Source : (UNEP, 2011)]

Cette situation peut donc conduire à une impasse technologique si la croissance des besoins ne ralentit pas, et ceci d'autant plus que nombre de ces métaux sont également utilisés dans de fortes proportions pour la production des équipements nécessaires aux énergies renouvelables (éolien, solaire) (Banque mondiale, 2017), comme le montre le tableau ci-dessous :

	Wind	Solar photovoltaic	Concentrating solar power	Carbon capture and storage	Nuclear power	Light-emitting diodes	Electric vehicles	Energy storage	Electric motors
Aluminum	X	X	X	X		X		X	X
Chromium	X			X	X	X			
Cobalt				X	X		X	X	
Copper	X	X		X	X	X	X		X
Indium		X			X	X	X		
Iron (cast)	X		X			X		X	
Iron (magnet)	X								X
Lead	X	X			X	X			
Lithium							X	X	
Manganese	X			X			X	X	
Molybdenum	X	X		X	X	X			
Neodymium (proxy for rare earths)	X						X		
Nickel	X	X		X	X	X	X	X	
Silver		X	X		X	X	X		
Steel (Engineering)	X								
Zinc		X				X			

Tableau 5 : Métaux utilisés pour les technologies énergétiques bas-carbone
[Source : (Banque mondiale, 2017)]

A titre d'exemple, la situation de l'indium pointe vers l'apparition de difficultés d'approvisionnement dès les années 2030/2035.

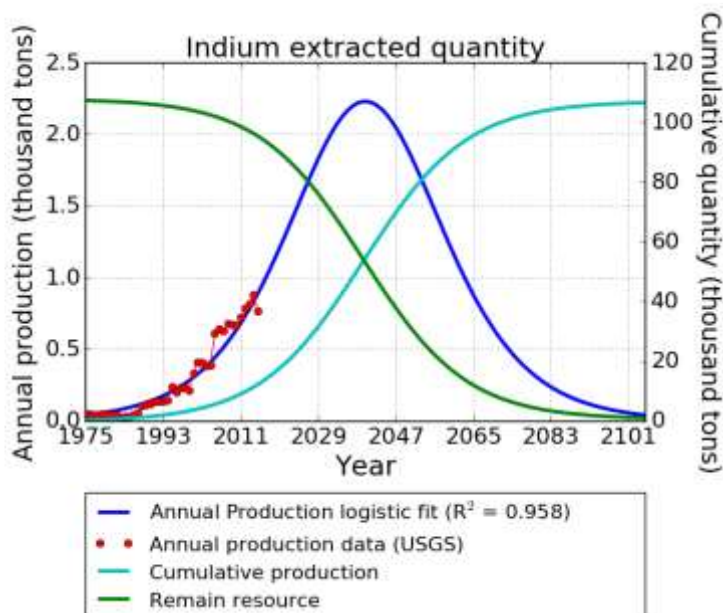


Figure 12 : Extraction de l'indium dans le temps
[Source : (Halloy, 2018)]

D'autre part, **ces métaux sont source de pollution des sols lors de leur extraction – également génératrice d'émission de GES – et en fin de vie** des équipements lorsque la filière de traitement n'est pas adaptée (ce qui concerne plus de la moitié en masse des équipements électriques et électroniques en France, et bien davantage dans le monde).

Par ailleurs, et même si cet aspect ne fait pas partie en tant que tel du champ d'analyse de notre étude, la plupart de ces métaux rares sont produits soit dans des pays profondément instables (par exemple, 65% de la production mondiale de Cobalt vient de la République Démocratique du Congo), soit de façon quasiment monopolistique par une superpuissance (90% de la production de terres rares est sous le contrôle de la Chine, qui en consomme d'ailleurs 60% (Lepesant, 2018)). **Cette situation est porteuse de risques d'approvisionnement, ou à tout le moins de tensions sur les prix, pouvant remettre brutalement en question des choix industriels et, par voie de conséquence, le fonctionnement de nos sociétés reposant toujours davantage sur des infrastructures numériques.**

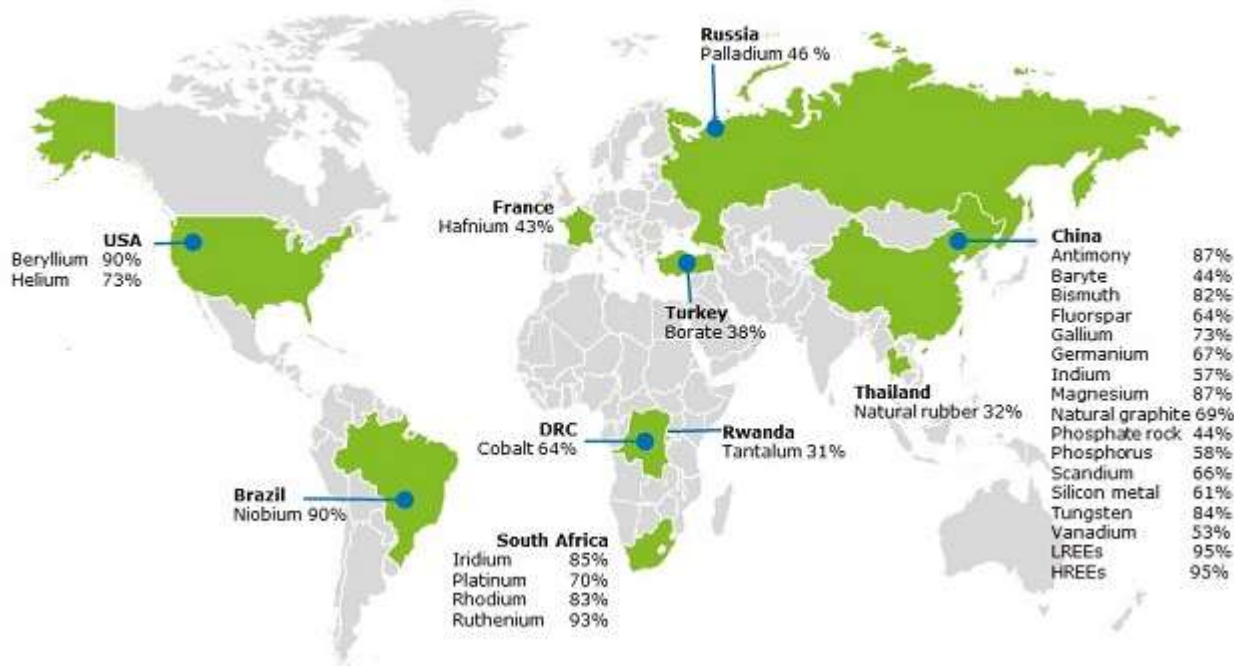


Figure 13 : Pays produisant le plus de matières premières critiques
[Source : (Commission européenne, 2017)]

III. Le Référentiel Environnemental du Numérique (REN)

Le Référentiel Environnemental du Numérique (REN) vise à décrire, sous forme de grandeurs et ratios caractéristiques, l’empreinte environnementale de l’écosystème numérique, en termes d’équipements et d’usages.

Alors que la transition Numérique s’amplifie tant dans les entreprises que dans la société toute entière, il est indispensable que notre culture numérique s’enrichisse de la connaissance et de la compréhension des impacts environnementaux de nos objets et de nos actes numériques.

Dans les entreprises ou les organismes publics, **des démarches de type Green IT ont souvent été mises en place** au sein des directions des systèmes d’information (DSI) ces quinze dernières années, et ont permis de faire progresser leur maturité sur ce sujet.

Mais ces progrès sont limités par la **difficulté à trouver des données actualisées** permettant de mener de façon précise les analyses d’impact environnemental, sauf à se plonger dans un vaste ensemble épars de travaux universitaires et de notices techniques et/ou à avoir recours à des sources payantes.

Ainsi que l’indiquait le rapport « *Potentiel de contribution du numérique à la réduction des impacts environnementaux : état des lieux et enjeux pour la prospective* » effectué pour le compte de l’Ademe en 2016 (Deloitte Développement Durable, 2016) :

« (...) les données sur les équipements sont fréquemment anciennes et se basent sur un seul modèle d’appareil. De fait, dans la mesure où il s’agit d’appareils complexes, aux évolutions technologiques rapides, la collecte de données environnementales les concernant est peu aisée. »

Par ailleurs, alors que le Numérique devient omniprésent au sein des organisations, le Green IT reste, au mieux, un enjeu des seules Directions des systèmes d’information (DSI).

Selon le rapport « *Baromètre Green IT 2017* » de l’Alliance Green IT, « (...) le Green IT n’a toujours pas conquis la gouvernance d’entreprise. Moins d’un quart ont intégré le Green IT au sein de leur stratégie. » (Alliance Green IT (AGIT), 2017)

D’après l’étude du Cigref « *Du Green IT au Green by IT* » parue en 2017 : « *L’informatique propose des projets mais ce ne sont généralement que des projets d’infrastructures, data centers, réseaux, systèmes d’exploitation, externalisation du développement, projets d’infrastructure ou de gouvernance interne.* » (CIGREF, 2017)

Or, ces projets d’infrastructure informatique sont la conséquence de décisions prises en matière de conception de produits, d’organisation, d’arbitrages de portefeuille d’activités qui ne sont pas du ressort des DSI, alors qu’elles sont pourtant de plus en plus prises au sein d’initiatives de transition Numérique, ou d’approches « 4.0 ».

Les décisions se sont déplacées vers les responsables d’activités et les dirigeants, **le Numérique n’étant plus considéré seulement comme un moyen au service d’une stratégie, mais comme une partie intégrante de cette stratégie** et comme le catalyseur de la transformation permettant de s’adapter à un nouvel environnement.

Il arrive même que des choix purement technologiques se prennent en dehors de la DSI (ce que l’on désigne par « shadow IT »), ce qui n’est évidemment pas efficace à terme, ni pour garantir la pérennité des réalisations, ni dans la perspective de minimiser l’impact environnemental du Numérique.

Il est donc nécessaire de disposer de données techniquement vérifiées accessibles à des non-spécialistes (ni du Numérique ni de la transition énergétique), afin d’assurer tout à la fois la juste prise de conscience des enjeux et l’intégration des impacts environnementaux du Numérique dans la définition des stratégies, dans le choix des formes d’organisation et dans celui des modalités d’innovation.

Notre Référentiel Environnemental du Numérique constitue ainsi un embryon de la base de données qu’il est nécessaire d’établir si l’on souhaite éclairer les décisions qui peuvent mener à un monde Numérique résilient sur le plan des ressources. Son objectif est de présenter des ordres de grandeurs jugés fondamentaux pour rendre concret l’impact environnemental du Numérique. Bien entendu, il appelle à faire l’objet d’actualisation et de critiques par les experts du secteur : il s’agit en effet de préserver sa pertinence et d’en faire le point de départ d’un travail d’envergure qui aboutirait à une base de données standardisée et universelle sur l’effet environnemental net du Numérique.

Cette nouvelle configuration, que ce Référentiel vise à contribuer à établir, renforcera ainsi la légitimité des DSI et des directions du développement durable (DDD) pour conseiller les directions générales en matière de pilotage environnemental de la transition du Numérique.

a. Périmètre du Référentiel

Le périmètre et les hypothèses de calcul sont présentés ci-après de manière synthétique. Le détail de ces éléments est disponible dans la « Note Méthodologique du Référentiel Environnemental du Numérique », en Annexe 4 page 67.

L'**empreinte environnementale** de l'écosystème numérique y est caractérisée au travers de la quantification de :

- La consommation énergétique ou électrique (suivant la pertinence de l'une ou l'autre au vu du cas considéré) ;
- Les émissions de gaz à effet de serre (GES) ;
- La consommation de métaux critiques ;
- Le volume de terre déplacé pour l'extraction des matières premières.

Les éléments choisis pour représenter l'**écosystème numérique** sont de deux types :

- Les équipements (ou groupes d'équipements) ;
- Les « actions numériques » (utilisations typiques d'outils numériques).

Les **équipements** numériques retenus dans le REN sont les suivants :

- Les smartphones ;
- Les ordinateurs portables ;
- Les data centers ;
- Les télévisions connectées ;
- Les routeurs (« box ») internet.

Les **actions** numériques sont des activités réalisées via des équipements numériques et impliquant une utilisation du réseau. Les actions retenues dans le REN sont les suivantes :

- Envoyer un mail ;
- Regarder une vidéo en ligne.

Contrairement aux terminaux, pour lesquels l'objectif est de constituer à terme un véritable référentiel quantitatif, l'exercice de quantification effectué sur les actions numériques vise simplement à donner des exemples du contenu énergétique et matériel de certaines actions dites « virtuelles ».

b. Les principales hypothèses de calcul

1. Hypothèses pour les smartphones

Les impacts affichés sont donnés pour un smartphone moyen, correspondant aux modèles de milieu de gamme récents des principaux constructeurs en termes de parts de marché. Le profil d'utilisation est calibré à partir d'études statistiques sur les usages actuels au niveau mondial selon les classes d'âge.

2. Hypothèses pour les ordinateurs portables

Les impacts affichés sont donnés pour un ordinateur portable moyen, correspondant aux modèles de milieu de gamme récents des principaux constructeurs en termes de parts de marché. Le profil d'utilisation est professionnel, un usage professionnel correspondant aux études effectuées par le label gouvernemental américain « Energy Star ».

3. Hypothèses pour les data centers

Les impacts affichés sont donnés pour un data center moyen, caractérisé sur avis d'experts par sa superficie et la capacité en puissance totale de ses installations (en MW) :

- Surface du data center moyen : 1000 m² ;
- Puissance du data center moyen : 1 MW ;
- PUE (Power Usage Effectiveness) : 2.

Les émissions associées à la phase de production sont données pour un unique serveur du data center.

4. Hypothèses pour les télévisions connectées

Les impacts affichés sont donnés pour une TV connectée à écran LED, correspondant aux modèles de milieu de gamme (écrans de 50 à 60 pouces) des principaux constructeurs en termes de parts de marché. Le profil d'utilisation est calibré à partir d'études effectuées par le label gouvernemental américain « Energy Star » et d'articles scientifiques.

5. Hypothèses pour les box internet

Les impacts affichés sont donnés pour un routeur moyen, dont la consommation est calculée sur la base de données issues des travaux du groupe de travail (au sein d'EcoInfo ainsi qu'au sein d'une entreprise du secteur), croisées avec diverses sources secondaires d'études comparatives²⁰.

La consommation de la box internet est calculée pour ses utilisations réseau liées au routeur IP. Les utilisations liées aux fonctionnalités « Box TV » ne sont pas incluses dans ce calcul²¹.

6. Exemples de caractérisation d'actions numériques

L'action « Envoyer un mail » est caractérisée comme suit :

- Temps d'utilisation du terminal associé : 3 minutes ;
- Taille des données transmises (dont pièce jointe) : 1 Mo.

L'action « Regarder une vidéo en ligne » est caractérisée comme suit :

- Temps d'utilisation du terminal associé : 10 minutes ;
- Taille des données transmises (vidéo de qualité 1080p) : 170 Mo.

c. La phase de production : extraction et production des équipements

1. Consommation d'énergie

L'analyse de la phase de production des équipements fait apparaître les très grandes quantités d'énergie utilisées, d'autant plus fortes que le degré de miniaturisation est important :

REN - Référentiel Environnemental du Numérique					
Production Phase					
Impacts		Hardwares			
		Laptop	Smartphone	Server (Data centre)	Connected TV
Metals	Primary Energy (MJ)	6 640	717	/	/
	GHG (kgCO ₂ e)	514	61	588	441
	Gallium [Ga] (mg)	8	0,5	/	200
	Indium [In] (mg)	20	7	/	12 000
	Tantalum [Ta] (mg)	500	50	/	/
	Copper [Cu] (mg)	170 000	20 000	/	885 000
	Cobalt [Co] (mg)	12 000	6 000	/	/
	Palladium [Pd] (mg)	1	5	/	/
	Ore Extracted Volume (L)	7	2	/	200

Tableau 6 : Référentiel Environnemental du Numérique (REN), phase de Production
 [Source : "[Lean ICT Materials] REN", onglet "REN Prod Phase". Produit par The Shift Project]

Ainsi, produire un smartphone pesant 140 grammes requiert environ 700 MJ d'énergie primaire alors qu'il faut, selon l'ADEME, environ 85 GJ pour produire une voiture à essence de 1400 kg (ADEME, 2013). Il faut donc consommer environ 80 fois plus d'énergie pour produire « un gramme de smartphone » que pour produire « un

²⁰ Détaillé dans « [Lean ICT Materials] Residential Router Electricity Consumption ». Produit par The Shift Project.

²¹ Détaillé dans « Annexe 4 : Note Méthodologique du « Référentiel Environnemental du Numérique »

gramme de voiture ». A noter que **la miniaturisation augmente également la consommation d'énergie lors du recyclage, l'énergie de séparation des métaux étant fonction de la complexité d'assemblage.**

2. Émissions de gaz à effet de serre (GES)

En ce qui concerne la production de GES, quelques ratios et comparaisons sont utiles pour prendre conscience des impacts :

- la production d'un smartphone engendre des émissions 400 fois plus lourdes que son usage ;
- en considérant que l'on utilise un smartphone de l'âge de 10 ans à l'âge de 80 ans en France, et que l'on en change tous les deux ans, on aura ainsi « généré » de ce fait environ deux tonnes de GES, soit l'équivalent de 200 000 km parcourus en train, soit encore le trajet aller-retour domicile-travail d'un habitant d'un département de Grande Couronne pendant toute sa vie professionnelle.

En outre, la tendance au cours de ces dernières années est préoccupante, puisque **l'intensité carbone des smartphones a augmenté à chaque fois qu'une nouvelle génération de smartphones est apparue**, comme le montre le graphique suivant :

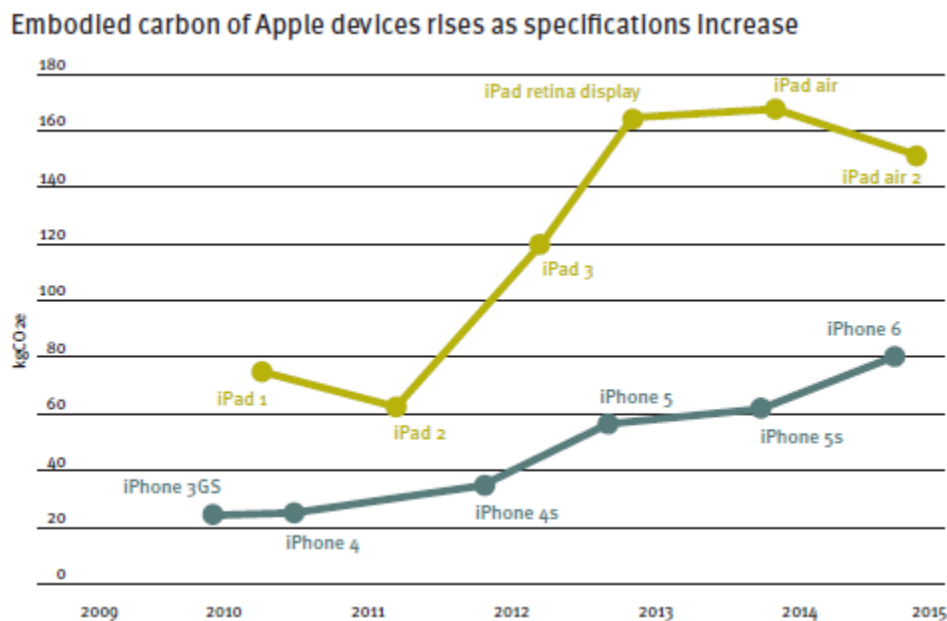


Figure 14 : Empreinte carbone des produits Apple à mesure que les spécifications augmentent [Source : (Benton, Hazell, & Coats, 2015)]

Cette tendance est confirmée chez les modèles les plus récents : l'empreinte carbone de l'iPhone X²² est de 93 kgCO₂eq tandis que celle de l'Apple Watch²³ est de 38 kgCO₂eq, sachant que celle-ci s'ajoute à celle d'un iPhone (Apple, 2018).

3. Contenu en métaux

Le contenu en métaux des équipements est un indicateur de l'impact des technologies numériques sur les ressources minérales naturelles. **La transition numérique nécessite en effet le développement et la production d'équipements dont l'électronique est constituée d'éléments minéraux dont les usages sont dits « concurrents » avec d'autres technologies** : les inerties de transition comme celle de la transition énergétique impliquent en effet, elles aussi, la mise au point de nouvelles technologies nécessitant des matières premières spécifiques et notamment minérales (alliages pour l'industrie éolienne, semi-conducteurs dans les technologies photovoltaïques, nouveaux types de batteries etc.). Puisque l'on raisonne à quantité de ressources naturelles finie, assurer la pérennité des différentes transitions nécessite de questionner leur concurrence sur une même ressource. La problématique de la pression exercée par les technologies numériques sur les ressources naturelles ne se limite ainsi pas à sa dimension énergétique, en particulier si l'on veut réfléchir à des trajectoires réalistes qui permettent d'optimiser l'effet environnemental net du Numérique au vu des différentes dynamiques de transition et d'innovation.

²² iPhone X 256GB

²³ Apple Watch Series 3 (GPS + Cellular) 42mm Stainless Steel Case with Sport Band

Les métaux qu'il a été choisi de quantifier dans notre Référentiel ont été sélectionnés selon deux critères centraux : leur criticité²⁴, évaluée notamment au travers des travaux de la Commission européenne (Oakdene Hollins Research & Consulting, Fraunhofer ISI, 2013), et leur implication dans les technologies numériques, évaluée sur la base de travaux antérieurs de membres du groupe de travail (Bihouix P. , 2015) ainsi que de publications scientifiques (Institut Mines-Télécom, 2016). La liste retenue est la suivante :

- Gallium
- Indium
- Tantale
- Cuivre
- Cobalt
- Palladium

L'objectif de cette liste n'est ainsi pas de quantifier de manière complète et exhaustive le contenu métallique des équipements : il s'agit ici de produire un premier jeu d'ordres de grandeurs qui soient pertinent au vu des enjeux actuels et à venir quant aux ressources minérales nécessaires aux technologies numériques.

À noter que les données des contenus des équipements en métaux sont complexes à obtenir et à synthétiser car elles exigent une décomposition très fine de la structure physique des appareils ainsi que le recours à des sources d'information très spécialisées (Institut Mines-Télécom, 2016).

À l'échelle mondiale, **la fabrication annuelle totale de smartphones utilise environ 9000 tonnes de cobalt, soit environ 10% de la production totale de ce métal. La fabrication annuelle de téléviseurs connectés nécessite quant à elle environ 330 tonnes d'indium, soit 50% de la production mondiale de ce métal.**

4. Volume de terre déplacé

Le volume de terre déplacé correspond à la quantité de minerai nécessaire à la production des métaux contenus dans les équipements considérés. Cet indicateur a été choisi pour représenter de manière partielle mais concrète l'impact que peut avoir le processus d'extraction sur un écosystème donné.

Il permet en effet d'illustrer l'importance des transformations qu'il est nécessaire d'apporter sur un terrain - et donc sur les écosystèmes qui l'occupent - pour assurer l'extraction de matières premières.

Les données ici présentées ne prennent en compte qu'un nombre limité de métaux composant les équipements et ne prétendent donc pas à l'exactitude quantitative. Elles permettent cependant de se représenter la quantité de matière impliquée dans la production d'un terminal, en dépit de la miniaturisation des composants : le smartphone, d'un volume moyen de l'ordre de 50 cm³, nécessite ainsi un déplacement de terre de l'ordre de 2L, uniquement pour l'extraction des métaux ici considérés (à savoir uniquement le gallium, l'indium, le tantale, le cuivre, le cobalt et le palladium²⁵). Sans même prendre en compte des métaux comme l'aluminium par exemple, qui représente une part importante de la masse du produit fini, cela signifie que **pour le contenu seulement partiel en matières premières que l'on calcule ici, il est déjà nécessaire de perturber des écosystèmes sur un volume 40 fois plus important que le volume de l'équipement.**

On comprend dès lors l'importance de caractériser les impacts environnementaux sur l'intégralité du cycle de vie et non de manière partielle : on constate bien ici qu'il serait erroné de limiter la matérialité des équipements à la seule réalité perceptible par l'utilisateur, celle d'un produit fini d'un encombrement minimal.

d. La phase d'utilisation : équipements et actions numériques

1. Consommation d'énergie des équipements

L'analyse de la phase d'utilisation des équipements montre tout d'abord que la consommation d'énergie est **nettement plus faible que celle de la phase de production pour les équipements périphériques.**

²⁴ Pour un acteur économique ou une économie, la criticité d'une substance minérale s'apprécie selon deux axes : les risques d'approvisionnement et l'impact économique. www.mineralinfo.fr

²⁵ cf. partie précédente « Contenu en métaux »

REN - Référentiel Environnemental du Numérique											
Run Phase											
Hardware											
Impacts	Laptop			Smartphone			Data Centre	Connected TV			Residential Router
	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max		Min	Mean	Max	
	GHG	13	56	100	4	6		8	6 000 000	99	
Electricity usage (kWh / year)	4	15	28	1	2	2	2 000 000	27	43	59	28
GHG - EU (kgCO ₂ e / year)	7	28	49	2	3	4	3 000 000	49	78	106	49
GHG - USA (kgCO ₂ e / year)	9	38	68	3	4	5	4 000 000	67	107	146	68
GHG - China (kgCO ₂ e / year)	0,5	2	3	0,1	0,2	0,3	200 000	3	5	7	3
GHG - France (kgCO ₂ e / year)											

Tableau 7 : Référentiel Environnemental du Numérique (REN), Phase d'utilisation – Equipements
 [Source : "[Lean ICT Materials] REN", onglet "REN Run Phase". Produit par The Shift Project]

En effet, si l'on prend en compte des durées de conservation de respectivement 2, 4 et 5 ans pour les smartphones, ordinateurs portables et télévisions connectées, l'énergie directement consommée due à l'utilisation représente, en proportion de l'énergie directement consommée sur l'ensemble du cycle de vie du périphérique, **6% pour un smartphone, 11% pour un ordinateur portable et 33% pour un téléviseur.**

Bien entendu, cette proportion change si l'on intègre l'énergie indirectement consommée par l'utilisation du périphérique, liée au trafic qu'elle génère dans le réseau et aux opérations qu'elle provoque dans les data centers. En ce qui concerne le smartphone, elle est alors de l'ordre de 50% (Ercan, 2013).

Dit autrement, **la consommation d'énergie réelle durant le cycle de vie d'un smartphone est 33 fois plus importante que sa consommation électrique propre annuelle**, qui est la seule que l'utilisateur peut aujourd'hui éventuellement mesurer.

2. Consommation d'énergie des actions numériques

REN - Référentiel Environnemental du Numérique			
Run Phase			
Impacts		Uses	
		To send an email (1 MB, 3 min)	To watch a video online (10 min)
GHG	Electricity usage (Wh)	1	100
	GHG - EU (gCO ₂ e)	0,3	30
	GHG - USA (gCO ₂ e)	0,5	50
	GHG - China (gCO ₂ e)	0,7	70
	GHG - France (gCO ₂ e)	0,03	3

Tableau 8 : Référentiel environnemental du numérique (REN), Phase d'utilisation – Actions Numérique
 [Source : "[Lean ICT Materials] REN", onglet "REN Run Phase". Produit par The Shift Project]

La quantification de l'impact environnemental des actions numériques a une portée illustrative : l'objectif n'est en effet pas de prétendre à la modélisation des usages d'un utilisateur moyen du Numérique, mais de proposer des ordres de grandeur pertinents et vérifiés qui permettent de donner une quantification physique à des actions perçues comme étant « virtuelles ». Les deux actions sélectionnées l'ont ainsi été parce que représentatives des usages du Numérique, mais elles n'en représentent évidemment qu'une partie.

Leur quantification a été effectuée via l'impact énergétique d'un octet de données²⁶ : l'impact calculé prend en compte la consommation du terminal utilisé ainsi que la contribution du réseau et des centres de données impliqués dans le transfert de l'information. Au vu des incertitudes très importantes qui existent dans ce type de calcul (incertitudes contenues dans les données de départ, hypothèses de calcul, multiplicité des situations en contexte réel etc.), les résultats sont présentés en ordres de grandeur.

Ces ordres de grandeur permettent ainsi de parvenir à quelques premiers ratios intéressants.

- Le visionnage d'une vidéo en ligne de dix minutes disponible dans le « Cloud » induit par exemple une consommation électrique équivalente à la consommation propre d'un smartphone sur dix jours. Dit autrement, **l'impact énergétique du visionnage de la vidéo est environ 1500 fois plus grand que la simple consommation électrique du smartphone lui-même**. La différence que l'on observe entre ces deux consommations permet de comprendre **l'importance de l'impact du réseau dans l'empreinte numérique** : les actions « virtuelles » utilisent en effet des infrastructures d'envergure planétaire constituant le « Cloud », et dont le fonctionnement nécessite une quantité substantielle d'énergie et donc de ressources matérielles.
- Il faudrait passer 5h à écrire et envoyer des mails sans interruption (soit 100 mails courts et avec une pièce jointe de 1 Megoctets) pour générer une consommation d'énergie analogue à celle causée par le visionnage d'une vidéo de 10 minutes.
- Passer 10 minutes à visionner en streaming une **vidéo haute définition** sur un smartphone revient à utiliser à pleine puissance pendant 5 minutes **un four électrique de 2000W**.

Ces exemples illustrent bien l'impact primordial des **usages vidéo** sur l'empreinte énergétique du Numérique alors qu'ils sont à l'origine de plus de 80% de la croissance du trafic internet (Cisco, 2017a).

3. Émissions de gaz à effet de serre (GES)

Les émissions de GES sont bien sûr fortement dépendantes de la distribution géographique des parcs installés, en raison de la diversité des mix électriques selon les pays et de leur intensité carbone : 35 gCO₂eq/kWh en France contre 681 gCO₂eq/kWh en Chine, 493 gCO₂eq/kWh aux Etats-Unis, 425 gCO₂eq/kWh en Allemagne ou encore 276 gCO₂eq/kWh en Europe (International Energy Agency (IEA), 2018).

Si l'on procède à l'analyse de la proportion que représentent les émissions de GES directement dues à l'utilisation du périphérique par rapport aux émissions de GES directes sur l'ensemble de son cycle de vie avec les mêmes hypothèses de durées de conservation, on obtient d'ailleurs des résultats qui confirment ceux obtenus sur la consommation d'énergie mais cependant contrastés en fonction des régions d'utilisation :

GES poids de l'utilisation	France	Europe	US	Chine
smartphone	0,3%	2,6%	4,5%	6,2%
laptop	0,4%	2,9%	5,1%	6,9%
connected tv	1,1%	8,9%	15,0%	19,5%

*Tableau 9 : Part de l'usage dans les émissions directes de GES
[Source : "[Lean ICT Materials] REN". Produit par The Shift Project]*

²⁶ Détaillé dans « [Lean ICT Materials] 1byte Model ». Produit par The Shift Project.

e. Constats et tendances

1. Le parc de terminaux en forte croissance

a. Terminaux : une croissance forte, mais contrastée

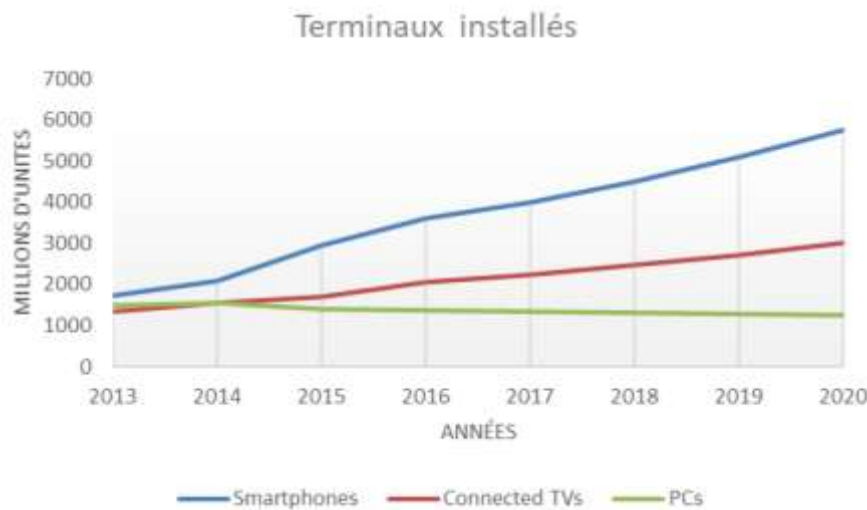


Figure 15 : Nombre de terminaux installés entre 2013 et 2020

[Source : [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produit par The Shift Project à partir des données publiées par (Cisco, 2017b)]

La croissance des usages est tirée par le nomadisme numérique et la vidéo, et se traduit par des évolutions contrastées des parcs installés des différents terminaux :

- le nombre de **smartphones** passe de 1,7 milliard en 2013 à 5,8 milliards en 2020, en **croissance de 11% par an** ;
- le nombre de **téléviseurs connectés** est également en forte augmentation, passant de 1,3 milliard en 2013 à 3 milliards en 2020, en **croissance de 9% par an**, sachant par ailleurs que l'évolution vers le standard UHD (Ultra Haute Définition ou 4K), couplée avec l'augmentation de la taille des écrans, conduit à plus de consommation énergétique ;
- la croissance du parc d'**ordinateurs portables** ne compense pas tout à fait le déclin des ordinateurs fixes et résulte en une **baisse de 2% par an** du parc installé.

b. Terminaux : une croissance plus forte dans les régions à forte intensité carbone

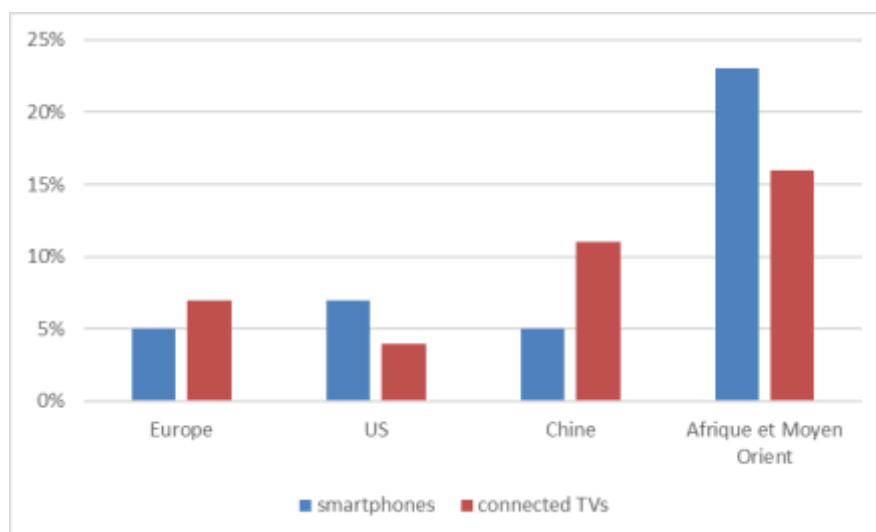


Figure 16 : Croissance annuelle des parcs installés de terminaux entre 2016 et 2021

[Source : (Cisco, 2018b)]

La croissance plus rapide des parcs de terminaux connectés dans les régions à forte intensité carbone va augmenter les émissions de GES dues au Numérique.

2. Data centers : des facteurs en concurrence

Dans le Référentiel Environnemental du Numérique, les impacts du data center sont calculés pour un site « moyen » caractérisé par sa superficie en m² et la capacité en puissance totale de ses installations en MW (1000 m², 1 MW, PUE de 2). Étant donné les multiples variables impactant l'efficacité énergétique, le cas présenté ici doit être considéré comme illustratif, les résultats associés ne représentant pas une moyenne sur l'ensemble des data centers.

A titre de comparaison, la consommation annuelle d'une telle installation équivaut selon EDF à celle d'une ville française de 10 000 habitants (Iddri, Fing, WWF France, GreenIT.fr, 2018).

Sur le plan prospectif, **il est complexe de prévoir l'évolution de la consommation énergétique de ces data centers** : elles résultent en effet de la combinaison de multiples tendances aux effets concurrents.

Parmi celles tendant à la diminution de la consommation électrique des centres, il y a notamment :

- L'amélioration du PUE de chaque data center ;
- L'amélioration de l'efficacité énergétique des serveurs ;
- L'amélioration du taux d'utilisation des serveurs ;
- L'amélioration de la linéarité de consommation des serveurs en fonction de la charge ;
- La concentration des serveurs dans des « hyper data centers ».

Parmi les tendances poussant vers l'augmentation de la consommation des centres, il y a notamment :

- La croissance du trafic de données ;
- La croissance du volume de données à stocker ;
- La croissance du volume d'opérations ;
- La création de data centers dans des régions à contexte technologique plus difficile ;
- La déconcentration de la puissance informatique, notamment liée à l'IIoT.

Malgré l'existence de ces deux tendances contradictoires, **même les études les plus optimistes font part d'inquiétudes quant à la capacité des progrès technologiques à contrebalancer la croissance des volumes à l'horizon 2020**. Par exemple, ce rapport du Département américain de l'Énergie et l'Université de Californie sur la consommation d'énergie des data centers en 2016 aux États-Unis, selon lequel :

« Les leviers clés d'optimisation de l'efficacité énergétique [des data centers] identifiés dans ce rapport, meilleur PUE, meilleur taux d'utilisation des serveurs et meilleure linéarité de consommation ont tous des limites théoriques et pratiques et l'importance des progrès déjà enregistrés laisse penser qu'elles pourraient être atteintes à une échéance pas très lointaine. » (Shehabi, A. et al., 2016)

f. Les fondations d'un référentiel universel pour le Numérique

Le Référentiel Environnemental du Numérique a été conçu pour **contribuer à répondre à l'un des obstacles centraux à la gestion efficace de la problématique environnementale au sein de la Transition Numérique : la difficulté d'accès à des données vérifiées et transparentes**.

L'absence d'entité centralisant les études et la standardisation seulement partielle des méthodologies rendent en effet extrêmement complexe tout travail de synthèse : les données dépendant de cadres d'études et d'hypothèses spécifiques et trop souvent non-transparentes, elles deviennent rapidement incomparables entre elles.

Le REN constitue une ébauche de base de données qui soit construite, vérifiée et actualisée par les spécialistes et experts du domaine mais qui puisse être aisément utilisée par les autres acteurs et sphères décisionnelles du monde Numérique : le Numérique étant devenu une composante à part entière des stratégies d'entreprises, d'organisations et d'institutions, il est nécessaire de **construire un socle chiffré qui soit le plus universel possible afin de permettre des discussions entre spécialistes du Numérique, acteurs des problématiques environnementales et décideurs stratégiques non spécialisés sur ces sujets**.

Si l'on veut être en position de faire du Numérique un atout pour la transition environnementale, il est indispensable de parvenir à établir le bilan de l'effet du Numérique sur l'environnement de façon granulaire et de disposer de l'information permettant une application du principe de sobriété numérique dans les décisions opérationnelles. Le premier jalon d'une telle démarche doit être la construction d'un véritable socle de données fiables, alimenté et maintenu de façon à la fois régulière et objective et dont notre Référentiel Environnemental du Numérique peut être l'embryon.

Nous rejoignons là l'une des propositions (proposition 4.1) du Livre Blanc « Numérique et Environnement » (Iddri, Fing, WWF France, GreenIT.fr, 2018) de « créer une base de données publique pour permettre aux acteurs du numérique d'analyser leurs impacts environnementaux ».

IV. Sobriété numérique dans l'entreprise : exemples de leviers d'action

La tertiarisation de l'économie conjuguée à la transition numérique a notamment pour conséquence la **croissance de la part des activités numériques dans le bilan carbone²⁷ des entreprises**. Celle-ci peut déjà être largement supérieure à 30% dans des métiers de services et représente donc un enjeu qui devient aujourd'hui visible pour les directions générales.

Une autre conséquence de la transition numérique et de la diffusion de modèles de services dans le « Cloud », permettant l'accès simplifié à des applications, plateformes et infrastructures, est de **rendre plus difficile l'exercice par la DSI de la gouvernance qui lui est confiée**, une part croissante des dépenses numériques ne s'imputant pas sur son budget et/ou étant traitées comme relevant de décisions « métiers ».

Dans ce cadre, les approches de type « Green IT » centrées sur l'optimisation de la performance énergétique des équipements, des architectures, des applications et des services numériques²⁸ sont tout à fait utiles mais ne sont plus suffisantes.

Nous avons donc cherché à identifier des leviers d'action portant davantage sur la demande et la consommation de services numériques que sur l'efficacité énergétique de l'offre. **Leur mise en œuvre peut tout à fait être confiée à la DSI, mais leur activation implique un engagement de la Direction Générale, et s'appuie sur un principe de sobriété numérique qu'elle doit valider et promouvoir.**

Le premier objectif de ces leviers est d'**illustrer à l'aide d'exemples quantitatifs** l'impact que peut avoir une démarche de sobriété numérique lorsqu'elle est mise en place par l'entreprise.

Le second est de fournir un premier prototype de **méthodologie de quantification** des effets d'une mesure de sobriété numérique. Ce type de méthodologie peut être repris par l'entreprise, adapté aux spécificités de ses activités et permettre d'anticiper l'effet d'une décision sur l'impact environnemental annuel des activités numériques de l'entreprise.

Les calculs et les résultats présentés dans ce livrable ont une valeur illustrative et non exhaustive. Leur validité est bien entendu liée au cadre des hypothèses choisies, qui sont ici intégralement explicitées et aisément modifiables²⁹.

a. Périmètre des recommandations

Les recommandations ici présentées proposent **des exemples de mesures opérationnelles pouvant être mises en place par les entreprises utilisatrices du numérique pour diminuer les impacts environnementaux de leur écosystème numérique.**

Par « entreprise utilisatrice du numérique », on exclut les activités de production d'équipements ou d'exploitation de services numériques. Les leviers ont ainsi été conçus en considérant l'entreprise uniquement sous son angle « utilisatrice d'équipements et de services qui lui sont fournis », ce afin de concerner le plus grand nombre possible de structures. De plus, le terme « entreprise » est utilisé mais ces préconisations peuvent être appliquées ou aisément adaptées à tout type d'organisations : institutions publiques, organismes privés, hôpitaux, associations etc.

b. Méthodologie de calcul

Les leviers présentés ont été sélectionnés pour être les plus pertinents possibles sur le plan opérationnel : **l'objectif est de fournir une approche et des propositions que les organes de décision de l'entreprise puissent facilement s'approprier.** Cette sélection s'est ainsi fondée à la fois sur la facilité de mise en place opérationnelle du levier, de sa pertinence au vu de l'importance de l'effet qu'il peut produire ainsi que sur les possibilités de caractériser ses effets par des grandeurs quantitatives.

Chaque levier fait par ailleurs intervenir des *assets* concrets pour les entreprises et les employés : flotte de smartphone, parc informatique, serveur de partage de fichier, etc.

²⁷ La question de savoir si et comment la Transition Numérique peut réduire l'empreinte carbone d'une entreprise, n'est pas traitée dans ce chapitre.

²⁸ Voir notamment : Alliance Green IT (AGIT). (2017). *Livre Blanc - L'écoconception des Services Numériques*. <http://alliancegreenit.org/wp-content/uploads/Doc%20AGIT/LB-ecoconception-numerique.pdf>

²⁹ L'intégralité des hypothèses sont détaillées en Annexe 5 : Note méthodologique des « Leviers Entreprises »

Chacun des leviers a ensuite fait l'objet d'une quantification basée sur les données consolidées dans le Référentiel Environnemental du Numérique (REN)³⁰. La « quantification » de l'effet d'un levier correspond à l'évaluation de la diminution de l'impact environnemental annuel du poste concerné, engendrée par l'activation du levier.

Cet impact environnemental est représenté par les émissions de GES dans cet exercice. Elles sont en effet un indicateur commun aux phases de production et d'utilisation dans notre projet - caractéristique nécessaire à l'élaboration des calculs³¹ - et raisonner en termes d'émissions annuelles permet d'aisément contextualiser ces résultats au sein de démarches basées sur des méthodologies type Bilan Carbone.

Cette diminution est calculée comme diminution relative (en %) de l'impact entre une situation de référence (situation de départ, représentant la situation réelle actuelle) et une situation amendée (situation dans laquelle le levier est mis en place et son effet réalisé, toute chose n'étant pas directement influencée par le levier étant considérée inchangée), pour le poste d'émission concerné.

C. Leviers n°1 & n°2 : Allonger la durée de vie des équipements professionnels

1. Enoncé et objectifs du levier

L'une des composantes principales de l'écosystème numérique d'une entreprise est la flotte d'équipements qu'elle met à disposition de ses employés.

L'équipement numérique professionnel est en effet aujourd'hui au cœur des politiques d'entreprise et notamment des transformations numériques, dont la généralisation de l'intégration du télétravail en entreprise est un exemple parlant.

Les politiques de renouvellement régulier de ces équipements font partie intégrante de la gestion de la réactivité de l'entreprise sur le plan technique - au vu des fonctionnalités offertes par les équipements - mais participent aussi aux stratégies d'image de l'entreprise : **on voit ainsi, de manière croissante, apparaître une standardisation des équipements numériques professionnels et donc des renouvellements de flottes entières indépendamment de l'état fonctionnel de chaque équipement.**

Le renouvellement des équipements est une problématique aux implications quantitativement importantes, non seulement sur le plan environnemental, puisqu'un renouvellement d'équipements implique les impacts liés à la phase de production, mais également au niveau des processus de gestion des équipements. **Augmenter la durée de vie permet ainsi à la fois de diminuer la pression environnementale des activités de l'entreprise et d'alléger les processus de gestion liés au renouvellement, deux composantes donc d'un gain de sobriété générale.**

Les leviers 1 et 2 préconisent ainsi l'augmentation de la durée de vie des équipements professionnels étant donnée l'importance de la phase de production dans l'impact total des terminaux, sur l'ensemble de leur cycle de vie³².

Les deux équipements considérés sont le smartphone et l'ordinateur portable.

2. Hypothèses

Les durées de vie moyennes respectives des équipements dans la situation de référence sont estimées à 3 ans pour l'ordinateur portable et 2.5 ans pour le smartphone. Elles ont été choisies de manière à être cohérentes avec la réalité des situations en entreprise³³.

Le levier propose d'allonger ces durées de vie respectivement à 5 ans et 3.5 ans.

³⁰ cf. III. Le Référentiel Environnemental du Numérique

³¹ cf. Annexe 5 : Note méthodologique des « Leviers Entreprises »

³² cf. III. Le Référentiel Environnemental du Numérique

³³ cf. Annexe 5 : Note méthodologique des « Leviers Entreprises »

3. Résultats

Leviers Entreprises		
Levier N°	1	2
Enoncé du Levier	Allonger la durée de vie des ordinateurs portables professionnels de 3 à 5 ans.	Allonger la durée de vie des smartphones professionnels de 2,5 ans à 3,5 ans.
Impact sur les émissions GES annuelles du parc de terminaux (%)	-37%	-26%

Tableau 10 : Quantification de l'effet des Leviers Entreprises n°1 et n°2, Synthèse
[Source : "[Lean ICT Materials] QuantiLev". Produit par The Shift Project]

L'augmentation de la durée de vie des équipements est un levier relativement direct et peu complexe à mettre en place en l'accompagnant d'une évolution des contrats de maintenance et d'un changement des règles d'amortissement comptable des équipements.

Il permet de diminuer respectivement d'1/4 et de presque 40% l'impact annuel de deux postes angulaires de l'écosystème numérique de l'entreprise (Tableau 10). Pour un employé qui serait équipé d'un smartphone professionnel et d'un ordinateur portable fournis par l'entreprise, l'activation du levier engendrerait une diminution de l'impact environnemental annuel de ses équipements de quasiment un tiers.

d. Levier n°3 : Augmenter la part de smartphones « pro-perso » dans le parc professionnel

1. Enoncé et objectifs du levier

Le levier 3 propose la mise en place d'une offre « pro/perso » au sein de l'entreprise, basée sur l'utilisation de smartphones dotés de deux cartes SIM. L'objectif est de combiner les usages personnels et professionnels au sein d'un même terminal pour diminuer le parc de smartphones professionnels : les usages professionnels ne représentant plus qu'une fraction de l'utilisation de l'équipement, le volume du parc professionnel équivalent devient en effet une fraction du nombre réel d'équipements.

L'objectif porte ainsi sur le même type de problématiques que les leviers 1 et 2, puisqu'il s'agit d'agir sur la flotte des équipements professionnels afin de réduire le nombre d'équipements produits pour répondre aux mêmes besoins finaux des employés et de l'entreprise.

2. Hypothèses

Les situations de départ et avec levier sont définies au travers de la composition du parc professionnel de smartphones. Dans la situation de départ, le parc est composé de 20% de smartphones fonctionnant avec un système double-SIM et une offre « pro-perso », le reste du parc étant composé de smartphones intégralement dédiés aux usages professionnels. Dans la situation avec levier, la proportion d'équipements « pro-perso » est portée à 70%, celle des équipements exclusivement professionnels étant diminuée en conséquence.

Si ces définitions ont été choisies de manière à représenter une situation de départ réaliste et une situation avec levier atteignable, elles ne prétendent pas décrire une moyenne des entreprises ou une situation type. Les contextes d'entreprise étant fortement variables, il s'agit en effet ici de donner un exemple qui permette d'illustrer en ordre de grandeur l'apport de ce levier de sobriété sur l'impact environnemental.

Le profil d'utilisation « pro-perso » est défini comme l'ajout des profils d'utilisation professionnel et personnel sur le même terminal : on considère en effet que le fait d'effectuer les deux types d'usages sur le même terminal n'engendre pas d'effet de substitution entre eux. On considère de plus que cela n'influe pas sur la durée de vie de l'équipement, prise ici à 2.5 ans, le remplacement du smartphone étant plus souvent motivé par des questions de fonctionnalités que par des impératifs d'usure, comme discuté autour des leviers 1 et 2³⁴.

³⁴ cf. Leviers n°1 & n°2 : Allonger la durée de vie des équipements professionnels

3. Résultats

Leviers Entreprises	
Levier N°	3
Enoncé du Levier	Augmenter la part de smartphones "pro-perso" de 20 % à 70 % dans le parc professionnel.
Impact sur les émissions GES annuelles du parc de terminaux (%)	-37%

Tableau 11 : Quantification de l'effet du Leviers Entreprises n°3, Synthèse
[Source : "[Lean ICT Materials] QuantiLev". Produit par The Shift Project]

La simulation de l'effet du levier n°3 livre une diminution des émissions annuelles associées au parc de smartphones professionnels de 37%. Cela signifie que réunir les actions professionnelles et personnelles sur un même terminal permet de réduire l'impact de l'équipement d'une fraction bien supérieure au tiers, ce qui s'explique encore une fois en grande partie par l'importance de la phase de production dans l'impact total de l'équipement.

Ce levier peut soulever certaines complexités de mise en place selon les situations d'entreprise. Il est en effet nécessaire de traiter certaines problématiques lorsque les ressources professionnelles sont accessibles sur un équipement personnel : des problématiques de sécurisation des données, de gestion de la diversité des équipements (compatibilité et certification des applications développées par l'entreprise par exemple), d'éthique d'entreprise (droit à la déconnexion)...

Des solutions sont cependant déjà mises au point (sécurisation et traçage des données professionnelles, isolation des applications professionnelles sur le terminal personnel etc.) et des acteurs spécialisés sur ces problématiques développent les outils nécessaires à leur mise en place.

e. Levier n°4 : Favoriser l'échange de documents bureautiques via une plateforme partagée

1. Enoncé et objectifs du levier

Le stockage de données (que ce soit au sein d'un serveur local ou hébergé par un fournisseur externe) participe à l'impact environnemental de l'entreprise, puisqu'il repose sur l'exploitation des ressources d'un data center, dont l'impact environnemental est avéré³⁵.

L'objectif de ce levier est de présenter un exemple concret de méthodologie à mettre en œuvre pour limiter le plus possible les données échangées aux données indispensables. Pour ce faire, il se place du point de vue du stockage de données et considère un exemple de données générées par un travail collaboratif : le levier propose en effet de diminuer le nombre d'exemplaires d'un même document stocké sur les serveurs utilisés par l'entreprise (qu'ils soient situés dans un data center interne ou externe), en privilégiant l'échange de documents via une plateforme synchronisée sur serveur partagé - type Dropbox, Sharepoint, OneDrive etc. - plutôt que par mail.

2. Hypothèses

Pour quantifier l'impact de ce levier, on se place dans un cas d'étude : cinq interlocuteurs travaillent sur un même document d'une taille de 1 mégaoctet, dont ils s'échangent les quatre versions successives.

Trois scénarios sont alors comparés :

Scénario 1 - situation de départ, toutes les versions du document sont partagées par mail.

Scénario 2 - objectif réaliste, où l'échange se répartit équitablement (50% des échanges) entre la plateforme synchronisée et les échanges par mails.

Scénario 3 - cas idéal, où les échanges s'effectuent exclusivement via la plateforme.

³⁵ cf. III. Le Référentiel Environnemental du Numérique

Dans ces trois scénarios, on considère que chaque interlocuteur se voit partager toutes les versions du document (par mail ou via la plateforme) et qu'il enregistre toutes les pièces jointes reçues sur son terminal. L'hypothèse est également formulée que les terminaux utilisés par les interlocuteurs sont synchronisés avec un serveur de sauvegarde lié à l'entreprise, sur lequel sont répliquées, une unique fois, les pièces jointes reçues. On considère également que le serveur utilisé par la plateforme de partage est répliqué une fois³⁶.

Pour chaque scénario, on considère les émissions engendrées par l'envoi des mails ainsi que celles engendrées par le stockage des différents exemplaires du document. La diminution de l'impact engendrée par la mise en place du levier est calculée à partir de l'écart entre les émissions associées au Scénario 1, pris comme référence, et celles associées aux Scénario 2 et 3, objectif du levier et scénario idéal.

3. Résultats

Leviers Entreprises		
Levier N°	4	
Enoncé du Levier	Favoriser l'échange de documents via une plateforme partagée.	
Scénario	2 (objectif)	3 (idéal)
Impact sur les émissions GES pour un stockage annuel (%)	-40%	-81%

Tableau 12 : Quantification de l'effet du levier Entreprises n°4, Synthèse
[Source : "[Lean ICT Materials] QuantiLev". Produit par The Shift Project]

Les résultats de la simulation de l'effet du levier n°4 montrent la diminution des émissions annuelles, associées au travail collaboratif décrit dans ce cas d'étude, que l'on peut atteindre par une simple modification des usages. Ce levier est en effet très simple à mettre en place, puisqu'il ne nécessite pas d'adaptation des infrastructures ou processus de l'entreprise mais uniquement des usages qui en sont faits (la plupart des entreprises ont en effet déjà recours à une plateforme de partage synchronisée, qu'elle soit locale ou externe) : on a ici uniquement modifié le vecteur de partage des fichiers et le nombre de versions antérieures archivées.

La diminution de 40% obtenue pour le scénario intermédiaire, objectif du levier, est le résultat de la réduction des deux contributions aux émissions : l'envoi des mails et de leurs pièces jointes et le stockage des exemplaires du document sur les serveurs utilisés par l'entreprise. Cette réduction d'impact importante montre que la problématique de l'augmentation incontrôlée de la volumétrie de données échangées et stockées observée ces dernières années³⁷ n'est pas exclusivement liée à l'évolution des besoins numériques : **une part importante de cette volumétrie peut être réduite sans impact sur les fonctionnalités ni sur les performances, par simple modification des usages.**

f. Levier n°5 : Mettre en place des métriques opérationnelles

1. Enoncé et objectifs du levier

Il s'agit de **définir des métriques, aisément compréhensibles par les différentes sphères décisionnelles et utilisables pour l'arbitrage de projets à composante numérique.**

Ces métriques, standardisées au moins à l'échelle de l'entreprise, sont **des indicateurs de l'impact environnemental de la ou des composantes numériques d'un projet ou d'un produit, destinés à être pris en compte parmi les critères de sélection/optimalisation (au même titre que des critères financiers ou sociaux) du projet ou du produit.**

Il devient ainsi possible d'appliquer le principe de sobriété numérique très en amont de la séquence de décisions opérationnelles qui aboutiront à l'acquisition des équipements numériques et à l'utilisation des services numériques impactant le bilan carbone de l'entreprise.

La simulation réalisée pour ce levier n°5 présente **un exemple de métrique illustrant cette approche, dans le cadre de projets impliquant la pose d'écrans d'affichage, qui fleurissent depuis quelques années dans les couloirs des entreprises, les galeries commerciales et dans les rues des villes.** L'exercice se

³⁶ Détaillé dans Annexe 5 : Note méthodologique des « Leviers Entreprises »

³⁷ cf. II. Enjeux et constats

concentre donc sur la construction de la métrique « impact environnemental d'un écran d'affichage en fonction de sa taille ».

2. Hypothèses

Les écrans d'affichage sont assimilés à l'équipement « TV connectée » décrit dans le Référentiel Environnemental du Numérique (REN) : les équipements d'affichage professionnel sont en effet équivalents, sinon identiques aux équipements grand public.

Les hypothèses et résultats utilisés dans les calculs sont donc directement celles et ceux du REN, pour la TV connectée, dont l'impact est ici considéré au travers de ses phases de production et d'utilisation.

3. Résultats

Leviers Entreprises	
Levier N°	5
Enoncé du Levier	Mettre au point des métriques environnementales.
Taille moyenne de l'écran (inch)	54
Emissions annuelles moyennes de l'écran (kgCO ₂ e/an)	106
Exemple de métrique : impact d'un écran d'affichage en fonction de sa taille (kgCO ₂ e/an/inch)	2

Tableau 13 : Quantification de l'effet du levier Entreprises n°5, Synthèse
[Source : "[Lean ICT Materials] QuantiLev". Produit par The Shift Project]

L'exemple des panneaux d'affichage a été choisi pour montrer que ce type de métrique peut être très simple à mettre au point : ici, on pourrait construire cet outil en combinant un rapport rigoureux des équipements utilisés par l'entreprise avec les données accessibles et déjà produites d'un bilan carbone ou issues d'une démarche comme celle du REN.

L'un des contextes d'application possibles pour cette métrique est l'arbitrage d'une stratégie de déploiement d'écrans d'affichage. Ce type de déploiements concerne la communication interne des entreprises, à petite échelle, mais inclut également des actions de bien plus grande ampleur pour la communication externe : dans la grande distribution ou les sociétés de transport en commun par exemple, le déploiement d'écrans publicitaires s'est généralisé au cours des dernières années, soutenu par des investissements importants.

Posséder une mesure de l'impact environnemental moyen d'un écran suivant sa taille permet de faire rentrer aisément et concrètement l'objectif de sobriété numérique dans l'arbitrage devant mener à une solution optimisée : quelle taille, quelle quantité d'équipements pour répondre aux besoins tout en minimisant l'impact carbone ?

On voit ici l'intérêt de mettre au point ce type de métriques standardisées au moins au niveau de l'entreprise et qui permettraient par exemple, à terme, de construire des outils rendant possible la caractérisation de l'« impact environnemental d'un euro d'investissement » pour une transformation numérique donnée.

V. Sobriété numérique et pays en développement



Crédit photo : UIT

a. Le Numérique dans les pays en développement

1. Pénétration du Numérique

Même si les statistiques confirment le sentiment commun que les téléphones portables sont d'ores et déjà aujourd'hui présents dans toutes les régions du monde, la réalité numérique est plus complexe qu'il y paraît.

Symbole de la dynamique de mondialisation, **le taux d'équipement en téléphones portables est aujourd'hui de l'ordre de 80% dans les pays en développement** et permet des usages quotidiens, même au sein des populations les plus défavorisées :

« Dans les pays en développement, les ménages qui possèdent un téléphone mobile sont plus nombreux que ceux qui ont accès à l'électricité ou à de l'eau salubre, et près de 70% des personnes appartenant au quintile inférieur de la population sont propriétaires d'un portable. » (Banque mondiale, 2016)

Si le coût et les délais de construction (relativement) réduits des infrastructures cellulaires ont permis de pallier en quinze ans la quasi-absence d'infrastructures fixes, **une partie importante des téléphones mobiles ne peut communiquer qu'au travers de réseaux de technologie 2G ne permettant pas l'usage d'internet :**

« ...près de 60 % de la population mondiale n'a toujours pas accès au web et ne dispose d'aucun moyen pratique de participer à l'économie numérique. » (Banque mondiale, 2016)

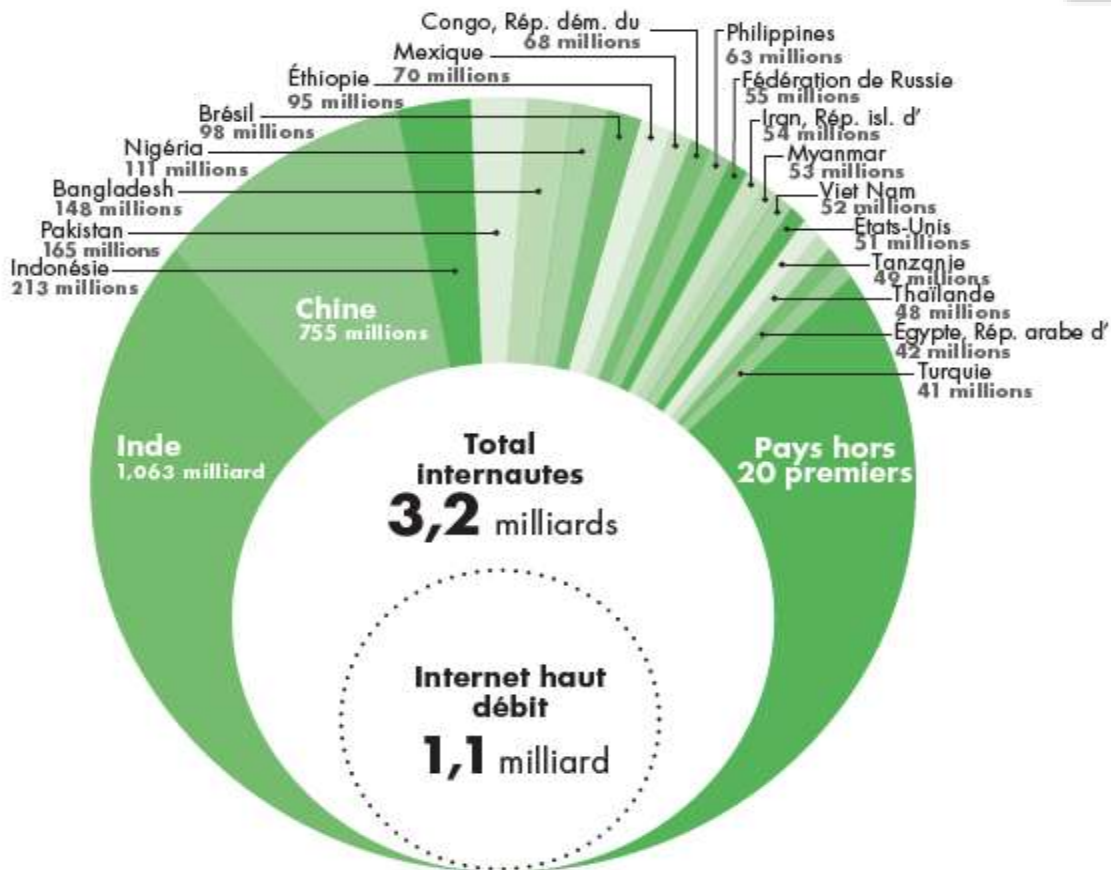
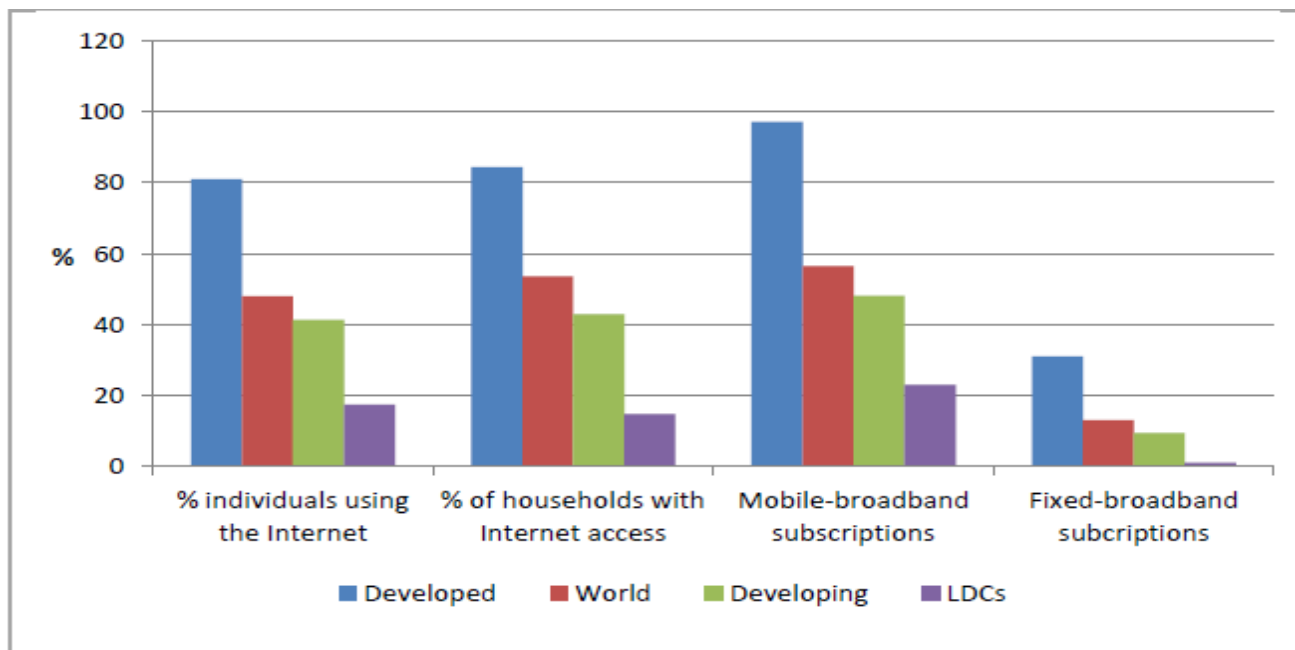


Figure 17 : Population mondiale non-connectée
[Source : (Banque mondiale, 2016)]

Cette proportion « **d'exclus du Numérique** » est d'autant plus importante que le niveau de développement du pays est faible³⁸ ; elle passe à **plus de 80% en ce qui concerne les pays les moins développés** :



Note: The developed/developing country classifications are based on the UN M49, see: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/definitions/regions.aspx.html>
Source: ITU⁸

Figure 18 : Access to ICTs by development status, 2017 estimates
[Source : (Sirimanne, 2017)]

³⁸ cf Annexe 6 : Least Developed Countries

Mais le manque d'infrastructures d'accès à haut débit n'est pas la seule raison de cette exclusion : « *Alors que de nombreuses personnes vivent encore en dehors d'un signal 3G ou 4G, la majorité des personnes non connectées se heurtent à d'autres obstacles tels que les performances du réseau, les coûts relativement élevés de la connectivité, de la recharge électrique des téléphones³⁹ et des appareils, le manque de contenu localement pertinent et une faible culture numérique.* » (GSMA, The Mobile Economy, 2018, p. 38)

Ainsi, si le manque d'infrastructures adaptées (réseau 3G ou plus) est clairement en cause dans les pays les moins développés, d'autres facteurs priment dans les autres pays en développement :

- **Prix de l'usage d'internet** décalé par rapport au pouvoir d'achat ;
- **Inexistence ou insuffisance de contenus générés localement** ou traduits en langue locale et accessibles via internet ;
- Capacité à **maîtriser les interfaces numériques** (donc, en premier lieu, savoir lire et écrire)⁴⁰.

Comme le montre le tableau ci-dessous :

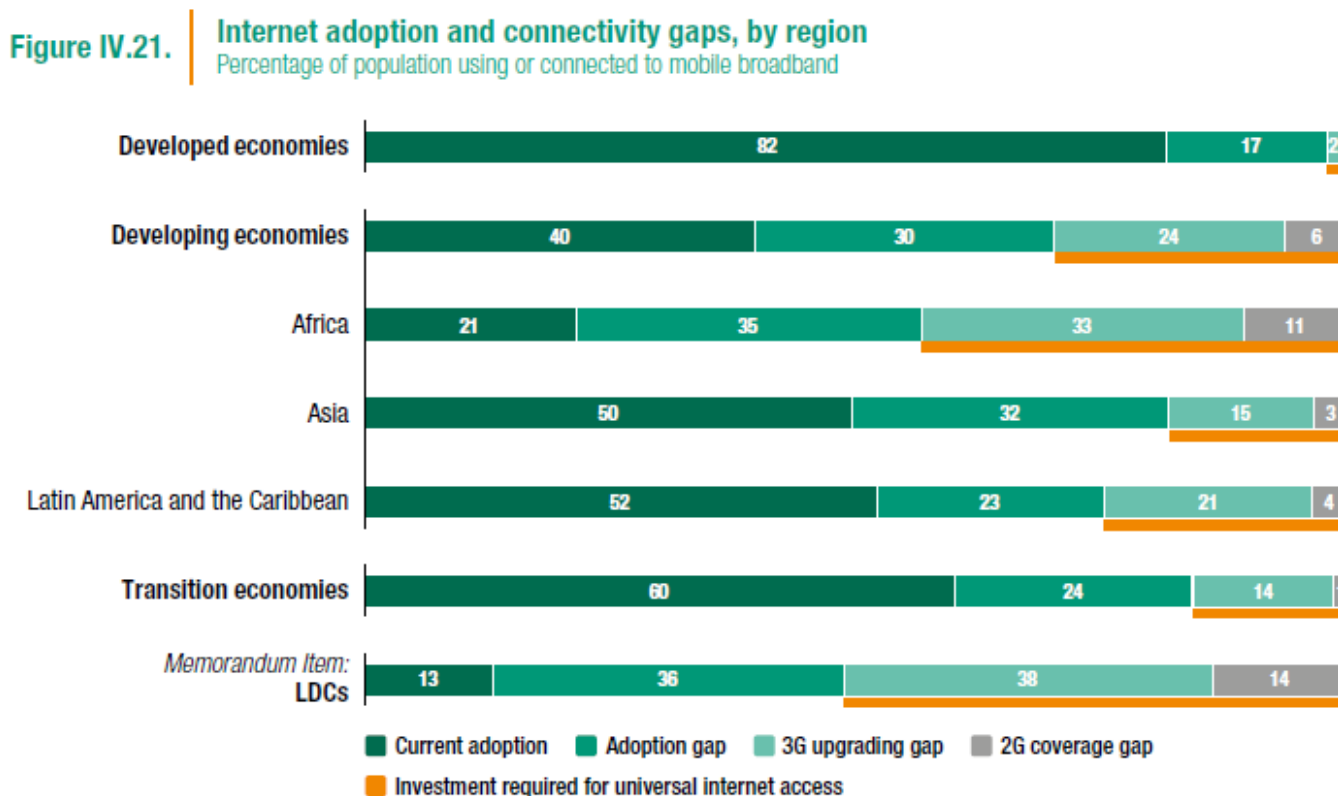


Figure 19 : Internet adoption and connectivity gaps, by region (percentage of population using or connected to mobile broadband [Source : UNCTAD, World Investment Report 2017, page 197])

2. Le Numérique comme levier de développement

L'Agenda pour le développement durable de 2030 et ses 17 Objectifs de Développement Durable (ODD, SDG en anglais), approuvés en 2015 par les dirigeants du monde entier, reconnaissent expressément le potentiel des technologies de l'information et de la communication pour le développement durable : « *La diffusion des technologies de l'information et des communications et l'interconnexion mondiale ont un grand potentiel pour accélérer le progrès humain, pour combler le fossé numérique et développer les sociétés du savoir* » (United Nations, 2015).

La connectivité elle-même fait l'objet de l'ODD 9.c qui vise à « *accroître nettement l'accès aux technologies de l'information et de la communication et s'efforcer de donner un accès universel et abordable à internet dans les pays les moins avancés d'ici à 2020* ».

Cette promulgation de l'importance du Numérique dans l'agenda du développement date en fait du début des années 2000 : en 2003 à Genève puis en 2005 à Tunis, les **conférences internationales du Sommet Mondial**

³⁹ Dans les zones non couvertes par les réseaux électriques, le budget mensuel peut monter à 3 €, dont un pour l'électricité et 2 pour les communications, alors que le revenu moyen est inférieur à 30 euros.

⁴⁰ Environ 40% de la population dans les pays en développement ne sait ni lire ni écrire (UNESCO, 2017)

pour la Société de l'Information (SMSI, *WSIS* en anglais) parrainées par les Nations Unies (UNESCO, UIT, UNCTAD, PNUD) identifient alors les principes et enjeux de l'édification de la société de l'information.

Le Forum du SMSI se tient annuellement depuis lors et sert de plateforme pour discuter du rôle du Numérique comme moyen de mise en œuvre des objectifs et cibles du développement durable, en tenant compte maintenant de l'Agenda pour le développement durable de 2030.

Une matrice résume les (nombreuses) contributions attendues de la part du Numérique pour atteindre les différents ODD, représentée sur la figure qui suit (Figure 20), 18 initiatives ayant été identifiées pour cela (cf. Figure 21).

I. WSIS Action Lines -SDGs Matrix (at a glance)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	e-gov	e-bus	e-lea	e-hea	e-emp	e-env	e-agr	e-sci	C8	C9	C10	C11
SDG 1																		
SDG 2																		
SDG 3																		
SDG 4																		
SDG 5																		
SDG 6																		
SDG 7																		
SDG 8																		
SDG 9																		
SDG 10																		
SDG 11																		
SDG 12																		
SDG 13																		
SDG 14																		
SDG 15																		
SDG 16																		
SDG 17																		

Figure 20 : WSIS Action lines – SDGs Matrix -at a glance- (1)
[Source : (WSIS, 2015)]

WSIS Action Lines		SDGs
ACTION LINE C1	<u>C1: The role of governments and all stakeholders in the promotion of ICTs for development</u>	Goal 1, 3.8, 3.d, Goal 5, 10.c, 16.5, 16.6, 16.10, 17.18
ACTION LINE C2	<u>C2: Information and communication infrastructure: an essential foundation for the Information Society</u>	1.4, 8.2, 9.1, 9.a, 9.c, 11.5, 11.b
ACTION LINE C3	<u>C3: Access to information knowledge</u>	Goal 1, Goal 2, Goal 3, Goal 4, Goal 5, Goal 6, Goal 7, Goal 8, Goal 9, Goal 10, Goal 11, Goal 12, Goal 13, Goal 14, Goal 15, Goal 16, Goal 17
ACTION LINE C4	<u>C4: Capacity building</u>	1.b, 2., 3.7, 3.b, 3.d, 4.4, 4.7, 5.5, 5.b, 6.a, 12.7, 12.8, 12.a, 12.b, 13.2, 13.3, 13.b, 14.a, 16.a, 17.9, 17.18
ACTION LINE C5	<u>C5: Building confidence and security in the use of ICTs</u>	1.4, 4.1, 4.3, 4.5, 5.b, 7.1, 7.a, 7.b, 8.1, 9.1, 9.c, 11.3, 11.b, 16.2, 17.8
ACTION LINE C6	<u>C6: Enabling environment</u>	2.a, 4.4, 5.b, 8.2, 8.3, 9.1, 9.c, 10.3, 11.3, 11.b, 16.3, 16.6, 16.7, 16.10, 16.b, 17.6, 17.14, 17.16
ACTION LINE C7	<u>C7 ICT Applications: i. e-government</u>	9.c, 16.6, 16.7, 16.10, 17.8
ACTION LINE C7	<u>C7 ICT Applications: ii. e-business</u>	1.4, 2.3, 5.b, 8.3, 8.9, 8.10, 9.3, 17.11
ACTION LINE C7	<u>C7 ICT Applications: iii. e-learning</u>	Goal 4
ACTION LINE C7	<u>C7 ICT Applications: iv. e-health</u>	1.3, 1.4, 1.5, 2.1, 2.2, Goal 3, 3.3, 3.8, 5.6, 5.b, 17.8, 17.19
ACTION LINE C7	<u>C7 ICT Applications: v. e-employment</u>	4.5, 8.5, 10.2, 12.6, 17.9
ACTION LINE C7	<u>C7 ICT Applications: vi. e-environment</u>	9.4, 11.6, 11.b, 13.1, 13.3, 13.b, Goal 14, Goal 15
ACTION LINE C7	<u>C7 ICT Applications: vii. e-agriculture</u>	1.5, 2.3, 2.4, 2.a, 3.d, Goal 4, 5.5, 8.2, 9.1, 9.c, 12.8, 13.1, 13.3, 17.16, 17.17
ACTION LINE C7	<u>C7 ICT Applications: viii. e-science</u>	1.5, 4.7, 6.1, 6.a, 7.a, 13.1, 13.2, 13.3, 14.a, 15.9, 17.6, 17.7
ACTION LINE C8	<u>C8: Cultural diversity and identity, linguistic diversity and local content</u>	2., 4.7, 6.b, 8.3, 8.9, 11.4, 12.b
ACTION LINE C9	<u>C9: Media</u>	5.b, 9.c, 12.8, 16.10
ACTION LINE C10	<u>C10: Ethical dimensions of the Information Society</u>	1.5, 2.3, 3.8, 4.7, 5.1, 8.36, 9.1, 10.2, 10.3, 11.3, 12.8, 13.3, 16.7, 16.10, 17.6, 17.7, 17.8, 17.18, 17.19
ACTION LINE C11	<u>C11: International and regional cooperation</u>	17.9, 17.16, 17.17

Figure 21 : WSIS Action lines – SDGs Matrix -at a glance- (2)
[Source : (WSIS, 2015)]

Paradoxalement, **seulement 3 des 244 indicateurs des ODD portent sur le numérique** (Ducass, 2018) :

- indicateur 5.b.1 : proportion de la population possédant un téléphone portable, par sexe ;
- indicateur 9.b.1 : proportion dans la valeur ajoutée totale de la valeur ajoutée des secteurs de moyenne et haute technologie ;
- indicateur 17.6.2 : abonnements à une connexion à l'internet à haut débit fixe pour 100 habitants, par vitesse de connexion.

3. Les perspectives à horizon 2025

La croissance du mobile devrait continuer à être forte dans les années à venir, les opérateurs de télécommunications voient les pays en développement comme l'un de leurs principaux relais de croissance (avec la 5G et l'IOT dans les pays développés). (GSMA, The Mobile Economy, 2018)

D'ici 2025, la pénétration de l'internet mobile devrait augmenter de 50% et atteindre 61% de la population mondiale. La majeure partie de l'augmentation (1,75 milliard) du nombre d'utilisateurs de l'internet mobile entre 2017 et 2025 viendra de **Chine** (environ 350 millions de nouveaux utilisateurs), de **l'Inde** (330 millions) et de **l'Afrique subsaharienne** (280 millions).

En termes de nombre de connexions mobiles, **la 4G deviendra la première technologie de réseau mobile en 2019 (plus de 3 milliards d'utilisateurs) et le sera toujours en 2025.** Cet essor coïncidera avec la quasi-disparition des réseaux de technologie 2G y compris dans les pays en développement. Sur les 2,5 milliards de nouvelles connexions 4G au cours des huit prochaines années, 1,1 milliard proviendra de trois grands marchés asiatiques (Inde, Chine et Indonésie) et 1 milliard d'autres viendront d'Amérique latine, du Moyen-Orient, d'Afrique du Nord et d'Afrique subsaharienne. La desserte des régions rurales sera également facilitée par l'arrivée graduelle à maturité dans les dix ans à venir de projets satellitaires (SpaceX, OneWeb, O3b) en orbite basse.

Ainsi les réseaux 4G deviendront-ils prédominants en Inde, ce qui s'accompagnera d'une croissance de presque 70% du taux d'adoption du smartphone :

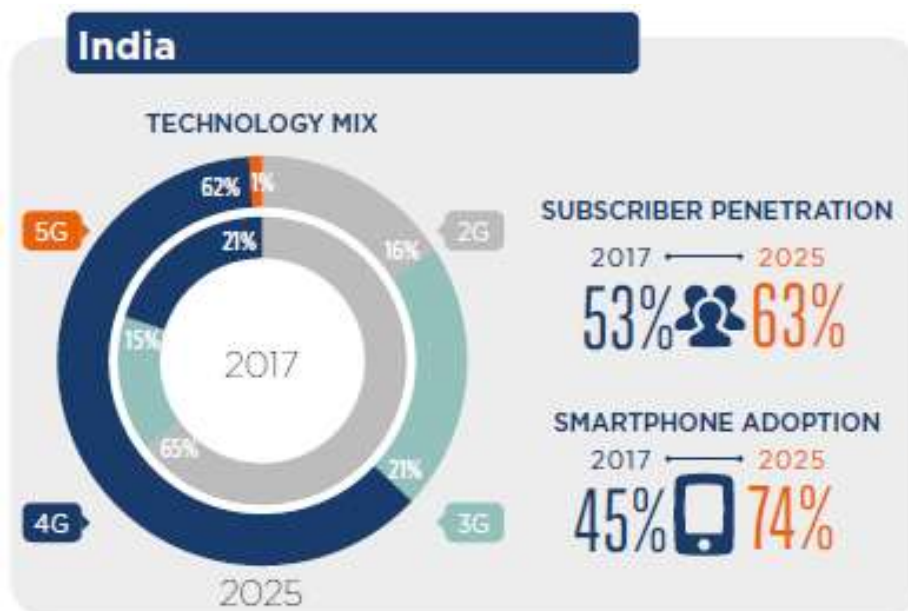


Figure 22 : Pénétration mobile en Inde
[Source : (GSMA, 2018)]

En Afrique sub-saharienne, ce sont les réseaux 3G qui deviendront majoritaires, permettant un doublement de la part de la population ayant accès à Internet :

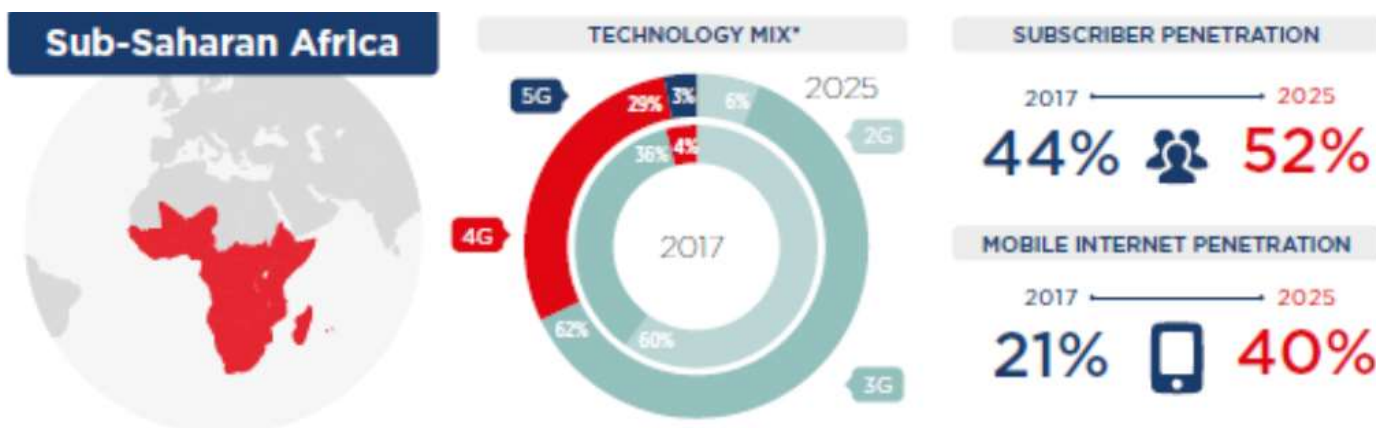


Figure 23 : Pénétration mobile en Afrique Sub-saharienne
[Source : (GSMA, Global Mobile Trends, 2017)]

Cette évolution des réseaux va s'accompagner d'une explosion du nombre de smartphones dans les pays en développement, permise notamment par le succès des smartphones à bas coût, tels que ceux produits par Huawei, Oppo, OnePlus et Xiaomi en Chine, Micromax en Inde, et AfriOne au Nigeria.

Smartphone adoption

Smartphones as a percentage of total mobile connections excluding cellular IoT

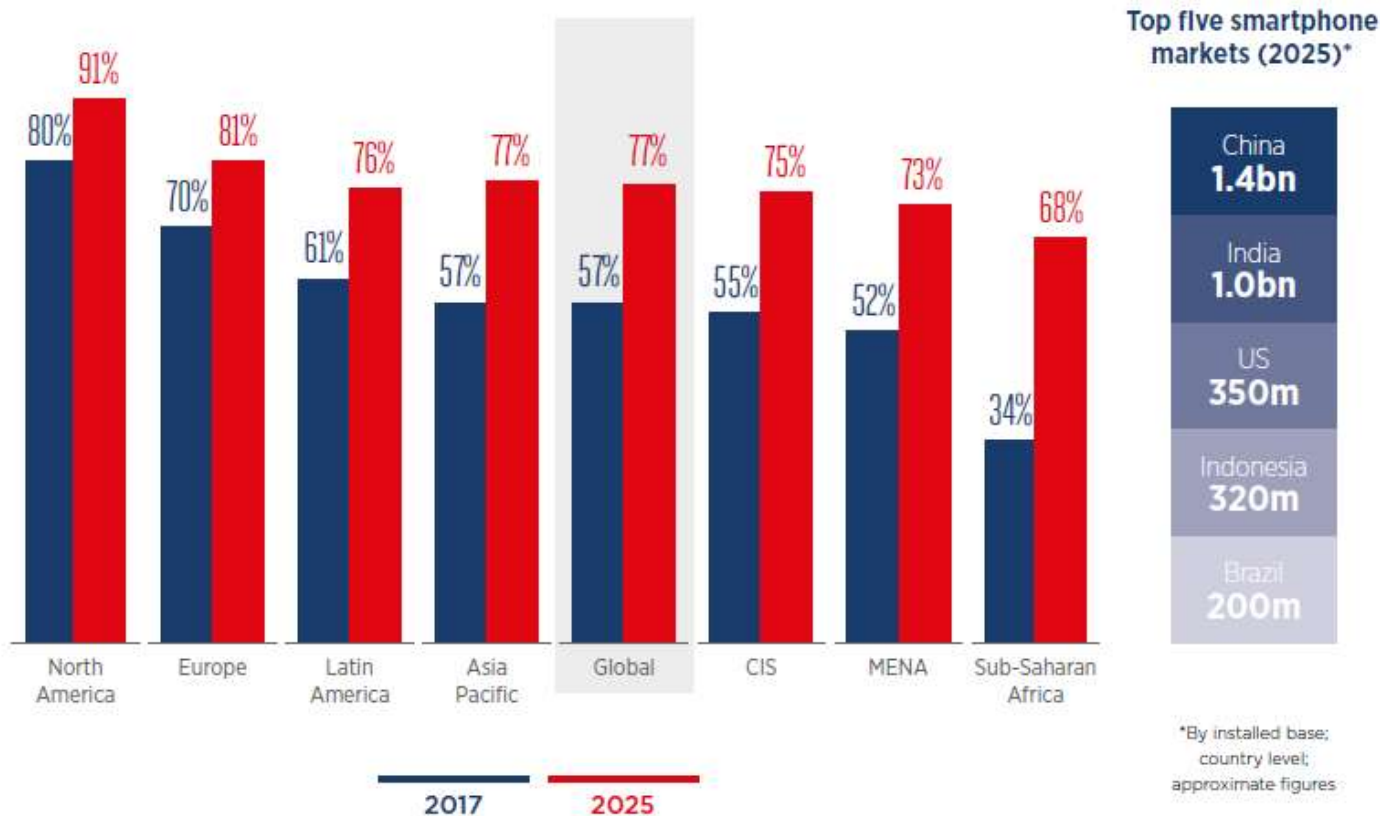


Figure 24 : Smartphones as a percentage of total mobile connections excluding cellular IoT
[Source : (GSMA, The Mobile Economy, 2018)]

4. Des politiques d'investissement encore peu détaillées

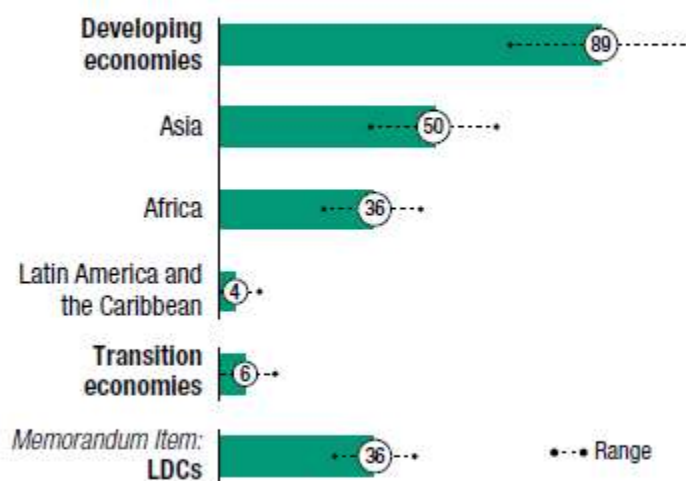
Table IV.3. Announced greenfield FDI projects in ICT infrastructure, by destination region, 2012–2016

Destination region	Number of projects	Jobs		Capital investment	
		Total	Average	Total (Millions of dollars)	Average (Millions of dollars)
Africa	145	11,337	78	24,877	171.6
Asia	357	27,121	76	36,612	102.6
Latin America and Caribbean	186	17,456	93	54,496	293.0
Transition economies	42	3,642	86	2,401	57.2
Total	730	59,556	81	118,386	162.2

Source: ©UNCTAD, based on information from Financial Times Ltd, FDI Markets (www.fdimarkets.com).

Figure 25 : Investissements étrangers en infrastructures numériques
[Source : (UNCTAD, World Investment Report 2017, 2017) p. 195]

Figure IV.22. Estimated investment costs of universal connectivity
Range estimates (Billions of dollars)



Total investment requirements for universal basic 3G coverage in developing and transition economies = **\$95 billion**

Source: ©UNCTAD, based on ITU World Telecommunication/ICT Indicators database.

Figure 26 : Estimated investment costs of universal connectivity
[Source : (UNCTAD, World Investment Report 2017, 2017, p. 198)]

Alors que des investissements importants dans les infrastructures ont été effectués ces dernières années (cf. Figure 25), et qu'un effort financier comparable reste à faire en Asie et surtout en Afrique pour rendre disponible l'accès à haut débit pour tous (cf. Figure 26), **les investissements nécessaires à une « Transition Numérique » des pays sont souvent insuffisamment quantifiés** et détaillés dans les plans stratégiques de développement mis en place par les gouvernements (UNCTAD, 2017) :

« De nombreux pays ont publié ou sont en train de préparer des stratégies de développement de l'économie numérique. Pourtant, la plupart des stratégies de développement numérique ne documentent pas adéquatement les besoins d'investissement, et celles qui le font se concentrent souvent exclusivement sur l'investissement dans l'infrastructure (couverture à large bande), et très peu sur le rôle potentiel de l'investissement étranger ou des API. Une stratégie globale de développement numérique devrait couvrir les investissements dans l'infrastructure et dans les entreprises numériques ainsi que ceux requis par les entreprises pour leur transition numérique.

[...] De nombreuses stratégies de développement numérique n'abordent pas la question de l'investissement ou ne mentionnent les besoins d'investissement que de façon très générale. Moins de 25% contiennent des détails sur les besoins d'investissement dans l'infrastructure, et moins de 5% sur les besoins d'investissement au-delà de l'infrastructure, y compris pour le développement des industries numériques. Les agences de promotion de l'investissement sont rarement impliquées dans la formulation de stratégies de développement numérique. »

5. Maîtriser la révolution Numérique

Comme la Banque mondiale l'a bien identifié dès 2016, **les effets structurels du Numérique ne sont ni toujours ni forcément positifs**, y compris dans les pays en développement (Banque mondiale, 2016) :

« Les technologies numériques stimulent la productivité et améliorent le bien-être général, mais les perturbations qu'elles provoquent sur le marché du travail peuvent être préjudiciables et conduire à un accroissement des inégalités [...] Une tendance connexe est la polarisation — ou l'érosion— du marché du travail qui s'observe non seulement dans les économies avancées, mais aussi de plus en plus dans beaucoup de pays en développement. La proportion des emplois réservés à une main-d'œuvre hautement qualifiée et celle des emplois faiblement qualifiés sont en hausse, tandis que celle des emplois semi-qualifiés est en baisse dans la plupart des pays en développement pour lesquels nous disposons de données détaillées. » (Banque mondiale, 2016, p. 33)

Figure A.17 Le marché du travail est de plus en plus polarisé dans de nombreux pays en développement

Variation annuelle moyenne de la répartition des emplois, de 1995 à 2012 environ

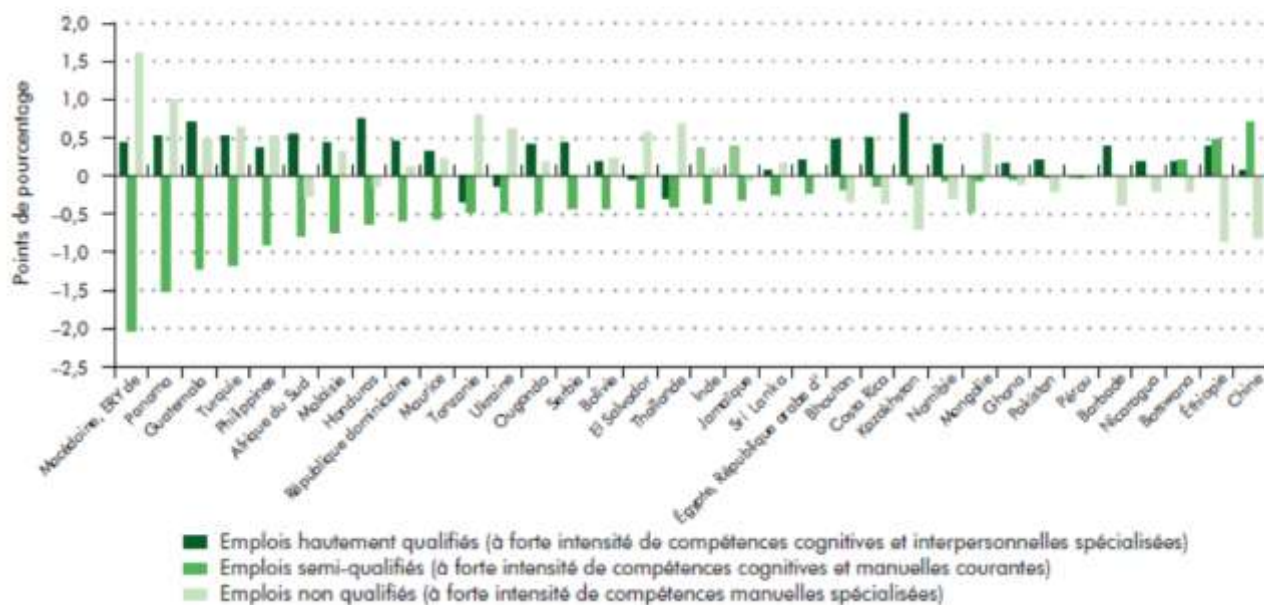


Figure 27 : Le marché du travail est de plus en plus polarisé dans de nombreux pays en développement [Source : (Banque mondiale, 2016, p. 22)]

Ou encore :

« Si les exemples de réussites individuelles abondent, les effets de la technologie sur la productivité mondiale, l'amélioration des opportunités pour les pauvres et la classe moyenne et la promotion d'une éthique de responsabilité dans la conduite des affaires publiques n'ont pas été à la hauteur des attentes. Les entreprises sont plus connectées que jamais, mais la croissance de la productivité mondiale a ralenti. Les technologies numériques transforment le monde du travail, mais les marchés de l'emploi se sont polarisés et les inégalités se creusent, surtout dans les pays les plus riches, mais aussi de plus en plus dans les pays en développement. Et alors que les démocraties sont de plus en plus nombreuses, la proportion d'élections libres et régulières recule. » (Banque mondiale, 2016, p. 14)

La même sonnette d'alarme a été tirée par l'ONU :

« « La digitalisation offre de belles opportunités pour le développement, c'est vrai, mais si nous y allons à l'aveugle nous n'en tirerons pas profit, bien au contraire », a mis en garde lundi la Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (CNUCED) lors du lancement de la quatrième édition de la Semaine du commerce électronique. »⁴¹

Ou encore :

« Cependant, la CNUCED relève aussi dans son rapport que la diffusion des nouvelles technologies est si rapide que la société – et les décideurs – pourraient bien être incapables de s'adapter aux changements radicaux qui l'accompagnent. De plus, les technologies de pointe peuvent aggraver les déséquilibres économiques, sociaux et technologiques existants, et creuser les inégalités. » (UNCTAD, Communiqué de presse, 2018)

Il est donc clair que **la transition Numérique doit s'accompagner de mesures structurelles** – notamment de politiques publiques – permettant de maîtriser ses impacts et d'en faire un véritable catalyseur du développement durable :

« La connectivité est essentielle, mais pas suffisante, pour récolter tous les fruits des technologies numériques. Les investissements dans le numérique doivent être appuyés par des « compléments analogiques » : des réglementations qui permettent aux entreprises d'exploiter l'internet pour affronter la concurrence et innover ; de meilleures compétences pour que les individus puissent saisir toutes les possibilités offertes par le numérique ; et des institutions responsables, afin que les pouvoirs publics répondent aux besoins et aux exigences des citoyens. Les technologies numériques pourront, à leur tour, renforcer ces compléments, et accélérer le rythme du développement. » (Banque mondiale, 2016)

⁴¹ Isabelle Durant, Secrétaire Générale Adjointe de la CNUCED, 16 avril 2018. Sur <https://news.un.org/fr/story/2018/04/1011212>, consulté le 19/09/2018

Ces réformes prendront cependant de nombreuses années à porter leurs fruits alors que le rythme des évolutions technologiques ne cesse d'accélérer.

D'où la nécessité pour les bailleurs internationaux d'accorder une attention particulière à **replacer le soutien à la Transition Numérique dans une approche holistique** :

« La CNUCED recommande une action internationale concertée pour développer les compétences technologiques et soutenir toutes les formes d'innovation dans les pays en développement. Les pays les moins avancés, en particulier, devraient bénéficier d'un appui international lorsqu'ils cherchent à renforcer leurs capacités et à créer un environnement qui permettra de tirer parti des technologies de pointe. » (UNCTAD, Communiqué de presse, 2018)

b. Le Numérique et l'environnement

1. Contexte institutionnel

Si la nécessité de gérer et d'anticiper les conséquences sociales et culturelles de la transition numérique est maintenant identifiée, **son interaction avec les problématiques de transition énergétique et de changement climatique n'est, elle, pas prise en compte** à ce stade dans l'élaboration des politiques d'investissement, y compris dans les plus récentes recommandations des Nations Unies (Figure 28).

Table IV.9. | Policy framework for investment in the digital economy



Source: ©UNCTAD.

*Figure 28 : Policy framework for investment in the digital economy
[Source : (UNCTAD, World Investment Report 2017, 2017, pp. 189, 216)]*

Comme souvent, il semble acquis au sein de beaucoup d'organisations internationales que le Numérique ne pose pas de problème environnemental, voire que tout investissement de cette nature ou tout usage qui en est fait est **forcément bénéfique sur ce plan, y compris du point de vue du changement climatique et de l'épuisement des ressources naturelles** :

« Objectif 13 : Action climatique.

Les technologies numériques peuvent contribuer à l'atténuation des changements climatiques et à l'adaptation à ces changements. On estime que les économies mondiales de CO₂ résultant de l'utilisation efficace des TIC représentent 15% des émissions mondiales. Les technologies de l'information et de la communication peuvent également être utilisées pour surveiller les impacts du changement climatique. Par exemple, une équipe spéciale conjointe de l'UIT, de l'Organisation météorologique mondiale et de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture étudie l'utilisation de câbles sous-marins de télécommunications pour la surveillance des océans et du climat et pour l'alerte aux catastrophes. » (UNCTAD, 2017, p. 195)

« Objectif 2 : Réaliser le développement à l'intérieur des limites de la planète.

[...] Plus précisément en ce qui concerne le changement climatique, le Haut Débit et les TIC joueront un rôle central en aidant à maintenir l'humanité à l'intérieur de cette frontière grâce au passage à une économie à faible émission de carbone basée sur des services dématérialisés plutôt que sur des produits. Alors que l'empreinte carbone des TIC devrait atteindre 1,27 GtCO₂e d'ici 2020, le potentiel total de réduction des TIC est sept fois plus élevé. » (UNESCO I. , 2015)

« Objectif 8 : Freiner les changements climatiques d'origine humaine et garantir une énergie propre pour tous.

[...] Les solutions transformatrices à large bande permettent de réinventer les modèles d'affaires ou de permettre aux pays de passer de technologies à fortes émissions de GES à un développement à faible émission de carbone. Ces innovations comprennent les bâtiments intelligents, les voitures électriques à zéro émission et les services en ligne tels que la santé en ligne, l'éducation en ligne, le commerce électronique, la gouvernance en ligne et le télétravail. On estime que la technologie mobile à elle seule pourrait réduire les émissions de GES de 2% d'ici 2020. » (UNESCO I. , 2015)

On retrouve la même absence de préoccupation (absence de conscience ?) des impacts environnementaux du Numérique dans les « Principles for digital development » (voir

Annexe 7 : Principles for digital development, p. 81), liste de bonnes pratiques élaborées ces dernières années par des organismes internationaux à la suite de l'échec d'un nombre important de projets numériques qu'ils avaient soutenus dans les années 2000.

Il n'est nulle part fait mention par exemple des conséquences environnementales, politiques et sociales de l'accélération de l'extraction des métaux (notamment rares) nécessaires à la fabrication des équipements numériques, sachant qu'une partie importante de la production de ces métaux se trouve dans des pays en développement, ainsi d'ailleurs que la majeure partie des déchets électroniques des pays développés.

Et de même que pour les pays développés (bien que dans un contexte différent), l'importance des émissions de GES dues au Numérique et leur taux de croissance exigent pourtant que l'on s'en préoccupe, comme le montre l'exercice prospectif qui suit.

2. Approche prospective

Il est difficile de disposer de données statistiques précises sur l'ensemble des pays en développement ; nous avons donc restreint l'exercice de prospection (horizon 2023) à deux ensembles géographiques dont les problématiques sont représentatives et dont la population de 2,3 milliards d'habitants représente environ les 2/3 de la population des pays en développement⁴².

L'adoption de l'internet en Afrique subsaharienne se poursuit de façon accélérée, sous l'impulsion de l'essor de la téléphonie mobile. Le nombre d'abonnés mobiles à internet dans la région a quadruplé depuis le début de cette décennie, puisque cette technologie est la seule plateforme disponible pouvant permettre à l'immense majorité de la population de se connecter, faute de réseaux fixes. Sur la période allant jusqu'en 2025, cela sera le cas de près de 300 millions de personnes supplémentaires. Cette augmentation associée à une croissance du parc de smartphones de 20% par an entraînera une croissance du trafic de plus de 60%. Mais malgré cette croissance rapide, environ 800 millions de personnes (soit les 2/3 de la population) resteront non connectées à internet en 2025.

L'Inde continuera d'être l'un des principaux moteurs de la croissance du marché des smartphones au cours des prochaines années, en augmentation de plus de 500 millions d'ici 2025 (22% du total mondial). D'ici là, les connexions de smartphones dans le pays représenteront les trois quarts des connexions totales, contre 45% en 2017. L'Inde prévoit de lancer un vaste programme de déploiement de réseaux commerciaux 5G en 2020 pour dynamiser la performance et la capacité des réseaux mobiles existants, sachant par ailleurs que les réseaux 4G (qui n'ont décollé qu'en 2017 grâce à la guerre des prix des données déclenchée par l'opérateur de télécommunications Reliance Jio) se généralisent à grands pas. Le fossé numérique est malgré tout très important à l'intérieur du pays puisqu'en 2017, 71% de la population (soit 950 millions de personnes) n'est pas encore connectée à internet, et 50% ne le sera toujours pas en 2025 !

Dans ces deux régions, le **trafic vidéo** représentera en 2025 plus de 80% du trafic total, soit un ratio qui se rapproche de celui des pays développés, qui est à la source des besoins d'augmentation de bande passante sur les réseaux et qui dénote une convergence des usages.

En conséquence, **la consommation énergétique attribuable au Numérique** (production des équipements achetés, consommation électrique venant des usages) **de l'Afrique sub-saharienne et de l'Inde va augmenter fortement de 2017 à 2023, respectivement de 27% et 16% par an**, soit un rythme de croissance du triple et du double de la moyenne mondiale.

Digital energy consumption (TWh)	2017	2020	2023	CAGR 2017-2023
Sub-saharian Africa	34	70	143	27%
India	95	142	239	16%
Total electricity consumption (TWh)				
Sub-saharian Africa	449	514	588	4,60%
India	1136	1336	1547	5,00%
"Digital share" of electricity consumption				
Sub-saharian Africa	7,6%	13,7%	24,3%	21%
India	8,4%	10,7%	15,5%	10%

Tableau 14 : Evolution 2017-2023 de la consommation énergétique du Numérique en Inde et en Afrique sub-saharienne
[Source : [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produit par The Shift Project]

⁴² Liste des pays « low human development » et « medium human development » établie par l'UNDP, sur <http://hdr.undp.org/en/composite/HDI>, consulté le 30/09/2018

Bien que l'augmentation de la consommation d'électricité (tous secteurs) dans ces régions soit bien plus forte que la moyenne mondiale (environ 5% par an au lieu de 3% par an), la croissance du Numérique est si forte que, **si l'on rapporte la consommation énergétique du Numérique à la consommation d'électricité**, cette proportion passe :

- En Afrique sub-saharienne, de 8% en 2017 à **24% en 2023**
- En Inde, de 8% en 2017 à **15% en 2023**

Rappelons que ce ratio sur le périmètre mondial était de 14% en 2017 et devrait être de l'ordre de 18% en 2023.

La répartition de l'énergie consommée par le Numérique dans ces régions y est cependant très différente de ce qu'elle est en moyenne mondiale : **la part de l'énergie consommée pour la fabrication des équipements (principalement des smartphones) y est de 80%** alors qu'elle n'est « que » de 50% en moyenne mondiale.

Pourtant, le nombre d'équipements numériques communicants par habitant en 2023 y restera relativement modeste (Cisco, VNI Mobile Forecast Highlights, 2016-2021, 2018b) : 1,4 en Afrique sub-saharienne et 1,6 en Inde.

Soit à peu près la valeur du ratio mondial (1,5) en 2011, et la moitié de ce qu'il sera (3,2) en 2020.

Et le dixième de ce que sera ce ratio aux Etats-Unis en 2023, soit 16,2 !

	2016	2021	CAGR
Asia Pacific	1.9	2.9	8.3%
Central and Eastern Europe	2.5	3.8	9.1%
Latin America	2.1	2.9	7.0%
Middle East and Africa	1.1	1.4	5.4%
North America	7.7	12.9	11.0%
Western Europe	5.3	8.9	10.9%
Global	2.3	3.5	8.5%

Source: Cisco VNI, 2017.

Tableau 15 : Nombre d'équipements numériques par habitant par région
[Source : (Cisco, 2017a)]

La question est donc plutôt de savoir comment ce ratio moyen va se distribuer à l'intérieur des pays car il ne faudrait pas que la croissance augmente la fracture numérique existante.

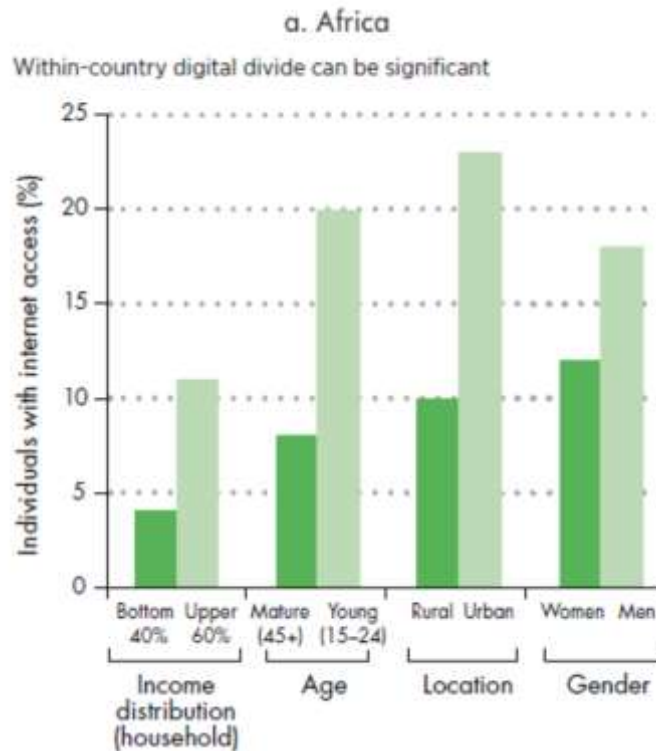


Figure 29 : Disparité de l'accès à internet au sein des pays africains
[Source : (Banque mondiale, 2016, p. 9)]

Contrairement au cas des pays très développés, la croissance prévue dans les PED dans les 6 ans à venir les amène à un taux d'équipement relativement faible.

En outre, **le Numérique dans les PED⁴³ représente 7% de l'énergie consommée dans le monde par le Numérique en 2017 et ne devrait pas excéder 13% en 2023, alors qu'environ 50% de la population mondiale se trouve dans ces pays.**

Digital energy consumption (TWh)	2017	2020	2023
Developing countries	194	319	574
World	2861	3512	4486
% developing countries	7%	9%	13%

Tableau 16 : Évolution et part de l'énergie consommée par le Numérique dans les PED
[Source : [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produit par The Shift Project]

A l'échelle de la planète et pour les 6 ans à venir, l'impact de la croissance du Numérique dans les pays en développement sur la consommation énergétique mondiale et l'évolution des émissions de gaz à effet de serre est donc relativement peu important.

L'enjeu principal dans cette période se trouve clairement du côté des pays (très) développés.

Cependant, **le taux de croissance effréné du parc de smartphones (15% à 20% par an selon les pays) et du trafic de données (30% à 60%) fait du Numérique un véritable enjeu environnemental local :**

- Une part importante du marché des smartphones est captée par des fabricants chinois qui ne divulguent aucune information sur l'empreinte environnementale de leurs produits, ce qui laisse présager le pire plutôt que le meilleur ;
- Les circuits de prise en charge des équipements en fin de vie, déjà très parcellaires voire inexistantes, ne pourront pas monter en charge suffisamment vite pour éviter les décharges sauvages de déchets et la pollution des sols qui s'ensuit ;

⁴³ Liste des pays « low human development » et « medium human development » établie par l'UNDP, sur <http://hdr.undp.org/en/composite/HDI>, consulté le 30/09/2018

- La quantité de CO₂ embarqué⁴⁴ dans les smartphones importés est du même ordre de grandeur que celle résultant de l'augmentation de la consommation d'énergie primaire au sein du pays : par exemple, **les achats d'équipements Numériques en Afrique sub-saharienne entre 2017 et 2023 représenteront près de 54% des émissions de CO₂ engendrées par l'augmentation de la consommation d'énergie primaire** (International Energy Agency (IEA), 2014).

Il est donc impératif de pouvoir prendre en compte le Numérique dans les plans d'action de mise en œuvre des trajectoires NDC (Nationally Determined Contributions).

La Banque mondiale a mis en évidence en 2016 dans son rapport annuel sur le développement dans le monde (Banque mondiale, 2016) la nécessité pour les pays **d'agir sur des dimensions structurelles** (marché, formation, gouvernance) pour retirer des dividendes économiques, sociaux et culturels des investissements numériques des dix dernières années.

De même, il est plus que probable que **les bénéfices environnementaux attendus de la Transition Numérique ne se produiront que si elle est pilotée en fonction de cet objectif.**

Pour paraphraser Isabelle Durand, Secrétaire générale adjointe de la CNUCED, nous pouvons affirmer que « *la transition numérique offre de belles opportunités pour l'environnement, c'est vrai, mais si nous y allons à l'aveugle nous n'en tirerons pas profit, bien au contraire.* »⁴⁵

Le paragraphe suivant a l'ambition de donner quelques outils et préconisations permettant d'exercer un tel pilotage, que ce soit au niveau de la conception de stratégies numériques nationales ou de l'étude de projets spécifiques.

c. Préconisations

Le taux de croissance effréné du Numérique peut conduire à une perte de contrôle ou/et à l'accentuation de déséquilibres existants, comme l'a relevé la CNUCED. Mais deux éléments supplémentaires rendent nécessaire l'intégration de la dimension environnementale dans les stratégies publiques numériques des pays en développement :

- sans que cela soit forcément explicité, **les projets de numérisation d'activités sont considérés comme centraux dans les efforts de réduction de GES**, et il importe de vérifier que les conditions sont bien réunies pour que cela soit le cas. Faute de quoi, le risque est grand non seulement de ne pas obtenir les résultats escomptés, mais également d'omettre de s'engager sur d'autres pistes qui seraient, elles, efficaces.
- **la part du Numérique dans les investissements qui sont entrepris est croissante**, y compris de la part des bailleurs internationaux. Ainsi, les engagements annuels de la Banque mondiale pour financer des investissements numériques en Afrique représentent depuis 2014 20% des montants consacrés aux infrastructures⁴⁶ (transports, énergie, eau, assainissement, numérique), soit le double par rapport à la décennie précédente. Or, les bailleurs internationaux se doivent maintenant d'intégrer une évaluation des impacts environnementaux de ces investissements dans leur processus d'attribution de financement.

La prise en compte de la dimension environnementale au sein de ces stratégies peut se faire en appliquant **quatre principes** :

1. Formalisation et quantification

Les rapports de la Banque mondiale et de la CNUCED ont établi la nécessité de formaliser les actions illustrant la contribution du Numérique aux plans de développement social, économique et culturel, de quantifier les investissements qui les sous-tendent et les résultats attendus. Sur cette base, il est possible et essentiel de **formaliser et quantifier les impacts environnementaux (GES notamment), qui sont directement liés à ces investissements et usages**. Il faut également quantifier les effets indirects positifs et négatifs de la présence de la composante Numérique sur l'empreinte environnementale des projets dans lesquels elle s'intègre.

2. Priorisation

⁴⁴ Emissions de CO₂ associées à la phase de production du terminal

⁴⁵ Isabelle Durant, Secrétaire Générale Adjointe de la CNUCED, 16 avril 2018. Sur <https://news.un.org/fr/story/2018/04/1011212>, consulté le 19/09/2018

⁴⁶ La moyenne des engagements nouveaux annuels sur l'ensemble des infrastructures est de 500m\$ depuis 2014 et de 100m\$ pour les projets numériques, sur www.worldbank.org/projects

Les usages numériques ne cessent de se diversifier, mais leur croissance est essentiellement tirée par l'offre et le pouvoir de marché des GAFAM (ou leurs rivaux chinois, les BATX, de plus en plus présents en Asie mais également en Afrique). Il est donc nécessaire d'être très attentif à **privilégier les projets numériques ayant pour finalité le développement économique local, social (santé, éducation) ou culturel, et d'intégrer dans leur évaluation les impacts environnementaux**. Une attention particulière à l'optimisation de ces impacts doit être donnée pour les projets des secteurs du transport, de l'énergie et du bâtiment, qui sont les plus gros émetteurs de GES.

3. Exigence

A travers des politiques publiques adaptées (normes, taxes, etc.), il est possible et nécessaire de privilégier l'achat d'équipements et de services à faible empreinte carbone et de favoriser l'allongement de la durée d'amortissement des terminaux légers : smartphones, PC portables. Au sein des administrations et entreprises publiques et/ou **pour des projets subventionnés par des fonds publics, il faut imposer la présence d'un cahier des charges « lean »**, intégrant des contraintes de sobriété énergétique.

Faciliter, voire imposer la **planification conjointe des infrastructures d'électricité et des infrastructures numériques** (réseaux, data centers) permet d'optimiser les coûts et le rythme de couverture des régions rurales mais également de réduire les émissions de GES.

4. Localisation de l'écosystème

Favoriser le développement d'un écosystème numérique local est environnementalement vertueux et est indispensable, comme l'explique la Banque mondiale (Banque mondiale, 2016), pour retirer les dividendes du numérique : **développement de contenus locaux (informations et langues) sur les sites, hébergeurs nationaux ou régionaux etc.**

En ce qui concerne les équipements et notamment les terminaux, maximiser leur durée de vie et d'usage la plus longue possible : taxer les smartphones sans batterie extractible, favoriser le développement économique des entreprises de réparation, obliger les importateurs à organiser la récupération et le recyclage des terminaux obsolètes ou non réparables, etc.

Ces principes définissent par là-même le **concept de « sobriété numérique »** tel qu'il peut s'appliquer au contexte des pays en développement et tel qu'il peut être promu par les bailleurs internationaux.

Il ne s'agit pas ici de prôner la désintoxication de « paradis artificiels numériques » tels qu'on peut qualifier certaines approches dans les pays développés, mais de **maximiser l'efficacité (environnementale mais aussi économique et sociale) du Numérique dans les stratégies de développement**.

Conclusions

Avant d'en venir aux préconisations débouchant de ce travail d'analyse et de modélisation, rappelons les constats principaux que nous avons pu établir.

- **La tendance actuelle de surconsommation numérique dans le monde n'est pas soutenable au regard de l'approvisionnement en énergie et en matériaux qu'elle requiert.**

La Transition Numérique **telle qu'elle est mise en œuvre actuellement** résulte en une augmentation forte de l'empreinte énergétique directe du Numérique, en croissance annuelle de **9% à 10%** selon les jeux d'hypothèses.

Cette hyper-croissance se produit malgré les progrès réguliers enregistrés jusqu'ici en termes d'efficacité énergétique des équipements et des systèmes numériques et a pour conséquences :

- La captation d'une part progressivement démesurée de l'électricité disponible, ce qui accroît la tension sur la montée en charge des sources de production décarbonée ;
- L'augmentation de moitié en 5 ans de la part du Numérique dans les émissions de GES (2,5% à 3,7% entre 2013 et 2018) et un doublement de ce ratio d'ici 2025 (si le trafic de données continue à croître de 30% par an) ;
- Une demande croissante en métaux rares et critiques dont beaucoup se trouvent être également indispensables aux technologies énergétiques bas-carbone, d'où un risque de tension sur les approvisionnements, accru par le quasi-monopole de la Chine sur la plupart d'entre eux.

- **L'intensité énergétique de l'industrie numérique dans le monde augmente.**

La comparaison du taux de croissance annuel de 9% de la consommation énergétique du Numérique que nous avons mis en évidence, avec l'évolution du chiffre d'affaires du secteur (environ 5%, (Arthur D. Little, 2017)) tend à montrer une **dégradation de son intensité énergétique de presque 4% par an**, ce qui va à l'encontre de l'amélioration de l'intensité énergétique du PIB mondial, qui progresse actuellement de 1,8 % par an.

Dit autrement, **consommer un euro de Numérique en 2018 induit une consommation d'énergie directe et indirecte supérieure de 37% à ce qu'elle était en 2010**. Cette tendance est exactement inverse à celle généralement attribuée au Numérique et va à l'encontre des objectifs de découplage énergétique et climatique fixés par l'Accord de Paris.

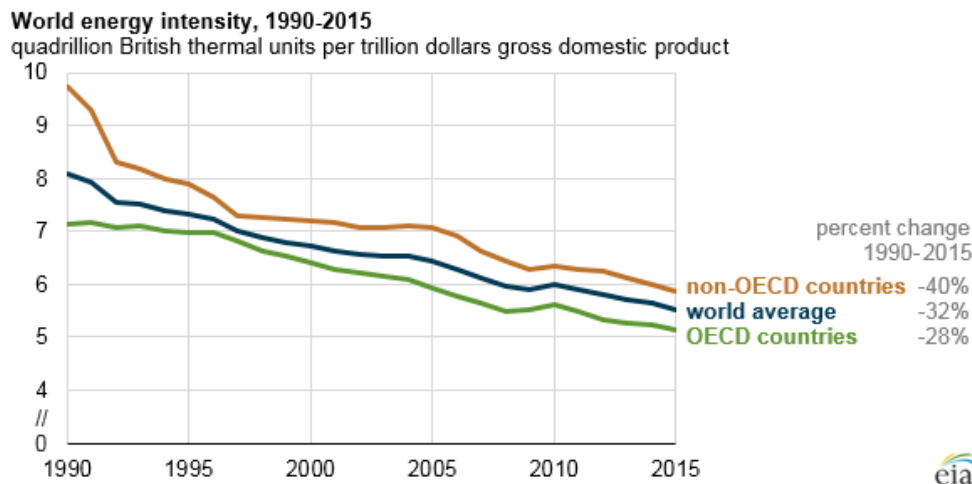


Figure 30 : Intensité énergétique mondiale
[Source : (EIA, 2016)]

- **La surconsommation numérique n'a pas d'impact perceptible sur la performance économique globale.**

L'observation de l'évolution comparée du PIB mondial et des dépenses numériques montre un **différentiel de croissance significatif en faveur du Numérique**. Il est passé de 1,5 point en 2013 à 3 points depuis 2016 en ce qui concerne la zone OCDE, ce qui coïncide avec le déploiement de la Transition Numérique dans ces pays. Pourtant, alors que la croissance du Numérique s'accélère, le taux de croissance économique stagne.

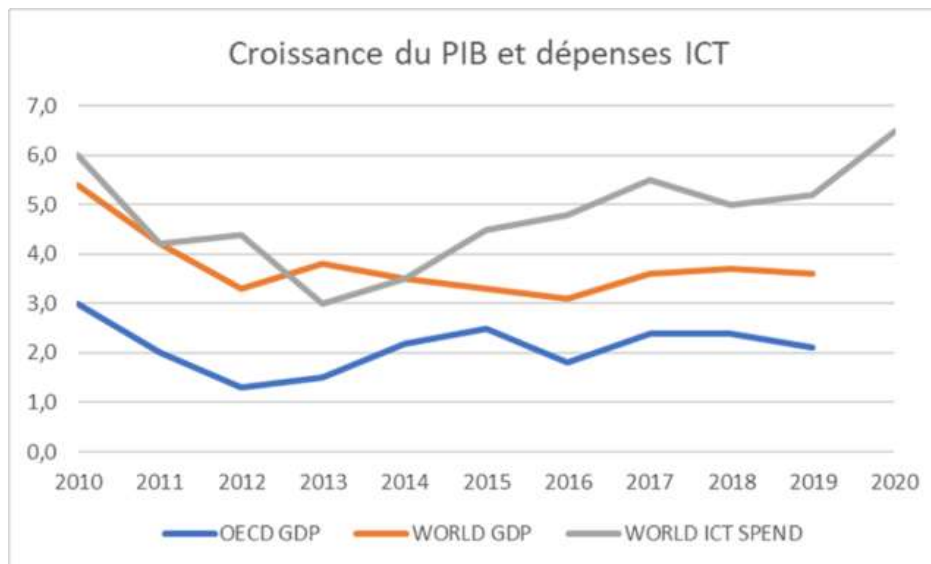


Figure 31 : Évolution comparée des taux de croissance des dépenses ICT et du PIB
[Source : (IDC, IDC State of the Market 4Q17: IT Spending Review and Outlook, 2017c)]

Quant à l'impact positif du Numérique sur la productivité, autant il y a consensus sur sa réalité lors de la période d'informatisation des entreprises (1990 à 2000 environ), autant les avis divergent en ce qui concerne la Transition Numérique actuelle (depuis 2013) dans les pays développés.

- **L'impact environnemental de la Transition Numérique devient gérable si elle est plus sobre.**

Le scénario « Sobriety » que nous avons étudié permet de contenir l'augmentation de consommation d'énergie du Numérique à 1,5 % (au lieu de 9% actuellement), soit un taux similaire à la tendance globale (tous secteurs confondus).

Il ne remet pas en cause le principe même d'une Transition Numérique : le volume de données transitant dans les data centers croît de 17% par an, le trafic sur les réseaux mobiles de 24% par an, le nombre de nouveaux terminaux produits chaque année se stabilise au niveau de 2017 alors que les marchés des pays les plus développés sont proches de la saturation. Il ne suffit cependant pas à réduire l'empreinte environnementale numérique.

- **La consommation numérique actuelle est très polarisée.**

Les profils de consommation numérique sont extraordinairement contrastés : en 2018 et en moyenne, un habitant aux Etats-Unis possède près de 10 périphériques numériques connectés et consomme environ 140 Gigaoctets de données par mois, alors qu'un Indien en possède 1 et consomme 2 Gigaoctets.

La surconsommation n'est pas généralisée et est le fait des pays développés et notamment des Etats-Unis.

Regional split 2016	Population (millions)	Devices per capita	Traffic per capita (GB/mth)	GES (MtCO2e)	GES per capita (kgCO2e)
USA	322	7,8	97,0	331	1027
Western Europe	415	5,3	34,0	201	486
Japan	126	6,3	35,0	60	474
China	1374	2,5	12,0	400	291
Developing countries	3700	1,1	1,5	238	64
World	7500	2,3	13,0	1630	217

Tableau 17 : Répartition géographique de la consommation numérique et de ses émissions de GES
[Source : [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produit par The Shift Project à partir des données publiées par (Cisco, 2017b)]

Cette situation a pour conséquence que **l'empreinte carbone numérique d'un Américain est 16 fois plus importante que celle d'un habitant d'un pays en développement** et 5 fois plus importante que la moyenne mondiale, alors que ce dernier ratio n'est « que » de 3,5 pour l'ensemble des émissions de GES (OCDE, 2018).

Compte tenu des constats que nous venons de rappeler, la simple application d'un principe de précaution⁴⁷ devrait conduire à interroger au moins le contenu de la Transition Numérique actuelle.

⁴⁷ « Principe selon lequel l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque dans les domaines de l'environnement, de la santé

Car autant le Numérique pourrait servir à repenser les usages et modifier les modes de fonctionnement et de production pour aboutir à une réduction des émissions de GES, voire à une réduction de la consommation énergétique (réseaux électriques intelligents, mobilité et transports intelligents, monitoring environnemental et urbain, dématérialisation, télétravail et visioconférence, bâtiments intelligents et écoconception logicielle), autant ceci n'aura une chance de se produire qu'à la condition de maîtriser les « effets rebond » dans ces secteurs.

Or, **jusqu'ici, les effets rebond se sont montrés plus importants que les gains apportés par l'innovation technologique** (Magee & Devezas, 2017). Par exemple, les bénéfices environnementaux du télétravail sont largement inférieurs à ceux intuitivement escomptés⁴⁸, en tout cas lorsqu'il n'est pas combiné à d'autres changements de l'écosystème social.

Il est donc illusoire de considérer *a priori* que le bilan énergétique global d'une Transition Numérique (d'un service, d'une entreprise, d'un pays) soit voué à être largement vertueux, voire même simplement équilibré.

Pour que la Transition Numérique puisse concourir à une réduction de la consommation d'énergie globale d'un système, il est donc indispensable de modifier nos modes de consommation et d'intégration du Numérique dans nos projets, à travers les préconisations suivantes.

1. Adopter la sobriété numérique comme principe d'action

Réduire l'empreinte énergétique et environnementale du Numérique passe par un retour à une capacité individuelle et collective à interroger l'utilité sociale et économique de nos comportements d'achat et de consommation d'objets et de services numériques, et à les adapter en conséquence afin d'éviter l'intempérance.

Limitier au maximum le renouvellement des terminaux, éviter la multiplication des copies numériques et segmenter nos usages vidéo sont des actions indispensables.

Un comportement numérique sobre consiste essentiellement à acheter les équipements les moins puissants possibles, à les changer le moins souvent possibles, tout en réduisant les usages énergivores superflus (pièces jointes volumineuses, vidéo...).

2. Informer et faire prendre conscience

Accélérer la prise de conscience des impacts environnementaux du Numérique dans les entreprises et organisations publiques (via les DSI et les DDD), au sein du grand public (étiquetage) et dans le monde de la Recherche.

3. Mobiliser le levier de la commande publique

Faire en sorte **que les organismes publics intègrent ces impacts comme critère de décision** dans leurs politiques d'achat et d'utilisation des équipements numériques, ceci dans les pays développés comme dans les pays en développement.

4. Permettre aux entreprises et aux organisations de piloter environnementalement leur Transition Numérique

Faire en sorte que les entreprises et les organismes publics disposent de **références et d'outils leur permettant de prendre en compte l'impact environnemental de la composante numérique des choix qu'elles envisagent**, à différents niveaux de pilotage : direction générale lors de la définition des stratégies, direction d'entités lors de l'organisation des activités opérationnelles, direction des systèmes d'information pour la gestion des infrastructures numériques. Sur ce dernier point, **il est décisif que des exigences d'efficacité énergétique soient clairement exprimées vis-à-vis des fournisseurs de services**, notamment en matière de développement logiciel et de services dans le « cloud ». En tirant parti de l'exemple du REN, appuyer la mise en place d'une **base de données publique** pour permettre aux acteurs d'analyser leurs impacts environnementaux.

ou de l'alimentation », Glossaire de Vie Publique, sur <http://www.vie-publique.fr/th/glossaire/principe-precaution.html>, consulté le 30/09/2018

⁴⁸ Cf rapport « Décarboner la mobilité dans les zones de moyenne densité », The Shift Project, 2017, sur <https://theshiftproject.org/article/publication-du-rapport-decarboner-la-mobilite-dans-les-zones-de-moyenne-densite-cest-possible/>, consulté le 30/09/2018

5. Procéder à un bilan carbone des projets numériques pour faciliter leur priorisation

Face à la pression de l'offre (GAFAM, BATX) et à l'hyper-croissance attendue des usages numériques, il est nécessaire d'être très attentif à **privilégier les projets numériques ayant pour finalité le développement économique local, social (santé, éducation) ou culturel, et d'intégrer dans leur évaluation les impacts environnementaux**. Une attention particulière à l'optimisation de ces impacts doit être donnée dans les secteurs du transport, de l'énergie et du bâtiment, qui sont structurellement les plus gros émetteurs de GES. Les pays en développement, dont beaucoup d'infrastructures restent à créer, en retireront des gains particulièrement importants.

6. Améliorer la prise en compte des aspects systémiques du Numérique

Pousser à la prise en compte, grâce à des **approches interdisciplinaires**, de l'impact environnemental direct et indirect du Numérique, et de ses effets rebond au sein des initiatives de transition énergétique, notamment dans les secteurs de l'énergie, des transports, de l'habitat et de l'agriculture-alimentation ; développer une expertise autour de cette approche pour accélérer sa mise en œuvre.

7. Œuvrer à l'échelle européenne et auprès d'organisations internationales

Viser, compte tenu de l'envergure mondiale et de la puissance économique des acteurs principaux du Numérique, une mise en place de ces mesures à l'échelon européen. Les promouvoir auprès d'organisations et d'institutions pouvant jouer un rôle de prescription dans d'autres régions du monde.

Compte tenu de la complexité du sujet lié à sa dimension profondément systémique et de la rapidité d'évolution des technologies numériques, il nous semble pertinent de poursuivre nos réflexions relatives aux interactions entre la Transition Numérique et la transition énergétique.

Quelques sujets sont d'ores et déjà identifiés comme pouvant donner lieu à des travaux en 2019 :

- Modélisation et évaluation de l'impact environnemental de projets de type « SMART » (smart buildings, smart grids ...)
- Traduction environnementale d'une transition numérique sectorielle
- Impact de l'IOT
- Résilience et Numérique
- Sobriété numérique et contexte psycho-sociétal
- Grandeurs énergétiques et numériques : abaques pour les entreprises utilisatrices
- ...

Annexes

a. Annexe 1 : Consommation énergétique du Numérique 2013-2025

Expected updated										
CONSUMMATION ENERGETIQUE EN TWh	CAGR 2015/2020	2013	2014	2015	2016	2017	2020	2023	2025	CAGR 2020/2025
TERMINAUX ET PERIPHERIQUES		347	414	457	531	575	740	836	901	
RESEAUX		435	433	463	471	478	546	683	1021	
DATA CENTERS		323	322	416	498	593	894	1242	1918	
TOTAL LIE A L'USAGE		1104	1169	1336	1500	1646	2179	2762	3840	
U: % CONSOMMATION ELECTRIQUE GLOBALE		5,7%	5,9%	6,6%	7,2%	7,6%	9,2%	10,5%	13,7%	
PRODUCTION		889	962	1053	1167	1338	1655	2041	2413	
TOTAL USAGE ET PRODUCTION	9,9%	1993	2131	2389	2667	2985	3834	4803	6254	10,2%
GES TOTAL	9,2%	1236	1300	1457	1627	1791	2262	2834	3627	9,9%
% EMISSIONS DE GES		2,5%	2,6%	2,9%	3,2%	3,4%	4,2%	5,6%	7,6%	
% CONSOMMATION FINALE D'ENERGIE		1,9%	2,0%	2,2%	2,4%	2,7%	3,3%	4,1%	5,2%	

[Source : [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produit par The Shift Project à partir des données publiées par (Andrae & Edler, 2015)]

Higher growth higher EE										
CONSUMMATION ENERGETIQUE EN TWh	CAGR 2015/2020	2013	2014	2015	2016	2017	2020	2023	2025	CAGR 2020/2025
TERMINAUX ET PERIPHERIQUES		380	426	457	531	575	740	836	901	
RESEAUX		435	433	463	471	478	576	744	1166	
DATA CENTERS		323	322	400	503	559	651	802	1236	
TOTAL LIE A L'USAGE		1137	1181	1320	1506	1613	1967	2383	3303	
U: % CONSOMMATION ELECTRIQUE GLOBALE		5,8%	5,9%	6,5%	7,2%	7,5%	8,3%	9,1%	11,8%	
PRODUCTION		889	962	1053	1167	1338	1655	2041	2413	
TOTAL USAGE ET PRODUCTION	8,9%	2026	2142	2373	2672	2951	3622	4424	5716	9,5%
GES TOTAL	8,1%	1256	1307	1448	1630	1771	2137	2610	3315	9,2%
% EMISSIONS DE GES		2,6%	2,6%	2,9%	3,2%	3,4%	4,0%	5,1%	6,9%	
% CONSOMMATION FINALE D'ENERGIE		1,9%	2,0%	2,2%	2,4%	2,7%	3,2%	3,7%	4,7%	

[Source : [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produit par The Shift Project à partir des données publiées par (Andrae & Edler, 2015)]

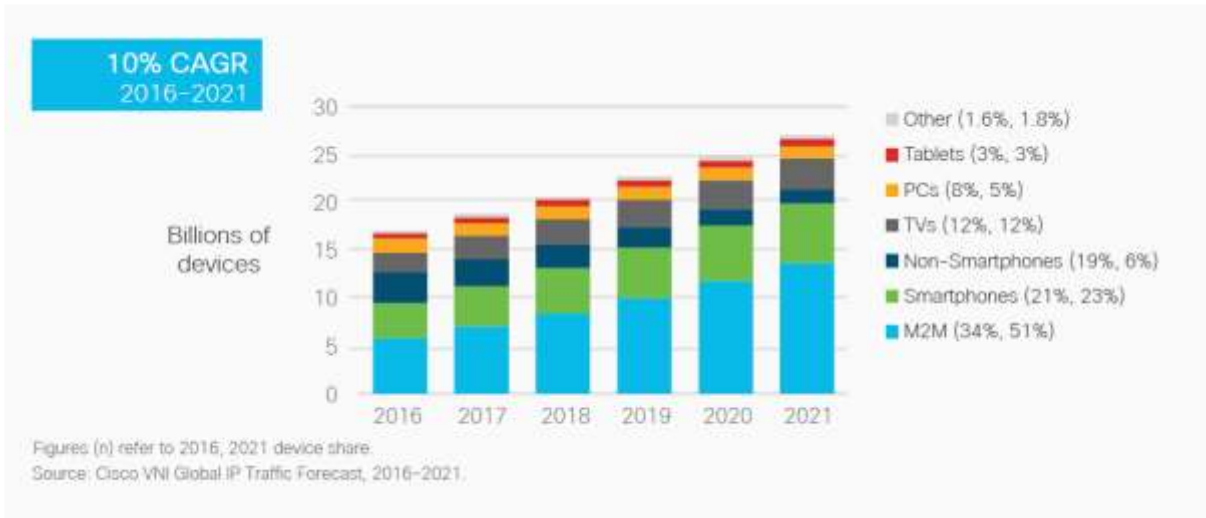
Higher growth peaked EE										
CONSUMMATION ENERGETIQUE EN TWh	CAGR 2015/2020	2013	2014	2015	2016	2017	2020	2023	2025	CAGR 2020/2025
TERMINAUX ET PERIPHERIQUES		380	426	457	531	575	740	836	901	
RESEAUX		435	433	463	471	478	576	880	1562	
DATA CENTERS		323	322	400	503	559	651	1014	2040	
TOTAL LIE A L'USAGE		1137	1181	1320	1506	1613	1967	2730	4503	
U: % CONSOMMATION ELECTRIQUE GLOBALE		5,8%	5,9%	6,5%	7,2%	7,5%	8,3%	10,4%	16,1%	
PRODUCTION		889	962	1053	1167	1338	1655	2093	2593	
TOTAL USAGE ET PRODUCTION	8,9%	2026	2142	2373	2672	2951	3622	4824	7096	14,5%
GES TOTAL	8,0%	1247	1307	1448	1630	1771	2137	2846	4116	14,0%
% EMISSIONS DE GES		2,6%	2,6%	2,9%	3,2%	3,4%	4,0%	5,6%	8,6%	
% CONSOMMATION FINALE D'ENERGIE		1,9%	2,0%	2,2%	2,4%	2,7%	3,2%	4,1%	5,9%	

[Source : [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produit par The Shift Project à partir des données publiées par (Andrae & Edler, 2015)]

Sobriety										
CONSUMMATION ENERGETIQUE EN TWh	CAGR 2015/2020	2013	2014	2015	2016	2017	2020	2023	2025	CAGR 2020/2025
TERMINAUX ET PERIPHERIQUES		380	426	457	531	575	740	795	832	
RESEAUX		435	433	463	471	478	576	579	582	
DATA CENTERS		323	322	400	503	559	651	753	761	
TOTAL LIE A L'USAGE		1137	1181	1320	1506	1613	1967	2127	2175	
U: % CONSOMMATION ELECTRIQUE GLOBALE		5,8%	5,9%	6,5%	7,2%	7,5%	8,3%	8,1%	7,8%	
PRODUCTION		889	962	1053	1167	1338	1655	1641	1735	
TOTAL USAGE ET PRODUCTION	8,9%	2026	2142	2373	2672	2951	3622	3768	3909	1,6%
GES TOTAL	8,0%	1256	1307	1448	1630	1771	2137	2223	2267	1,2%
% EMISSIONS DE GES		2,6%	2,6%	2,9%	3,2%	3,4%	4,0%	4,4%	4,7%	
% CONSOMMATION FINALE D'ENERGIE		1,9%	2,0%	2,2%	2,4%	2,7%	3,2%	3,2%	3,2%	

[Source : [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produit par The Shift Project à partir des données publiées par (Andrae & Edler, 2015)]

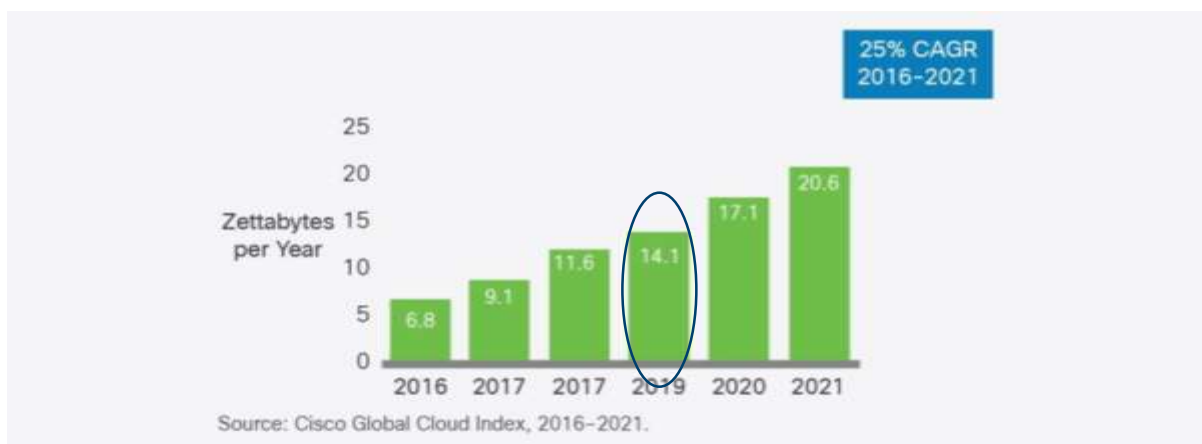
b. Annexe 2 : Évolution du parc de terminaux communicants



[Source : (Cisco, 2017a)]

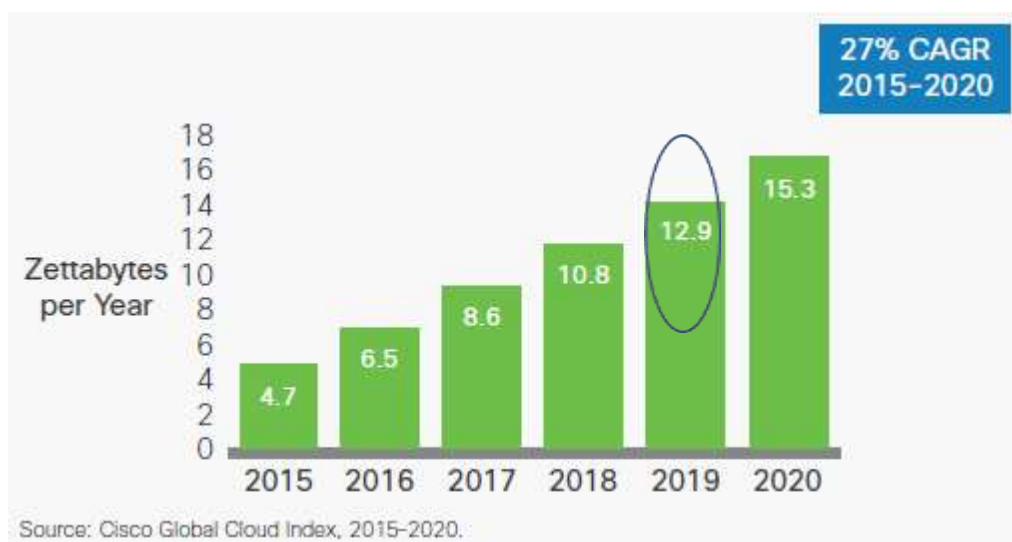
c. Annexe 3 : Évolution du trafic des data centers et des réseaux

1. Prévisions en 2017



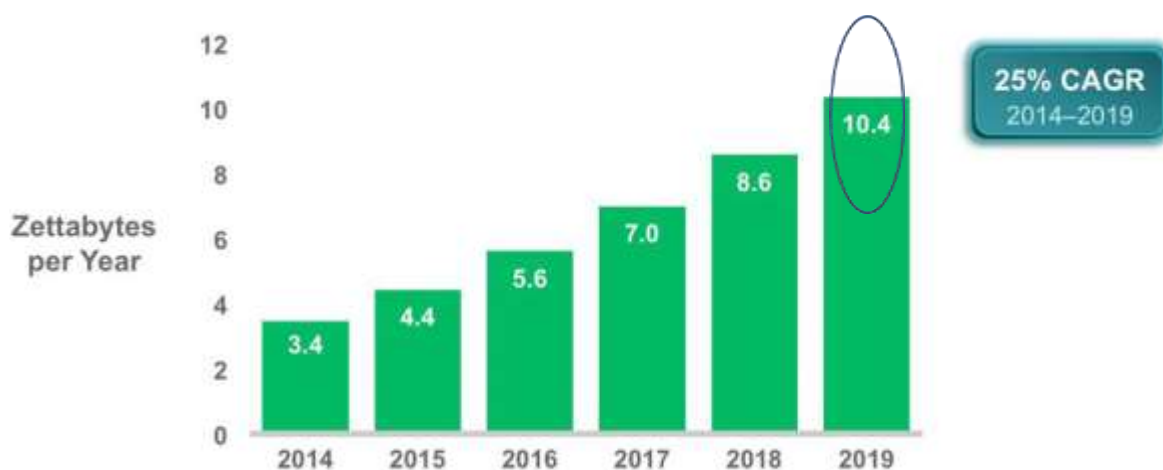
[Source : (Cisco, Visual Networking Index: Global - 2021 Forecast Highlights, 2017)]

2. Prévisions en 2016



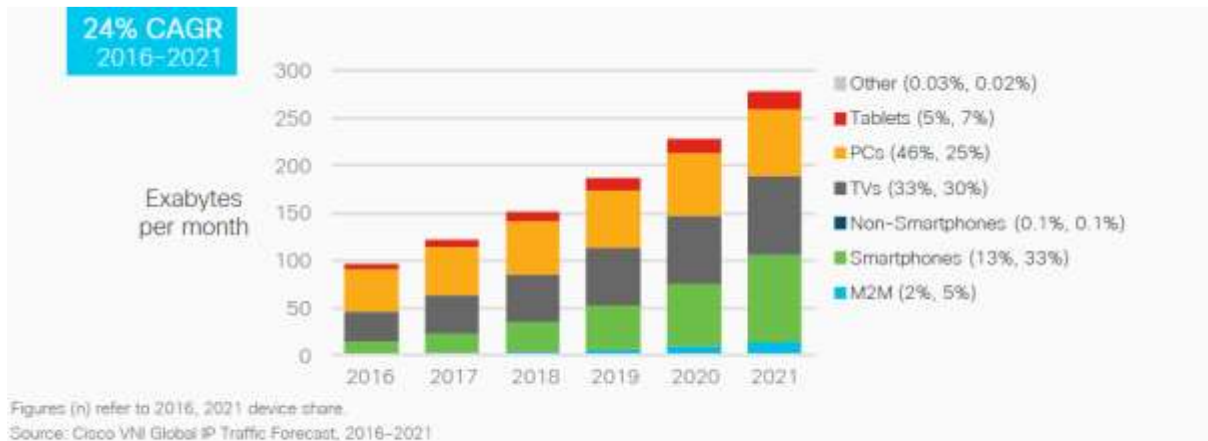
[Source : (Cisco, 2016a)]

3. Prévisions en 2015



[Source : (Cisco, 2015)]

4. Trafic IP sur les réseaux



[Source : (Cisco, 2017a)]

d. Annexe 4 : Note Méthodologique du « Référentiel Environnemental du Numérique »

Démarche générale

Le Référentiel Environnemental du Numérique (REN) vise à décrire, sous forme de grandeurs et ratios caractéristiques, l'empreinte environnementale de l'écosystème numérique, en termes d'équipements et d'usages.

Une sélection d'équipements et d'usages numériques a ainsi été choisie pour représenter et illustrer l'impact environnemental engendré par les composantes du Numérique.

La quantification des impacts environnementaux effectuée dans le cadre du Référentiel Ecologique du Numérique vise à produire des résultats qui soient pertinents et représentatifs de l'écosystème numérique dans son ensemble et non de certains cas particuliers seulement. Sans prétendre être exhaustif, ce travail vise donc à construire une ébauche de base de données à affiner collectivement.

Pour ce faire, ces résultats sont présentés sous forme de moyennes et d'ordre de grandeurs issus de croisements de données d'origines multiples (articles scientifiques, rapport gouvernementaux, travaux d'organismes de recherche indépendants, documentations constructeurs etc.).

Les études et ressources utilisées ont été sélectionnées ultérieures à l'année 2013 autant qu'il en a été possible afin d'assurer la pertinence des données extraites au vu de la cadence d'évolution du secteur numérique.

Les choix faits et les hypothèses ayant été prises lors de la conception de ce Référentiel sont exposés de manière exhaustive et la plus transparente possible dans la suite de ce document, afin d'en permettre la critique, l'évaluation et la discussion.

Définitions adoptées

1. Définition des éléments numériques

Les *éléments numériques* sont de deux types : **équipements et actions numériques**. Ils sont les aspects du « Numérique » retenus pour en quantifier les impacts environnementaux.

Les **équipements numériques** sont des produits dont le fonctionnement et les services associés reposent sur des technologies numériques et de réseau. Les équipements retenus dans le REN sont les suivants :

- Le smartphone ;
- L'ordinateur portable ;
- Le data center ;
- La TV connectée, ou Smart TV ;
- Le routeur (« box ») internet.

Ces équipements ont été choisis afin de pouvoir couvrir les activités d'un utilisateur moyen du Numérique au sein de l'Union européenne.

Les **actions numériques** sont des activités réalisées via un **équipement** et impliquant une utilisation du réseau. Les actions retenues dans le REN sont les suivantes :

- Envoyer un mail ;
- Regarder une vidéo en ligne.

Ces actions numériques ont été choisies à valeur illustrative, afin de représenter certains usages courants d'un utilisateur moyen du Numérique au sein de l'Union européenne dont l'impact est quantifiable en ordre de grandeur.

Contrairement aux équipements, pour lesquels l'objectif est de constituer un véritable référentiel quantitatif, l'exercice de quantification effectué sur les actions numériques vise simplement à donner des exemples du contenu énergétique matériel de certaines actions dites « virtuelles ».

2. Définition des phases de vie

Sont présentées ci-après les définitions retenues pour la description du cycle de vie des éléments numériques étudiés au sein du premier livrable, le tableur « Référentiel Ecologique du Numérique ».

a. Définition de la phase « production »

La phase de production concerne les équipements numériques. Elle est définie comme la phase précédant la mise en service par l'utilisateur. Elle inclut ainsi :

- La phase d'extraction des matières premières ;
- La production des composants ;
- L'assemblage des équipements.

On n'inclut pas dans cette étude les impacts environnementaux liés à la production des infrastructures réseau.

b. Définition de la phase « utilisation »

La phase d'utilisation concerne les équipements numériques et les actions numériques.

Pour les équipements, elle se définit comme la période s'étendant sur toute la durée de vie de l'équipement à partir de sa première utilisation, sans prise en compte de la phase de fin de vie.

Pour les actions numériques, elle se définit comme la période de réalisation de l'action uniquement. Les contributions des équipements utilisés sont uniquement considérées au travers de leur phase d'utilisation et sont ramenées au temps d'utilisation des équipements alloué à la réalisation de l'action.

c. Phase de « fin de vie »

La phase de « Fin de vie » n'est pas incluse dans le périmètre de cette étude, par manque de données fiables à grande échelle.

Hypothèses et méthodologies

1. Phase de production

Sont présentées ci-après les hypothèses retenues pour la construction de la partie « *Production Phase* » du premier livrable, le tableur « Référentiel Écologique du Numérique ».

a. Impacts énergétiques – Phase de production

La consommation d'énergie associée à la phase de production est évaluée via la consommation en énergie primaire (*Primary Energy*). La quantification de la part de consommation électrique dans la consommation énergétique primaire totale est considérée comme trop peu fiable pour être incluse dans nos résultats.

b. Emissions GES – Phase de production

Les émissions de GES caractérisent la quantité de CO₂ équivalente (en kgCO₂eq) émise lors des activités de production (extraction des matières premières, production et assemblage des composants).

c. Métaux – Phase de production

Les impacts en ressources métalliques représentent la masse de métal (en g) contenue dans l'équipement considéré.

Les métaux qu'il a été choisi de quantifier dans notre Référentiel ont été sélectionnés selon deux critères centraux : leur criticité et leur degré d'implication dans les technologies numériques.

Leur criticité, évaluée notamment au travers des travaux de la Commission européenne (Oakdene Hollins Research & Consulting, Fraunhofer ISI, 2013), est caractérisée à partir de leur importance économique et des risques d'approvisionnement qu'ils présentent.

Leur degré d'implication dans les technologies numériques, évaluée sur la base de travaux antérieurs de membres du Groupe de Travail (Bihouix P. , 2015) ainsi que de publications scientifiques (Institut Mines-Télécom, 2016), est caractérisé au travers des utilisations qui en sont faites dans ces technologies (composants essentiels, câblage etc.) ainsi qu'au travers de la part que les technologies numériques représentent dans la demande totale mondiale de ces matériaux.

La liste ainsi retenue est la suivante :

- Gallium
- Indium
- Tantale
- Cuivre
- Cobalt
- Palladium

L'objectif de cette liste n'est ainsi pas de quantifier de manière complète et exhaustive le contenu métallique des équipements : il s'agit ici de produire un premier jeu d'ordres de grandeurs qui soient pertinents au vu des enjeux actuels et à venir quant aux ressources minérales nécessaires aux technologies numériques.

d. Volume de terre extrait – phase de production

L'impact « Volume de Terre extrait » (« *Ore Extracted Volume* ») représente le volume de terre déplacé (en m³) nécessaire à l'extraction des métaux utilisés dans la production des équipements numériques.

Il est calculé uniquement pour les métaux appartenant à la liste définie ci-dessus (cf. c. Métaux – Phase de production). Pour chacun d'entre eux, le volume de minerai nécessaire à la production de l'équipement est calculé à partir de la masse de métal contenue dans l'équipement et de la concentration du minerai en l'élément métallique.

Aucune mesure quantitative d'érosion de la biodiversité par les activités minières n'étant aujourd'hui disponible, l'indicateur « Volume de terre extrait » permet de matérialiser un premier degré d'impact sur la biodiversité et sur l'érosion des sols, au travers d'une représentation quantitative liminaire de l'espace altéré par les processus d'extraction.

e. Équipements – Phase de production

Smartphone

Les impacts affichés sont donnés pour un smartphone moyen, correspondant à un smartphone type fourni par les outils d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) et les *Materials Declaration* utilisés dans le cadre des travaux d'une entreprise du secteur sur l'impact environnemental des équipements.

Le smartphone considéré est un modèle de 2014, doté d'un écran LCD de 4,5 pouces de diagonale et d'une mémoire NAND de 32 Gigaoctets.

Ordinateur portable

Les impacts affichés sont donnés pour un ordinateur portable moyen, correspondant à un ordinateur portable type fourni par le logiciel *EIME* et les *Bill of Material* associés, utilisés dans le cadre des travaux d'une entreprise du secteur sur l'impact environnemental des équipements.

L'ordinateur considéré est un modèle T3 de 2013, doté d'un écran LCD de 14 pouces de diagonale et d'une mémoire SSD de 256 Gigaoctets.

Serveur (Data Center)

L'impact environnemental de production du data center est caractérisé au travers de celui des serveurs afin d'obtenir une quantification pertinente, s'affranchissant notamment des incertitudes très importantes engendrées par la diversité des structures de centres de données (systèmes de refroidissement, de maintenance, types de redondances etc.).

Les impacts affichés sont donnés pour un serveur moyen, issu de la combinaison d'analyses modulaires réalisées via EcoInvent et du serveur Fujitsu PRIMERGY TX 300 S5 (cf. f. Sources – Phase de production, ci-dessous).

TV connectée

Les impacts affichés sont donnés pour une TV connectée correspondant à un modèle type fourni par une *Environmental Product Declaration* du constructeur Samsung à partir de laquelle des calculs d'impact ont été effectués dans le cadre des travaux d'une entreprise du secteur sur l'impact environnemental des équipements.

La TV considérée est une TV LCD équipée d'un écran à *backlight LED*, de 55 pouces de diagonale⁴⁹.

f. Sources – Phase de production

Afin d'utiliser des données issues d'une démarche dont les méthodologies sont connues du groupe de travail, les impacts de la phase de production des équipements personnels (smartphone, PC portable et TV connectée) sont issus des travaux réalisés par des membres du groupe de travail, dans le cadre de leur activité professionnelle dans une entreprise du secteur. Les sources classiques (articles scientifiques, études privées) ne donnant en effet pas un accès satisfaisant aux détails méthodologiques et aux hypothèses liées aux données publiées, il a été choisi de les écarter.

Une exception a été faite pour le contenu en métaux du smartphone, pour lequel les résultats de notre source principale ont été croisés avec ceux d'une publication de Greenpeace réalisée sur la base des travaux de l'Oeko-Institut (Greenpeace, 2017).

⁴⁹ Les impacts environnementaux d'une télévision LCD sont proportionnels, au premier ordre, à la surface de l'écran.

Les sources utilisées pour construire l'indicateur « Volume de terre extrait » sont des données de concentrations métalliques issues d'ouvrages scientifiques (Vidal, 2018) et de publications techniques (Gérôme J-A., 2017) (Polak, 2009).

Les données des impacts de production du serveur de data center proviennent quant à elles d'une étude comparative réalisée par l'ADEME en 2012 (ADEME, 2012).

2. Phase d'utilisation

Sont présentées ci-après les hypothèses retenues pour la construction de la partie « *Run Phase* » du premier livrable, le tableur « Référentiel Écologique du Numérique ».

a. Impacts énergétiques – Phase d'utilisation

La consommation d'énergie associée à la phase d'utilisation est évaluée via la consommation électrique, plus précise et pertinente pour cette phase.

b. Émissions GES – Phase d'utilisation

Les émissions de GES sont calculées à partir de la consommation électrique, en appliquant à cette consommation un facteur d'intensité carbone (en kgCO₂eq/kWh).

Les facteurs d'intensité carbone sont calculés pour les mix électriques de quatre régions choisies : Union européenne, France, USA et Chine. Ils sont calculés sur la base des travaux réalisés par l'Agence internationale de l'énergie (International Energy Agency (IEA), 2016), de l'Agence européenne pour l'environnement (EEA, 2016) ainsi qu'une revue de la consommation mondiale d'énergie réalisée par l'entreprise British Petroleum (BP, 2017).

c. Équipements – Phase d'utilisation

Smartphone

Les impacts affichés sont donnés pour un smartphone moyen, correspondant à une moyenne effectuée sur plusieurs marques (constructeurs principaux en termes de parts de marché) et modèles de milieux de gamme⁵⁰.

La consommation électrique des infrastructures réseau engendrée par l'activité du smartphone n'est pas prise en compte. La consommation électrique ici présentée est uniquement la consommation directe de l'équipement.

Ordinateur portable

Les impacts affichés sont donnés pour un ordinateur portable moyen, correspondant à une moyenne effectuée sur plusieurs marques (constructeurs principaux en termes de parts de marché) et modèles de milieux de gamme⁷.

La consommation électrique des infrastructures réseau engendrée par l'activité de l'équipement n'est pas prise en compte. La consommation électrique ici présentée est uniquement la consommation directe de l'équipement.

Data centers

Les impacts affichés sont donnés pour un data center moyen, caractérisé par sa superficie et la capacité en puissance totale de ses installations (en MW) :

- Surface du data center moyen : 1000 m² ;
- Puissance du data center moyen : 1 MW ;
- PUE (Power Usage Effectiveness) : 2.

Le qualificatif « moyen » désigne ici un data center suffisamment grand pour appartenir aux grandes infrastructures (présence de systèmes de refroidissement, de mécanismes de redondance etc.) mais sans appartenir à la classe des centres qualifiés d'« *hyperscale* ».

Ces caractéristiques ont été choisies via consultation d'experts du groupe de travail et du Groupement de Services du CNRS EcoInfo.

Il est rappelé que les impacts ici calculés représentent la consommation électrique de l'ensemble de l'infrastructure mais durant sa phase d'utilisation uniquement : la construction et la destruction des bâtiments ne sont ici pas prises en compte.

TV connectée

Les impacts affichés sont donnés pour une TV connectée moyenne, correspondant à une moyenne effectuée sur plusieurs marques (constructeurs principaux en termes de parts de marché) et modèles de milieux de gamme (écrans de 50 à 60 pouces).

⁵⁰ Détaillé dans « [Lean ICT Materials] REN », onglet « *kWh Run (Devices)* ». Produit par The Shift Project.

Box Internet

Les impacts affichés sont donnés pour un routeur moyen, dont la consommation est calculée sur la base de données issues des travaux du Groupe de Travail (au sein d'EcoInfo ainsi qu'au sein d'une entreprise du secteur), croisées avec diverses sources secondaires d'études comparatives⁵¹.

La consommation de la Box Internet est calculée pour ses utilisations réseau liées au routeur IP : les utilisations liées aux fonctionnalités « Box TV » ne sont pas incluses dans ce calcul.

Pour déterminer la consommation annuelle du routeur, une puissance moyenne de l'équipement (en W) est extraite des données rassemblées pour plusieurs fournisseurs internet à partir des travaux du Groupement De Services du CNRS EcoInfo, d'études comparatives consommateur et de données d'experts du Groupe de Travail issues de travaux d'une entreprise du secteur⁵². Cette puissance moyenne est ensuite utilisée pour calculer une consommation annuelle (en kWh/an) sur la base du profil d'utilisation choisi⁵³. L'ordre de grandeur est ensuite conservé pour être reporté dans le Référentiel⁵⁴.

Profils d'utilisation

Les impacts sont calculés pour des profils d'utilisation annuels type, issus d'études gouvernementales et de cabinets privés :

- **Smartphone** : 2,5 h/jour. Profil calculé à partir d'études statistiques sur les usages actuels au niveau mondial selon les classes d'âge (Kantar TNS, 2015), ramené à un usage moyen en pondérant les résultats par les proportions des différentes classes d'âge dans la population mondiale ;
- **Ordinateur portable** : 8 h/jour. Profil moyen considéré pour un usage professionnel⁵⁵, extrait des études effectuées par le label gouvernemental américain « *Energy Star* » (Energy Star, 2014) ;
- **TV connectée** : 5 h/jour. Profil moyen issu des profils utilisés par le label gouvernemental américain « *Energy Star* » (Samsung, 2017)⁵⁶ ainsi que des travaux présentés dans l'article scientifique cité (Hischier, 2014) ;
- **Box internet** : allumage permanent, c'est-à-dire une consommation constante 24h/24 correspondante au mode actif de la box. Ce profil est cohérent avec les usages observés.

d. Actions numériques – Phase d'utilisation

Définition des actions

L'action « *Envoyer un mail* » est caractérisée comme suit :

- Temps d'utilisation de l'équipement associé : 3 minutes ;
- Taille des données transmises (dont pièce jointe) : 1 Mo.

L'action « *Regarder une vidéo en ligne* » est caractérisée comme suit :

- Temps d'utilisation de l'équipement associé : 10 minutes ;
- Taille des données transmises (vidéo de qualité 1080p) : 170 Mo.

Méthodologie de calcul : modèle « 1byte »⁵⁷

Les impacts sont calculés pour une réalisation unitaire de l'action considérée, à partir de l'énergie électrique nécessaire à cette réalisation, en kWh.

L'approche retenue consiste à évaluer l'impact énergétique moyen (énergie électrique) d'un byte⁵⁸ de données via un modèle construit par le groupe de travail, le modèle « 1byte », puis d'en déduire l'impact de l'action au vu de la taille des données mise en jeu pour la réaliser.

La quantification de cet impact unitaire s'effectue donc en *kWh/byte*. Trois contributions sont considérées :

- La consommation électrique associée à l'utilisation du terminal sur lequel l'action est réalisée ;
- La consommation électrique engendrée par l'activité des centres de données impliqués dans le transfert des données ;
- La consommation électrique engendrée par l'activité des autres infrastructures réseau lors du transfert des données.

⁵¹ Détaillé dans « [Lean ICT Materials] Residential Router Electricity Consumption ». Produit par The Shift Project.

⁵² Détaillé dans « [Lean ICT Materials] Residential Router Electricity Consumption ». Produit par The Shift Project.

⁵³ cf. paragraphe suivant « Profils d'utilisation »

⁵⁴ cf. « [Lean ICT Materials] REN », onglet « *kWh Run (Devices)* ». Produit par The Shift Project.

⁵⁵ Ce choix a été fait pour être cohérent avec les acteurs cibles des « Leviers Entreprises » (cf. IV. Sobriété numérique dans l'entreprise : exemples de leviers d'action) : les entreprises utilisatrices du Numérique.

⁵⁶ [15] Samsung (2017). *Energy Guide of the "55" Class MU7000 4K UHD TV*". EnergyGuide Label.

⁵⁷ Disponible dans « [Lean ICT Materials] 1byte Model ». Produit par The Shift Project.

⁵⁸ 1 byte = 1 octet

La contribution du terminal est calculée pour deux cas : une réalisation de l'action sur smartphone et une réalisation sur ordinateur portable. La consommation due à l'utilisation du terminal est calculée à partir de la consommation horaire du terminal⁵⁹ et de la durée d'utilisation associée à l'action⁶⁰.

La contribution associée à l'activité des centres de données impliqués est calculée à partir de données macroscopiques issues d'un travail préliminaire du groupe de travail « Lean ICT »⁶¹ : un ratio est calculé entre la quantité de données échangées à échelle macroscopique par le biais de centres de données avec la consommation électrique associée à l'utilisation de ces data centers⁶².

La contribution associée à l'activité des autres infrastructures réseau est calculée pour plusieurs cas, correspondant aux différents types de réseaux considérés : le réseau fixe filaire (FAN), le réseau fixe WIFI (FAN WIFI), le réseau mobile. La consommation électrique est calculée à partir de données macroscopiques issues d'un travail préliminaire du groupe de travail « Lean ICT »²⁶ également, selon la même méthodologie que pour la contribution des data centers.

Ces résultats ont ensuite été critiqués par avis d'experts et par comparaison, avec des ordres de grandeurs macroscopiques⁶³ ainsi qu'avec une étude menée par le *Centre for Energy-Efficient Telecommunications* (CEET), institut de recherche australien (CEET, 2013), qui fournit des valeurs quantitatives à l'échelle du *byte* de données.

La consommation affichée dans le REN pour chaque action est un résultat exprimé en ordre de grandeur, déterminé à partir de la moyenne arithmétique non-pondérée des différents cas explicités ci-dessus (réalisation de l'action via smartphone ou ordinateur portable et type de réseau utilisé).

e. Sources – Phase d'utilisation

Équipements

Les sources utilisées pour déterminer les consommations électriques des équipements sont un croisement de trois types d'études⁶⁴ :

- Des Analyses de Cycle de Vie réalisées par les entreprises distributrices des équipements ;
- Des études comparatives réalisées par des organismes publics et des centres de recherche indépendants ;
- Des articles de recherche issus de publications scientifiques.

Les émissions de GES sont calculées à partir de facteurs d'émissions issus des travaux de l'Agence européenne pour l'environnement et de l'Agence internationale de l'énergie⁶⁵.

Le calcul de la consommation électrique annuelle du data center est calculée sur la base d'une étude issue d'une publication scientifique (Shehabi, A. et al., 2016), dont les résultats ont été adaptés à notre data center moyen. Ces résultats ont ensuite été confrontés aux ordres de grandeurs fournis par les experts du Groupe de Travail ainsi qu'avec une étude de terrain effectuée par une société privée (ENR'CERT, 2016).

Actions numériques

Les sources utilisées pour déterminer les consommations électriques via le modèle « 1byte » sont un croisement de plusieurs types de ressources :

- Des résultats issus de productions du projet « Lean ICT »⁶⁶,
- Des études d'organismes gouvernementaux, de centres de recherche publics et de centres d'études privés⁶⁷.

⁵⁹ La consommation horaire est calculée à partir de la consommation annuelle et du profil d'utilisation. Détaillé dans « [Lean ICT Materials] 1byte Model ». Produit par The Shift Project.

⁶⁰ cf. « Définition des actions » ci-dessus

⁶¹ Détaillé dans « [Lean ICT Materials] Forecast Model »

⁶² Détaillé dans « [Lean ICT Materials] 1 byte Model »

⁶³ En considérant des ratios entre la quantité de données échangées dans le monde et la consommation électrique associée, par exemple dans (Bihouix P. M., 2016)

⁶⁴ Détaillé dans « [Lean ICT Materials] REN », onglet « Sources ». Produit par The Shift Project.

⁶⁵ cf. (International Energy Agency (IEA), 2016b) (The Shift Project, 2017b) (EEA, 2016) (BP, 2017) (Kantar TNS, 2015)

⁶⁶ « [Lean ICT Materials] REN ». Produit par The Shift Project ; « [Lean ICT Materials] Forecast Model »

⁶⁷ cf. (CEET, 2013) (Shehabi, A. et al., 2016)

e. Annexe 5 : Note méthodologique des « Leviers Entreprises »

Hypothèses et méthodologie générale

1. Hypothèses

a. Cibles des recommandations et leviers

Les recommandations formulées dans le cadre du projet « Lean ICT » visent à proposer des exemples de mesures opérationnelles pouvant être mise en place par les entreprises utilisatrices du Numérique pour diminuer les impacts environnementaux de leur écosystème numérique.

Par « entreprise utilisatrice du Numérique », on exclut les activités de production d'équipements et de services numériques. Les recommandations ont ainsi été formulées en considérant les entreprises uniquement sous leur angle « utilisatrice d'équipements et de services qui lui sont fournis », ce afin d'être le plus adaptables possibles aux différents cas.

Le terme « entreprises » est utilisé, mais ces recommandations sont compatibles avec des applications plus large, elles peuvent pour la plupart être appliquées ou aisément adaptées à tout type d'« organisations » : institutions publiques, organismes privés, hôpitaux etc.

b. Région géographique

Les leviers visent à illustrer les évolutions possibles des impacts environnementaux du Numérique lors de leur mise en place au sein d'entreprises soumises aux réglementations de l'Union européenne.

c. Horizon temporel

L'étude des effets des leviers est réalisée en contexte actuel : aucune hypothèse n'est faite sur l'évolution du contexte ou sur les périodes transitoires. L'objectif est de quantifier la différence entre la situation réelle actuelle et une situation hypothétique où, toutes choses égales par ailleurs, le levier est activé.

2. Méthodologie

a. Objectifs

Les « Leviers Entreprises » proposent des solutions opérationnelles visant à réduire l'impact environnemental des activités numériques d'une entreprise.

Le premier objectif est de proposer des exemples de solutions dont l'effet peut être quantifié et de réaliser le calcul, afin d'illustrer l'impact d'une démarche de sobriété lorsqu'elle est rigoureusement mise en place en entreprise.

Le second est de donner des exemples de méthodologies de quantification des effets d'une mesure de sobriété. Ce type de méthodologies peut être repris par l'entreprise et permettra d'anticiper en ordre de grandeur l'effet d'une décision sur l'impact environnemental annuel des activités numériques de l'entreprise.

Les calculs et les résultats présentés dans ce livrable ont donc une valeur illustrative et non exhaustive : leur validité est bien entendu liée au cadre des hypothèses choisies mais les ordres de grandeurs et tendances qui s'en dégagent permettent de montrer que les organes de décision peuvent rapidement prendre en compte l'importance quantitative d'une mesure de sobriété numérique, à situation et contexte donnés.

b. Méthodologie

Pour parvenir à la quantification des effets de chaque levier, les étapes suivantes ont été réalisées :

- Les leviers ont été sélectionnés en arbitrant leur facilité de mise en place opérationnelle et les possibilités de quantification de leurs effets.
- Pour chacun des leviers choisis, un « indicateur » a été défini : il traduit la dimension de l'écosystème numérique sur lequel il agit (par exemple : la durée de vie d'un terminal).
- Pour chaque levier, les hypothèses de calcul ont été posées : on définit la situation de départ sans levier, dite « actuelle », et la situation avec levier. Ces hypothèses visent à donner un cadre au calcul qui soit cohérent avec les situations réelles des entreprises (exemples d'hypothèses : taille des documents électroniques échangés, profil d'utilisation du smartphone etc.).

- Les calculs ont ensuite été construits, en exploitant notamment les données développées dans les phases amont du projet afin de quantifier la réduction en termes d'émissions de GES (en kgCO₂eq) du poste d'émission concerné.

Les émissions de GES étant un indicateur d'impact environnemental commun aux phases de production et d'utilisation dans notre démarche⁶⁸, elles ont été choisies pour caractériser l'impact environnemental dans cet exercice - cette comparaison étant nécessaire à l'établissement des calculs. Afin de permettre de contextualiser ces résultats au sein de démarches basées sur des méthodologies type Bilan Carbone, les calculs sont effectués pour l'impact annuel de l'entreprise.

L'effet des leviers est évalué en relatif par rapport à l'impact du poste d'émission considéré : on calcule la diminution relative (en %) que subiraient les émissions du poste si l'on passait de la situation de départ à la situation avec levier, toutes choses égales par ailleurs.

L'effet de chaque levier est ainsi caractérisé comme la diminution relative des émissions de GES annuelles du poste d'émission concerné par son activation.

Hypothèses et méthodologie des leviers

1. Leviers n°1 & n°2 : Augmenter la durée de vie des équipements d'entreprise

a. Description des leviers

Indicateur

L'indicateur associé à ces leviers est la durée de vie des équipements.

Enoncés des leviers

Les leviers 1 et 2 reposent sur une même méthodologie, appliquée à deux équipements :

- L'ordinateur portable (levier 1),
- Le smartphone (levier 2).

Bien que la méthodologie soit identique dans les deux cas, la séparation de ces mesures en deux leviers distincts se justifie par les différences qui existent entre leurs mises en place opérationnelles (implications pratiques, problématiques de sécurité et confidentialité, gestion des flottes etc.).

Le levier préconise l'augmentation de la durée de vie des équipements afin de faire baisser la pression de la phase de production sur leur impact annuel.

b. Hypothèses

1. Situation de départ - durée de vie actuelle :
 - Ordinateur portable : 3 ans ;
 - Smartphone : 2,5 ans.
2. Situation avec levier - durée de vie augmentée :
 - Ordinateur portable : 5 ans ;
 - Smartphone : 3,5 ans.

c. Méthodologie de quantification

Pour parvenir à la quantification de l'effet de ce levier sur l'impact annuel, les étapes suivantes ont été réalisées :

- L'impact annuel de l'équipement (en kgCO₂eq/an) a été calculé avec la durée de vie actuelle (situation de départ). Il correspond à la répartition de l'impact de production sur l'ensemble de la durée de vie, additionnée aux émissions associées à la consommation annuelle de l'équipement en phase d'utilisation.
- L'impact annuel de l'équipement (en kgCO₂eq/an) a ensuite été calculé de manière identique avec la durée de vie augmentée (situation avec levier).
- On déduit des deux calculs précédents la diminution relative (en %) de l'impact annuel de l'équipement lorsqu'on active le levier.
- Cette diminution nous fournit directement la diminution de l'impact annuel (en %) du parc entier de terminaux, l'impact environnemental total du parc étant directement proportionnel à l'impact d'un terminal - via le nombre de terminaux.

⁶⁸ cf. Annexe 4 : Note Méthodologique du « Référentiel Environnemental du Numérique »

d. Sources

Les émissions associées aux phases de production et d'utilisation sont issues du premier livrable produit par le groupe de travail dans le cadre de ce rapport : le Référentiel Environnemental du Numérique (REN)⁶⁹.

Les durées de vie font partie des hypothèses de calcul. Elles ont été choisies sur les avis d'experts du groupe de travail afin d'être cohérentes avec la réalité des situations en entreprise.

2. Levier n°3 : Généraliser l'offre « pro-perso » pour la téléphonie d'entreprise

a. Description du levier

Indicateur

L'indicateur choisi est le volume du parc de smartphones professionnels.

Enoncé du levier

Le levier propose d'augmenter la part de smartphones dotés de l'offre « pro-perso » de 20 % à 70 % dans le parc de smartphones professionnels.

b. Hypothèses

1. Situation de départ - part actuelle du parc professionnel composée de smartphones dotés de l'offre « pro-perso » : 20 %.
2. Situation avec levier - part augmentée du parc professionnel composée de smartphones dotés de l'offre « pro-perso » : 70 %.
3. Profils d'utilisation journaliers :
 - Profil d'utilisation en usage personnel (profil « perso ») : 2,5 h/j
 - Profil d'utilisation en usage professionnel (profil « pro ») : 2 h/j
4. Le cumul des deux types d'usages (« pro » et « perso ») sur un unique appareil n'est pas considéré comme ayant un impact sur la durée de vie de l'appareil (Quechoisir, 2015).
5. Il est considéré que les profils d'utilisation s'additionnent, sans effet de substitution entre les usages personnels et professionnels.

c. Méthodologie de quantification

Pour parvenir à la quantification de l'effet de ce levier sur l'impact annuel, les étapes suivantes ont été réalisées :

- Les profils d'utilisation annuels ont été calculés à partir des profils d'utilisation journaliers et du nombre de jours d'utilisation du smartphone dans l'année :
 - 365,25 jours par an (tous les jours) pour l'utilisation personnelle ;
 - 227 jours par an (jours travaillés en moyenne en France pour une année de 52 semaines de 5 jours, 5 semaines de congés payés et 8 jours fériés en semaine en moyenne⁷⁰) pour l'utilisation professionnelle.
- Le profil d'utilisation annuel « pro-perso » a été calculé comme la somme des profils annuels d'utilisation « pro » et « perso »⁷¹.
- L'impact annuel du smartphone (en kgCO₂eq/an) a été calculé avec le profil d'utilisation annuel « pro » (situation de départ). Il correspond à la répartition de l'impact de production sur l'ensemble de la durée de vie, additionnée à la consommation annuelle de l'équipement en phase d'utilisation.
- Cette consommation annuelle en phase d'utilisation est calculée à partir de la consommation horaire du smartphone⁷² et du profil d'utilisation annuel.
- L'impact annuel du smartphone (en kgCO₂eq/an) a ensuite été calculé de manière identique avec le profil d'utilisation « pro-perso » (situation avec levier).
- La part attribuée aux usages « pro » dans l'impact annuel en profil « pro-perso » a été déduite à partir du ratio horaire (part du profil d'utilisation « pro-perso » attribué à une utilisation professionnelle) : elle permet de calculer l'impact uniquement professionnel du smartphone utilisé en profil « pro-perso » : GES_{pro-perso}.
- La diminution relative (en %) de l'impact annuel du parc de smartphones professionnels est obtenue en comparant l'impact dans la situation de départ avec celui dans la situation avec levier.

⁶⁹ Disponible dans « [Lean ICT Materials] REN ». Produit par The Shift Project.

⁷⁰ Détaillé dans « [Lean ICT Materials] QuantiLev », onglet « Lev 3 ». Produit par The Shift Project.

⁷¹ Conformément à l'hypothèse 5.

⁷² Détaillé dans « [Lean ICT Materials] QuantiLev », onglet « Lev 3 ». Produit par The Shift Project.

- Chacun de ces deux impacts est égal à la somme de deux contributions :

- $GES_{\text{parc}} = (1 - f_{\text{pro-perso}}) * GES_{\text{pro}} + f_{\text{pro-perso}} * GES_{\text{pro-perso}}$

, où :

- GES_{parc} est l'impact annuel total du parc dans la situation donnée (de départ ou avec levier) ;
- $f_{\text{pro-perso}}$ est la part de smartphones « pro-perso » dans le parc professionnel dans la situation donnée ;
- GES_{pro} , $GES_{\text{pro-perso}}$ sont les impacts professionnels annuels respectifs du smartphone pour les profils « pro » et « pro-perso ».

d. Sources

Le profil d'utilisation journalier « perso » est une hypothèse choisie de manière à être cohérente avec les usages observés : elle provient de données de (Kantar TNS, 2015) à partir desquelles un profil moyen d'utilisation a été calculé sur la base d'une pondération construite sur la répartition mondiale de la population en fonction de l'âge.

Le profil d'utilisation journalier « pro » est une hypothèse choisie sur les avis d'experts du groupe de travail afin d'être cohérentes avec la réalité des situations en entreprise.

La consommation horaire du smartphone est calculée à partir des données du premier livrable produit par le groupe de travail dans le cadre de ce rapport : le Référentiel Environnemental du Numérique (REN)⁷³.

3. Levier n°4 : Favoriser l'échange de documents bureautiques via une ressource partagée

a. Description du levier

Indicateur

L'indicateur choisi est le nombre d'exemplaires stockés du document échangé.

Enoncé du levier

Le levier propose de diminuer le nombre d'exemplaires d'un même document stockés sur les serveurs utilisés par l'entreprise, en privilégiant l'échange de documents via une plateforme synchronisée sur serveur partagé plutôt que par mail.

b. Hypothèses

Pour quantifier l'impact de ce levier, on se place dans un cas d'étude : des interlocuteurs travaillent sur un même document, dont ils s'échangent les versions successives.

Trois scénarios sont alors comparés :

- Scénario 1 - situation de départ, toutes les versions du document sont échangées par mail.
- Scénario 2 - objectif réaliste, où les échanges se répartissent équitablement (50% des échanges) entre la plateforme synchronisée et les échanges par mails.
- Scénario 3 - cas idéal, où les échanges s'effectuent exclusivement via la plateforme.

Les hypothèses générales sont les suivantes :

- On comptabilise les exemplaires stockés sur serveurs uniquement (pas de donnée disponible sur l'impact lié au stockage de données sur un terminal en local).
- On considère que chaque interlocuteur reçoit toutes les versions du document.
- On considère que les interlocuteurs enregistrent sur leur terminal chaque pièce jointe reçue et qu'ils n'en font pas de copie.
- On considère que les terminaux utilisés par les interlocuteurs sont synchronisés avec un serveur de sauvegarde sur lequel sont répliquées, une fois, les pièces jointes reçues.
- On considère que les exemplaires stockés sur le serveur de la plateforme d'échange sont répliqués, une fois.

On choisit l'hypothèse selon laquelle chaque donnée est répliquée une fois afin de ne pas faire d'hypothèse forte sur la politique de sauvegarde : les données stockées sur un serveur sont en effet, en situation réelle, répliquées au moins une fois. L'hypothèse est de plus prise identique pour la sauvegarde des mails et pour la sauvegarde

⁷³ Disponible dans « [Lean ICT Materials] REN ». Produit par The Shift Project.

de la plateforme afin de construire des scénarios comparables entre eux. En réalité, les répliques sont plus nombreuses : l'hypothèse est donc prudente et le résultat présenté ici est un minorant des impacts réels.

Les exemplaires comptabilisés sont donc les répliques des pièces jointes, les documents échangés via la plateforme (puisqu'ils sont stockés sur le serveur utilisé par la plateforme) et la réplique de ces derniers.

Les hypothèses de calcul sont les suivantes :

1. Nombre d'interlocuteurs : 5 personnes.
2. Nombre de versions du document : 4 versions.
3. Taille du document : 1 mégaoctet (cette hypothèse est prise pour être en lien avec les résultats du REN).
4. Répartition des échanges de documents entre les interlocuteurs :

Scénario 1 : 100% des échanges par mail.

Scénario 2 : 50% des échanges par mail, 50% via la plateforme de partage.

Scénario 3 : 100% des échanges via la plateforme de partage.

5. Le nombre total d'exemplaires du document stockés, pour chaque scénario, est le suivant :

Scénario 1 - 20 exemplaires :

- 20 pièces jointes envoyées (5 interlocuteurs x 4 versions du document), enregistrées en local sur les terminaux ;
- Chacune de ces pièces jointes est répliquée sur un serveur de sauvegarde ;
- On comptabilise ici les données stockées sur serveur uniquement, donc uniquement les répliques.

Scénario 2 - 14 exemplaires :

- 10 pièces jointes échangées (la moitié des versions sont échangées via mail) ;
- Chacune de ces pièces jointes est répliquée et on ne comptabilise que ces répliques.
- 2 versions sont échangées via la plateforme (et donc stockées dessus) ;
- Chacune de ces 2 versions est répliquée une fois.

Scénario 3 - 8 exemplaires :

- Les 4 versions sont échangées via la plateforme (et donc stockées dessus) ;
- Chacune de ces 4 versions est répliquée une fois.

c. Méthodologie de quantification

Pour parvenir à la construction de cette métrique, les étapes suivantes ont été réalisées :

- Pour chaque scénario, le nombre de documents stockés en local a été calculé. Il est égal au nombre de documents échangés par mail⁷⁴, soit donc le nombre de documents échangés (produit du nombre de versions et du nombre d'interlocuteurs⁷⁵) pondéré par la part des échanges réalisée par mail⁷⁶.
- Le nombre total d'exemplaires stockés sur serveur a été calculé⁷⁷.
- L'impact de l'envoi d'un mail avec une pièce jointe de 1 mégaoctet - en termes d'émission de GES - est issu du REN⁷⁸ et prend en compte le stockage sur les serveurs de messagerie du mail envoyé et de la pièce jointe associée⁷⁹.
- L'impact annuel du stockage d'un octet de données a été calculé :
 - La consommation électrique associée au stockage d'un octet de données a été évaluée en ordre de grandeur à partir de travaux et d'échanges avec un partenaire de cette étude, le Groupe Caisse des Dépôts : à partir de la volumétrie totale de données stockées et de la consommation électrique annuelle associée, on extrait l'ordre de grandeur 1.10^{-9} kWh/byte/an.
 - Les émissions de GES annuelles associées ont été calculées à l'aide du facteur d'émission associé à la consommation d'électricité, issu du REN, pour la zone « EU »⁸⁰.
- Pour chaque scénario, ont été calculées les émissions totales associées à leur déroulement, qui sont la somme de deux contributions :

$$GES_{tot} = N_{mail} * GES_{mail} + N_{doc} * n_{doc} * GES_{octet}$$

⁷⁴ Conformément à l'hypothèse b.

⁷⁵ Conformément à l'hypothèse a.

⁷⁶ Conformément à l'hypothèse 4, suivant le scénario.

⁷⁷ Conformément à l'hypothèse 5.

⁷⁸ Disponible dans « [Lean ICT Materials] REN ». Produit par The Shift Project.

⁷⁹ cf. « Note Méthodologique – Référentiel Environnemental du Numérique (REN) »

⁸⁰ Détaillé dans « [Lean ICT Materials] REN », onglet « CO₂ Run ». Produit par The Shift Project.

où :

- GES_{tot} est l'impact annuel total associé à ces échanges dans le scénario donné ;
 - N_{mail} est le nombre de mails envoyés ;
 - GES_{mail} est l'impact associé à l'envoi d'un mail ;
 - N_{doc} est le nombre d'exemplaires du document stockés sur serveur ;
 - n_{doc} est la taille d'un exemplaire du document (1.10⁶ octets) ;
 - GES_{octet} est l'impact annuel associé au stockage d'un octet de données sur serveur.
- Pour chaque scénario, on en déduit la diminution relative (en %) des émissions totales pour un stockage annuel, par rapport au Scénario 1, scénario de départ.

d. Sources

Les hypothèses de ces calculs ont été choisies sur les avis d'experts du groupe de travail afin d'être cohérentes avec la réalité des situations en entreprise.

Les valeurs d'émissions de GES sont issues du REN⁸¹ et de travaux réalisés en collaboration avec le Groupe Caisse des Dépôts sur la base de leurs systèmes informatiques.

4. Levier n°5 : Métriques de l'impact environnemental d'une décision numérique

a. Description du levier

Indicateur

L'indicateur choisi est ici un exemple de métrique : l'impact environnemental d'un écran d'affichage en fonction de sa taille.

Enoncé du levier

L'objectif n'est pas, dans ce cas, de quantifier l'effet du levier, mais de donner un exemple quantifié de métrique simple à mettre en place et qui permettrait de rendre possible et efficace le dialogue entre les experts et les organes décisionnels. Il s'agit d'une démonstration de la pertinence d'une mesure plus large : "Définir un langage d'échange grâce à des métriques standardisées (au moins au niveau de l'entreprise) qui permette la discussion entre les sphères décisionnelles spécialisée et stratégique".

Le calcul ici réalisé se concentre sur l'exemple suivant de métrique : « impact environnemental annuel d'un écran d'affichage en fonction de sa taille ».

b. Hypothèses

1. Les écrans d'affichage sont assimilés à l'équipement « TV connectée » décrit dans le Référentiel Environnemental du Numérique (REN)⁸² : les équipements d'affichage professionnel sont en effet équivalents sinon identiques aux équipements grand public.
2. Les hypothèses et résultats utilisés dans les calculs sont donc directement celles et ceux du Référentiel Environnemental du Numérique (REN), pour la TV connectée.
3. L'impact d'un écran est considéré au travers de sa phase de production et d'utilisation.

c. Méthodologie de quantification

Pour parvenir à la construction de cette métrique, les étapes suivantes ont été réalisées :

- La moyenne des tailles d'écran des différents modèles considérés pour les émissions annuelles en phase d'utilisation présentées dans le REN a été calculée.
- L'écran moyen étant de taille équivalente à l'écran utilisé pour obtenir les résultats des émissions de GES associées à la phase de production, les résultats du REN pour les deux phases (production et utilisation) ont pu être utilisés conjointement.
- Les émissions annuelles en phase d'utilisation sont issues du REN, pour la zone géographique « EU ».
- On en déduit l'impact annuel de l'écran en fonction de sa taille (en kgCO₂eq/an/inch) : il correspond à la répartition de l'impact de production sur l'ensemble de la durée de vie, additionnée à la consommation annuelle de l'équipement en phase d'utilisation, le tout rapporté à l'unité de longueur de diagonale.

d. Sources

Les résultats utilisés proviennent tous du Référentiel Environnemental du Numérique (REN), produit par le groupe de travail dans le cadre de ce rapport.

⁸¹ Disponible dans « [Lean ICT Materials] REN ». Produit par The Shift Project.

⁸² Disponible dans « [Lean ICT Materials] REN ». Produit par The Shift Project.

f. Annexe 6 : Least Developed Countries (UN-OHRLLS)⁸³

Les pays les moins avancés (Least Developed Countries ou LDCs) représentent le segment le plus pauvre et le plus faible de la communauté internationale. Ils représentent plus de 880 millions de personnes (environ 12 % de la population mondiale), mais moins de 2 % du PIB mondial et environ 1 % du commerce mondial des biens.

Leur faible niveau de développement socioéconomique se caractérise par de faibles capacités humaines et institutionnelles, des revenus faibles et inégalement répartis et la rareté des ressources financières nationales. Ils souffrent souvent de crises de gouvernance, d'instabilité politique et, dans certains cas, de conflits internes et externes. Leurs économies, en grande partie agraires, sont affectées par un cercle vicieux de faible productivité et de faible investissement. Ils dépendent de l'exportation de quelques produits de base comme principale source d'exportation et de recettes budgétaires, ce qui les rend très vulnérables aux chocs des termes de l'échange extérieurs. Seule une poignée d'entre eux a pu se diversifier dans le secteur manufacturier, mais avec une gamme limitée de produits dans les industries à forte intensité de main-d'œuvre, c'est-à-dire le textile et l'habillement. Ces contraintes sont à l'origine de l'insuffisance de la mobilisation des ressources intérieures, de la faible capacité de gestion de l'économie, de faiblesses dans la conception et la mise en œuvre des programmes, de déficits extérieurs chroniques, du poids élevé de la dette et de la forte dépendance vis-à-vis du financement extérieur qui ont maintenu les PMA dans une situation de pauvreté.

La catégorie des PMA a été officiellement créée en 1971 par l'Assemblée générale des Nations Unies en vue d'attirer un soutien international spécifique pour les membres les plus vulnérables et défavorisés de la famille des Nations Unies.

La liste actuelle des PMA comprend 47 pays (le dernier membre étant le Sud-Soudan) ; 33 en Afrique, 13 en Asie et dans le Pacifique et 1 en Amérique latine..

LEAST DEVELOPED COUNTRIES

Africa (33)

1	Angola	18	Malawi #
2	Benin	19	Mali #
3	Burkina Faso #	20	Mauritania
4	Burundi #	21	Mozambique
5	Central African Republic #	22	Niger #
6	Chad #	23	Rwanda #
7	Comoros *	24	São Tomé and Príncipe *
8	Democratic Republic of the Congo	25	Senegal
9	Djibouti	26	Sierra Leone
10	Eritrea	27	Somalia
11	Ethiopia #	28	South Sudan #
12	Gambia	29	Sudan
13	Guinea	30	Togo
14	Guinea-Bissau *	31	Uganda #
15	Lesotho #	32	United Republic of Tanzania
16	Liberia	33	Zambia #
17	Madagascar		

⁸³ Informations disponibles sur le site de l'UN-OHRLLS : <http://unohrrls.org/about-ldcs/about-ldcs/> (consulté le 30/09/2018)

Asia Pacific (13)

1	Afghanistan #	8	Nepal #
2	Bangladesh	9	Solomon Islands *
3	Bhutan #	10	Timor-Leste *
4	Cambodia	11	Tuvalu *
5	Kiribati *	12	Vanuatu *
6	Lao People's Democratic Republic #	13	Yemen
7	Myanmar		

Latin America and the Caribbean (1)

1	Haiti *
---	---------

* Also a Small Island Developing State

Also a Landlocked Developing Country

g. Annexe 7 : Principles for digital development⁸⁴

A la fin des années 2000, les donateurs et les organismes d'intervention ont commencé à reconnaître que les programmes de développement numérique étaient fragmentés, non coordonnés, cloisonnés et qu'ils avaient du mal à s'adapter ou à se maintenir à long terme. Pour relever ces défis, les donateurs et ces organismes ont commencé à discuter de la façon de comprendre et de partager les meilleures pratiques dans l'utilisation des outils numériques dans le développement international. Ces conversations ont débouché sur les Principes d'innovation de l'UNICEF de 2009, les Principes de Greentree de 2010 et les Principes de conception du Royaume-Uni, entre autres.

Les Principes pour le développement numérique sont une tentative d'unifier ces principes précédents et de créer une communauté de pratique pour ceux qui travaillent dans le développement numérique. Les « principes for digital development » ont d'abord été créés en consultation avec des organisations telles que la Fondation Bill et Melinda Gates, l'Agence suédoise de développement international (SIDA), le Fonds des Nations Unies pour l'enfance (UNICEF), le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), la Banque mondiale, l'Agence des États-Unis pour le développement international (USAID) et l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

PRINCIPLES FOR DIGITAL DEVELOPMENT

The following set of principles represents a concerted effort by donors to capture the most important lessons learned by the development community in the implementation of technology-enabled programs. Having evolved from a previous set of implementer precepts endorsed by over 300 organizations, these principles seek to serve as a set of living guidelines that are meant to inform, but not dictate, the design of technology-enabled development programs.

<p>ONE: DESIGN WITH THE USER</p> <ul style="list-style-type: none"> › Develop context-appropriate solutions informed by user needs. › Include all user groups in planning, development, implementation, and assessment. › Develop projects in an incremental and iterative manner. › Design solutions that learn from and enhance existing workflows, and plan for organizational adaptation. › Ensure solutions are sensitive to, and useful for, the most marginalized populations: women, children, those with disabilities, and those affected by conflict and disaster. 	<p>TWO: UNDERSTAND THE ECOSYSTEM</p> <ul style="list-style-type: none"> › Participate in networks and communities of like-minded practitioners. › Align to existing technological, legal, and regulatory policies. 	<p>THREE: DESIGN FOR SCALE</p> <ul style="list-style-type: none"> › Design for scale from the start, and assess and mitigate dependencies that might limit ability to scale. › Employ a "systems" approach to design, considering implications of design beyond an immediate project. › Be replicable and customizable in other countries and contexts. › Demonstrate impact before scaling a solution. › Analyze all technology choices through the lens of national and regional scale. › Factor in partnerships from the beginning, and start early negotiations. 	<p>FOUR: BUILD FOR SUSTAINABILITY</p> <ul style="list-style-type: none"> › Plan for sustainability from the start, including planning for long-term financial health, e.g., assessing total cost of ownership. › Utilize and invest in local communities and developers by default, and help catalyze their growth. › Engage with local governments to ensure integration into national strategy, and identify high-level government advocates. 	<p>FIVE: BE DATA DRIVEN</p> <ul style="list-style-type: none"> › Design projects so that impact can be measured at discrete milestones with a focus on outcomes rather than outputs. › Evaluate innovative solutions and areas where there are gaps in data and evidence. › Use real-time information to monitor and inform management decisions at all levels. › When possible, leverage data as a by-product of user actions and transactions for assessments. 	<p>SIX: USE OPEN DATA, OPEN STANDARDS, OPEN SOURCE, OPEN INNOVATION</p> <ul style="list-style-type: none"> › Adopt and expand existing open standards. › Open data and functionalities, and expose them in documented APIs (Application Programming Interfaces) where use by a larger community is possible. › Invest in software as a public good. › Develop software to be open source by default with the code made available in public repositories and supported through developer communities. 	<p>SEVEN: REUSE AND IMPROVE</p> <ul style="list-style-type: none"> › Use, modify, and extend existing tools, platforms, and frameworks when possible. › Develop in modular ways favoring approaches that are interoperable over those that are monolithic by design. 	<p>EIGHT: ADDRESS PRIVACY & SECURITY</p> <ul style="list-style-type: none"> › Assess and mitigate risks to the security of users and their data. › Consider the context and needs for privacy of personally identifiable information when designing solutions and mitigate accordingly. › Ensure equity and fairness in co-creation, and protect the best interests of the end-users. 	<p>NINE: BE COLLABORATIVE</p> <ul style="list-style-type: none"> › Engage diverse expertise across disciplines and industries at all stages. › Work across sector silos to create coordinated and more holistic approaches. › Document work, results, processes, and best practices, and share them widely. › Publish materials under a Creative Commons license by default, with strong rationale if another licensing approach is taken.
--	---	---	---	---	---	---	---	---

For more information, visit [DIGITALPRINCIPLES.ORG](https://digitalprinciples.org)

⁸⁴ <https://digitalprinciples.org/>

Références

- ENR'CERT. (2016). *L'efficacité Energétique dans les Data Centers- Etude gisement du parc français*. ENR'CERT - Association Technique Energie Environnement.
- ADEME. (2012). *Réalisation d'un Bilan des émissions de gaz à effet de serre - Guide Sectoriel 2012*. TNIC. ADEME.
- ADEME. (2013). *Elaboration selon les Principes des ACV des Bilans Energetiques, des Emissions de Gaz à Effet de Serre et des Autres Impacts Environnementaux Induits par L'ensemble des Filières de Vehicules Electriques et de Vehicules Thermiques, VP et VUL*. Ginko21, PE INTERNATIONAL.
- Alliance Green IT (AGIT). (2017). *Baromètre des pratiques Green IT des entreprises en France*.
- Alliance Green IT (AGIT). (2017). *Livre Blanc - L'écoconception des Services Numériques*. <http://alliancegreenit.org/wp-content/uploads/Doc%20AGIT/LB-ecoconception-numerique.pdf>.
- Andrae, A., & Edler, T. (2015). On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030. *Challenges*, 117 - 157.
- Apple. (2018). *Rapports sur les caractéristiques environnementales des produits*. consulté 23/04/2018: sur: <https://www.apple.com/fr/environment/reports/>.
- Arthur D. Little. (2017). *Economie des Télécoms*. Fédération Française des Télécoms. sur: <https://www.fftelecoms.org/app/uploads/2017/12/171217-FFT-Etude-Economie-des-T%C3%A9l%C3%A9coms-2017-Pr%C3%A9sentation.pdf>.
- Baldé et al. (2015). *The global e-waste monitor – 2014*. Bonn, Germany: United Nations University, IAS – SCYCLE.
- Banque mondiale. (2016). « *Rapport sur le développement dans le monde 2016 : Les dividendes du numérique*. ». Washington: Abrégé. Licence : Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO.
- Banque mondiale. (2017). *The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future*. Washington, DC: World Bank Publications, The World Bank Group.
- Benton, D., Hazell, J., & Coats, E. (2015). *A circular economy for smart devices*. London: Green Alliance.
- Bihouix, P. (2015). Les métaux dans les TICs. *10 ans EcoInfo : "Vers une informatique éco-responsable ?" 23 avril* CNRS Paris. sur: http://ecoinfo.imag.fr/wp-content/uploads/2015/04/avril_2015_conference_ecoinfo_cnrs_métaux_dans_les_tic-img800q90.pdf.
- Bihouix, P. M. (2016). *Le désastre de l'école numérique*. Paris: Seuil.
- BP. (2017). *Statistical Review of World Energy 2017*. Récupéré sur <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>
- Byrne, D., & Corrado, C. (2017). *ICT Prices and ICT Services: What do they tell us about Productivity and Technology?* Washington. Board of Governors of the Federal Reserve System, <https://doi.org/10.17016/FEDS.2017.015>.: Finance and Economics Discussion Series 2017-015.
- CEET. (2013). *The Power of Wireless Cloud*. Centre for Energy-Efficient Telecommunications. CEET. Bell Labs and University of Melbourne.
- CIGREF. (2017). *Du Green IT au Green by IT - Exemples d'applications dans les grandes entreprises*. .
- Cisco. (2014). *Visual Networking Index: Mobile Forecast Highlights, Global - 2018 Forecast Highlights*. sur: http://www.anatel.org.mx/docs/interes/Cisco_VNI_Forecast_and_Methodology.pdf.
- Cisco. (2015). Cisco Visual Networking Index.
- Cisco. (2016a). *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2015–2020*. sur: https://www.cisco.com/c/dam/m/en_in/innovation/enterprise/assets/mobile-white-paper-c11-520862.pdf.
- Cisco. (2016b). *Visual Networking Index: Mobile Forecast Highlights, Global - 2020 Forecast Highlights*. sur: https://www.cisco.com/c/dam/m/en_us/solutions/service-provider/vni-forecast-highlights/pdf/Global_2020_Forecast_Highlights.pdf.
- Cisco. (2017). *Visual Networking Index: Global - 2021 Forecast Highlights*. sur: https://www.cisco.com/c/dam/m/en_us/solutions/service-provider/vni-forecast-highlights/pdf/Global_2021_Forecast_Highlights.pdf.
- Cisco. (2017a). *The Zettabyte Era: Trends and Analysis, Whitepaper*. sur <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/vni-hyperconnectivity-wp.pdf>.

- Cisco. (2017b). *Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2016–2021*. sur <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/complete-white-paper-c11-481360.pdf>.
- Cisco. (2018). *Cisco Global Cloud Index, Forecast and Methodology 2016–2021, Whitepaper*. sur <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/white-paper-c11-738085.pdf>.
- Cisco. (2018b). *VNI Mobile Forecast Highlights, 2016-2021*. sur https://www.cisco.com/assets/sol/sp/vni/forecast_highlights_mobile/.
- Commission européenne. (2017). *Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Criticality Assessments*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Commission européenne. (2018, Consulté le 03/02/2018). *Marché unique numérique*. sur https://ec.europa.eu/commission/priorities/digital-single-market_fr.
- Deloitte Développement Durable, E. F. (2016). « *Potentiel de contribution du numérique à la réduction des impacts environnementaux : état des lieux et enjeux pour la prospective* », *Étude réalisée pour le compte de l'ADEME*.
- Devezas, T. C., & Magee, C. L. (2016). A Simple Extension of Dematerialization Theory: Incorporation of Technical Progress and the Rebound Effect. *Elsevier*.
- Ducass, A. (2018). *CIOMag. n°53 Juillet-Août 2018*.
- EEA. (2016). *CO2 Emission Intensity*. Récupéré sur European Environment Agency: [https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-3#tab-googlechartid_chart_11_filters=%7B%22rowFilters%22%3A%7B%7D%3B%22columnFilters%22%3A%7B%22pre_config_ugeo%22%3A%5B%22European%20Union%20\(28%20countries\)%22%5D%7D%7D](https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-3#tab-googlechartid_chart_11_filters=%7B%22rowFilters%22%3A%7B%7D%3B%22columnFilters%22%3A%7B%22pre_config_ugeo%22%3A%5B%22European%20Union%20(28%20countries)%22%5D%7D%7D)
- EIA. (2016). *Global energy intensity continues to decline*. consulté 23/04/2018: sur <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=27032>.
- Energy Star. (2014). *Program Requirements for Computers - Partner Commitments*. https://www.energystar.gov/products/office_equipment/computers/key_product_criteria: Energy Star Requirements, "Computer Version 6.1 Program Requirements", p. 16.
- Ercan, E. M. (2013). *Global Warming Potential of a Smartphone: Using Life Cycle*. Stockholm: MSc thesis report, KTH Royal Institute of Technology, TRITA-IM-EX 2013:01.
- Gaillard, J.-P. (2018). *Enfants et adolescents en mutation: Mode d'emploi pour les parents, éducateurs, enseignants et thérapeutes*. Paris: ESF.
- Gartner. (2017). *Gartner Says 8.4 Billion Connected "Things" Will Be in Use in 2017, Up 31 Percent From 2016*. sur: <https://www.gartner.com/newsroom/id/3598917>, consulté 27/04/2018.
- Gartner. (2018a). *Gartner Says Worldwide Device Shipments Will Increase 2.1 Percent in 2018. 29/01/2018*. consulté le 23/04/2018: <https://www.gartner.com/newsroom/id/3859963>.
- Gartner. (2018b). *Gartner Forecasts Worldwide Public Cloud Revenue to Grow 21.4 Percent in 2018. (12/04/2018)*. sur <https://www.gartner.com/newsroom/id/3871416>.
- Gérôme J-A., C. C. (2017). Récupération de tantale et d'étain d'un minerai namibien par une table densimétrique à air. *Revue Scientifique des Ingénieurs Industriels, n°31*, pp. p. 229-255.
- Gossart, C. (2015). Rebound effects and ICT : a review of the literature. Dans *ICT innovations for sustainability* (pp. 435 - 448). Springer.
- Greenpeace. (2017). *From Smart to Senseless: The Global Impact of 10 Years of Smartphones*.
- GSMA. (2015). *The Impact of the Internet of Things: The Connected Home*. <https://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/15625-Connected-Living-Report.pdf>.
- GSMA. (2017). *Global Mobile Trends*.
- GSMA. (2018). *The Mobile Economy*.
- GSMA. (2018). *The Mobile Economy - Asia Pacific 2018*.
- Halloy, J. (2018). More than an energy issue, we have a problem of materials. *4th Science and Energy Seminar at Ecole de Physique des Houches, March 4th-9th 2018* (p. 40). Les Houches: sur: <http://science-and-energy.org/wp-content/uploads/2018/03/JH-Les-Houches-2018.pdf>.
- Hischier, R. (2014). *Life Cycle Assessment Study of a Field Emission Display Television Device*. LCI Methodology and Databases.

- HPE. (2018). *En quoi consiste Edge Computing ?* Consulté 23/04/2018: sur <https://www.hpe.com/fr/fr/what-is/edge-computing.html>.
- IDC. (2017a). *IDC Worldwide Quarterly Mobile Phone Tracker, May 30, 2017*. sur: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS42628117>.
- IDC. (2017b, Decembre 5). IDC Forecasts Worldwide Spending on the Internet of Things to Reach \$772 Billion in 2018. *IDC Media Center*, pp. sur: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS43295217>, consulté 23/04/2018.
- IDC. (2017c). *IDC State of the Market 4Q17: IT Spending Review and Outlook*. sur: <https://www.idc.com/getfile.dyn?containerId=US43580218&attachmentId=47309569>, consulté le 27/04/2018.
- Iddri, Fing, WWF France, GreenIT.fr. (2018). *Livre blanc Numérique et Environnement*.
- Institut Mines-Télécom. (2016). Les métaux stratégiques, un enjeux mondial ? - « Développement économique et croissance des usages des métaux ». . *Responsabilité et Environnement, Une série des Annales des Mines. n° 82. Avril 2016. p. 8-15*.
- International Energy Agency (IEA). (2014). *Africa Energy Outlook. p. 196*.
- International Energy Agency (IEA). (2016). *CO2 Emissions from fuel combustion*. Highlights. International Energy Agency. Statistics.
- International Energy Agency (IEA). (2016b). *Excel tables from CO2 Emissions from fuel combustion*. Récupéré sur <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/co2-emissions-from-fuel-combustion-highlights-2016.html>
- International Energy Agency (IEA). (2018). *IEA Headline Global Energy Data (2018 Edition)*. Paris: sur http://www.iea.org/media/statistics/IEA_HeadlineEnergyData_2018.xlsx.
- Kantar TNS. (2015). *Connected Life*. <https://www.tns-sofres.com/publications/les-millennials-passent-un-jour-par-semaine-sur-leur-smartphone,visited01/10/2018>.
- Lepesant, G. (2018). *La Transition Énergétique face au défi des métaux critiques*. Paris: Etudes de l'Ifri, Ifri.
- Les Echos. (2016, consulté le 23/04/2018). Le numérique, promesse de développement pour l'Afrique. sur <https://www.lesechos.fr/idees-debats/cercle/cercle-157088-le-numerique-promesse-de-developpement-pour-lafrique-1223470.php>.
- Magee, C. L., & Devezas, T. (2017). A simple extension of dematerialization theory: Incorporation of technical progress and the rebound effect. *Technological Forecasting & Social Change*, 196 - 205.
- Oakdene Hollins Research & Consulting, Fraunhofer ISI. (2013). *Study on Critical Raw Materials at EU Level. Final report for DG Enterprise and Industry, EU Commission*. EU Commission, DG Enterprise and Industry.
- OCDE. (2018). *Émissions de GES et de polluants de l'air (indicateur)*. doi: 10.1787/e35e4bd6-fr (Consulté le 02 octobre 2018).
- Orange Labs. (2017). Architecture d'un smartphone, petit extrait des matériaux. *Présentation*.
- Polak, C. (2009). Métallurgie et recyclage du niobium et du tantale. *Techniques de l'ingénieur - Métallurgie extractive. Editions T.I. n° m2365*.
- Quechoisir. (2015, Juillet 25). *Smartphone en panne (infographie) - 24 % des smartphones sur la touche*. Récupéré sur Quechoisir: <https://www.quechoisir.org/actualite-smartphone-en-panne-infographie-24-des-smartphones-sur-la-touche-n6705/>
- Samsung . (2017). *Energy Guide of the "55" Class MU7000 4K UHD TV*". EnergyGuide Label.
- Santarius, T., Walnum, H., & Aall, C. (2016). *Rethinking Climate and Energy Policies—New Perspectives on the Rebound Phenomenon*. New York: Springer.
- Shehabi, A. et al. (2016). *United States Data Center Energy Usage Report*. Berkeley, California: Lawrence, Berkeley National Laboratory.
- Sirimanne, S. (2017). *Implementing World Summit on the Information Society Outcomes, 2016-2017. UNCTAD Research Paper N°12*. <https://unctad.org/en/pages/PublicationWebflyer.aspx?publicationid=1920>.
- Techradar. (2015). *"The data capacity gap: why the world is running out of data storage"*. Consulté 23/04/2018: sur <https://www.techradar.com/news/computing-components/storage/the-data-capacity-gap-why-the-world-is-running-out-of-data-storage-1284024>.
- The Shift Project. (2016). *Les INDC et le budget carbone – Simulation de trajectoires d'émission compatibles avec le budget carbone +2°C*. sur https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2017/12/note_danalyse_les_indc_et_le_budget_carbone_the_shift_project_0.pdf.

- The Shift Project. (2017b). *Data Portal, using the "US EIA Historical Statistics" database*. Récupéré sur <http://www.tsp-data-portal.org/Breakdown-of-Electricity-Capacity-by-Energy-Source#tspQvChart>
- The Shift Project. (2018). *[Lean ICT Materials] 1byte Model*. Groupe de travail "Lean ICT". <https://theshiftproject.org/lean-ict-materials/?preview=true>
- The Shift Project. (2018). *[Lean ICT Materials] Forecast Model*. Groupe de travail "Lean ICT". <https://theshiftproject.org/lean-ict-materials/?preview=true>
- The Shift Project. (2018). *[Lean ICT Materials] QuantiLev*. Groupe de travail "Lean ICT". <https://theshiftproject.org/lean-ict-materials/?preview=true>
- The Shift Project. (2018). *[Lean ICT Materials] REN*. Groupe de travail "Lean ICT". <https://theshiftproject.org/lean-ict-materials/?preview=true>
- The Shift Project. (2018). *[Lean ICT Materials] Residential Router Electricity Consumption*. Groupe de travail "Lean ICT". <https://theshiftproject.org/lean-ict-materials/?preview=true>
- UNCTAD. (2017). *World Investment Report 2017*.
- UNCTAD. (2018, mai 15). Communiqué de presse. « *TIR-Selon un nouveau rapport, les technologies de pointe peuvent aider à faire face aux enjeux mondiaux* » sur la parution du « *Rapport 2018 sur la technologie et l'innovation : les technologies de pointe au service du développement durable* ». <https://unctad.org/fr/Pages/PressRelease.aspx?OriginalVersionID=453>, consulté le 29/09/2018.
- UNEP. (2011). *Recycling Rates of Metal, A Status Report*.
- UNESCO. (2017). *Global Education Monitoring Report 2017/2018 - Accountability in Education: Meeting our Commitments*. <https://en.unesco.org/gem-report/report/2017/accountability-education>.
- UNESCO, I. (2015). *Transformative Solutions for 2015 and Beyond, a Report of the Broadband Commission Task Force on Sustainable Development*.
- Union Internationale des télécommunications. (2012). *Présentation générale de l'Internet des objets*. Recommandation UIT-T Y.2060.
- United Nations. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Paragraphe 15*. <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>.
- UN-OHRLLS. (s.d.). *About LDCs*. Récupéré sur UN-OHRLLS: <http://unohrlls.org/about-ldcs/about-ldcs/>
- Vidal, O. (2018). *Matières premières et énergie - Les enjeux de demain*. ISTE Editions.
- WSIS. (2015). *SDG Matrix, Linking WSIS Action Lines with Sustainable Development Goals*. WSIS forum 2015.

Équipe projet

Hugues Ferreboeuf

Directeur du groupe de travail « Lean ICT » – hugues.ferreboeuf@theshiftproject.org

Hugues Ferreboeuf est Polytechnicien, Ingénieur du Corps des Mines et Diplômé de Télécom ParisTech. Il a exercé plusieurs postes de Direction Générale de filiales et de Business Units au sein du Groupe France Télécom Orange. Il mène ensuite une double carrière d'entrepreneur et de consultant. Il prenant la présidence d'un opérateur privé franco-allemand de télécommunications mobiles professionnelles (e*Message), et devient Directeur Grands Comptes d'un fournisseur américain d'équipements de télécommunications (Juniper Networks). Il rejoint ensuite le groupe BT, en tant que Directeur Général chargé du secteur Banque et Finance où il est impliqué dans de nombreux projets de Transition Numérique. Il reprend ses activités de conseil en 2016 puis co-fonde Virtus Management afin de mettre au service de grands groupes et de PME son expérience du pilotage de changements. Il se spécialise dans le management des transitions (énergétique, numérique, générationnelle) et met son expérience au service du pilotage du projet « Lean ICT » du think tank *The Shift Project*.

Maxime Efoui-Hess

Chargé de projet « Lean ICT », modélisateur principal – maxime.efoui@theshiftproject.org

Maxime Efoui-Hess est un 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. Il a aussi 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.

Zeynep Kahraman

Directrice des projets – zeynep.kahraman@theshiftproject.org

Zeynep Kahraman est économiste et économètre diplômée de la Toulouse School of Economics. Elle a rejoint *The Shift Project* en 2011 comme Cheffe de Projet en charge du développement du Portail de données énergie-climat du *Shift* et travaillé, avec Gaël Giraud, sur un projet de recherche en économie, dont l'objectif est de démontrer la relation entre consommation d'énergie et PIB. Elle a également coordonné l'élaboration des neuf propositions du *Shift Project* pour que l'Europe change d'ère », cf. Zeynep Kahraman, André-Jean Guérin, Jean-Marc Jancovici, *Décarbonons ! 9 propositions pour que l'Europe change d'ère*, Odile Jacob, 2017.

The Shift Project tient à remercier les membres du groupe de travail, toute l'équipe du think tank *The Shift Project* ainsi que les bénévoles de l'association *The Shifters* pour leurs contributions, relectures et commentaires sur ce rapport. Les interprétations, positions et recommandations y figurant ne peuvent être attribuées ni aux membres du groupe de travail, ni aux relecteurs. Le contenu de ce rapport n'engage que *The Shift Project*.

The Shift Project, think tank de la transition carbone

The Shift Project est un think tank qui œuvre en faveur d'une économie post-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. Nos membres sont de grandes entreprises qui veulent faire de la transition énergétique leur priorité.

Contact presse : Jean-Noël Geist, Chargé des affaires publiques et de la communication
+ 33 (0) 6 95 10 81 91 | jean-noel.geist@theshiftproject.org



www.theshiftproject.org