

N° 555

SÉNAT

SESSION ORDINAIRE DE 2019-2020

Enregistré à la Présidence du Sénat le 24 juin 2020

RAPPORT D'INFORMATION

FAIT

au nom de la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable (1) par la mission d'information sur l'empreinte environnementale du numérique (2),

Par MM. Hervé MAUREY, président de la commission,

Patrick CHAIZE, président de la mission d'information,

Guillaume CHEVROLLIER et Jean-Michel HOULLEGATTE, rapporteurs

(1) Cette commission est composée de : M. Hervé Maurey, *président* ; MM. Claude Bérít-Débat, Patrick Chaize, Ronan Dantec, Alain Fouché, Guillaume Gontard, Didier Mandelli, Frédéric Marchand, Mme Nelly Tocqueville, M. Michel Vaspárt, *vice-présidents* ; Mmes Nicole Bonnefoy, Marta de Cidrac, MM. Jean-François Longeot, Cyril Pellevat, *secrétaires* ; Mme Éliane Assassi, MM. Jérôme Bignon, Joël Bigot, Jean-Marc Boyer, Mme Françoise Cartron, MM. Guillaume Chevrollier, Jean-Pierre Corbisez, Michel Dagbert, Michel Dennemont, Mme Martine Filleul, MM. Hervé Gillé, Jordi Ginesta, Éric Gold, Mme Christine Herzog, MM. Jean-Michel Houllegatte, Benoît Huré, Olivier Jacquin, Mme Christine Lanfranchi Dorgal, MM. Olivier Léonhardt, Jean-Claude Luche, Pascal Martin, Pierre Médevielle, Louis-Jean de Nicolaÿ, Jean-Jacques Panunzi, Philippe Pemezec, Mme Évelyne Perrot, M. Rémy Pointereau, Mme Angèle Préville, MM. Jean-Paul Prince, Christophe Priou, Mmes Françoise Ramond, Esther Sittler, Nadia Sollogoub, Michèle Vullien.

(2) Cette mission est composée de : M. Patrick Chaize, *président* ; MM. Guillaume Chevrollier, Jean-Michel Houllegatte, *rapporteurs* ; MM. Joël Bigot, Jean-Marc Boyer, Mme Marta de Cidrac, M. Ronan Dantec, Mme Martine Filleul, MM. Alain Fouché, Guillaume Gontard, Jean-François Longeot, Frédéric Marchand, Mmes Françoise Ramond, Nadia Sollogoub.

SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
L'ESSENTIEL.....	7
LES TRAVAUX DE LA MISSION.....	17
LES PROPOSITIONS DE LA MISSION	19
I. FAIRE PRENDRE CONSCIENCE AUX UTILISATEURS DU NUMÉRIQUE DE SON IMPACT ENVIRONNEMENTAL.....	19
A. EN AMÉLIORANT LA CONNAISSANCE SUR UN SUJET ENCORE TROP PEU DOCUMENTÉ ET TROP MÉCONNU DU GRAND PUBLIC	19
1. <i>Lancer une grande campagne de sensibilisation incitant les utilisateurs à adopter les gestes numériques éco-responsables</i>	<i>19</i>
2. <i>Mieux informer les utilisateurs de l'empreinte carbone de leurs terminaux et usages numériques.....</i>	<i>21</i>
3. <i>Mettre à disposition du public une base de données permettant de calculer les impacts environnementaux du numérique</i>	<i>24</i>
4. <i>Former les nouvelles générations à un numérique sobre.....</i>	<i>24</i>
5. <i>Créer un observatoire de recherche des impacts environnementaux du numérique</i>	<i>26</i>
B. EN DEMANDANT AUX ACTEURS PRIVÉS ET PUBLICS D'INTÉGRER L'ENJEU ENVIRONNEMENTAL DANS LEUR STRATÉGIE NUMÉRIQUE	27
1. <i>Inscrire l'impact environnemental du numérique dans le bilan RSE des entreprises et créer un crédit d'impôt pour les PME et TPE pour la réalisation de mesures d'impact environnemental.....</i>	<i>27</i>
2. <i>Mettre à disposition des collectivités territoriales un cadre méthodologique d'évaluation environnementale des projets smart</i>	<i>28</i>
II. LIMITER LE RENOUVELLEMENT DES TERMINAUX, DONT LA FABRICATION ET LA DISTRIBUTION REPRÉSENTENT 70 % DE L'EMPREINTE CARBONE DU NUMÉRIQUE EN FRANCE.....	30
A. EN TAXANT LES EXTERNALITÉS NÉGATIVES LIÉES À LEUR FABRICATION : INTRODUIRE UNE TAXE CARBONE AUX FRONTIÈRES EUROPÉENNES POUR INTERNALISER LE COÛT ENVIRONNEMENTAL DES TERMINAUX IMPORTÉS..	35
B. EN LUTTANT CONTRE L'OBSOLESCENCE PROGRAMMÉE ET L'OBSOLESCENCE LOGICIELLE	36
1. <i>Renforcer les sanctions pour obsolescence programmée.....</i>	<i>36</i>
2. <i>Renforcer la lutte contre l'obsolescence logicielle</i>	<i>38</i>

C. EN FAVORISANT LE RÉEMPLOI ET LA RÉPARATION.....	39
1. Renforcer l'ambition en matière de réparation et de réemploi par un taux de TVA réduit et l'inscription d'objectifs ambitieux dans le cahier des charges des éco-organismes	39
2. Activer le levier de la commande publique pour contribuer à renforcer les marchés de réemploi et de réparation	41
3. Conditionner les aides à la numérisation des entreprises dans le cadre du plan de relance à l'intégration d'une ambition environnementale	42
III. FAIRE ÉMERGER ET DÉVELOPPER DES USAGES DU NUMÉRIQUE ÉCOLOGIQUEMENT VERTUEUX.....	43
A. EN DÉFINISSANT LES DONNÉES COMME UNE RESSOURCE NÉCESSITANT UNE GESTION DURABLE : PRÉVOIR UNE CONSÉCRATION LÉGISLATIVE DE LA DONNÉE COMME UNE RESSOURCE NÉCESSITANT UNE GESTION DURABLE.....	43
B. EN RÉGULANT L'OFFRE DES FORFAITS TÉLÉPHONIQUES : INTERDIRE À TITRE PRÉVENTIF LES FORFAITS MOBILES AVEC UN ACCÈS AUX DONNÉES ILLIMITÉES ET RENDRE OBLIGATOIRE UNE TARIFICATION PROPORTIONNELLE AU VOLUME DE DONNÉES DU FORFAIT.....	44
C. EN LIMITANT L'IMPACT DES USAGES VIDÉO : ENCADRER LE STREAMING VIDÉO, QUI REPRÉSENTE 60 % DU TRAFIC INTERNET MONDIAL.....	45
D. EN AMÉLIORANT L'ÉCOCONCEPTION DES SITES ET SERVICES NUMÉRIQUES.....	48
1. Accompagner, à court terme, les administrations dans l'écoconception des sites et services numériques.....	48
2. Rendre obligatoire, à moyen terme, l'écoconception des sites publics et des plus grands sites privés	50
E. EN PERMETTANT UNE « RÉGULATION DE L'ATTENTION »	51
1. Prévoir une obligation de reporting des fournisseurs de contenus sur les stratégies cognitives utilisées pour accroître les usages	51
2. Interdire certaines pratiques comme le lancement automatique des vidéos et le scroll infini	52
IV. ALLER VERS DES DATA CENTERS ET DES RÉSEAUX MOINS ÉNERGIVORES	53
A. EN AMÉLIORANT LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES DATA CENTERS, RESPONSABLES DE 14 % DE L'EMPREINTE CARBONE DU NUMÉRIQUE EN FRANCE	53
1. Inciter à l'installation de data centers en France et conditionner l'avantage fiscal existant à des critères de performance environnementale.....	54
2. Renforcer la complémentarité entre data centers et énergies renouvelables.....	57
B. EN AMÉLIORANT PLUS ENCORE LA SOBRIÉTÉ DES RÉSEAUX, RESPONSABLES DE 5 % DE L'EMPREINTE CARBONE DU NUMÉRIQUE EN FRANCE	58
1. Atteindre les objectifs du plan France très haut débit pour améliorer la connectivité fibre, réseau le moins énergivore	58
2. Engager une réflexion pour réduire la consommation électrique des box	60
3. Évaluer l'empreinte environnementale de la 5G.....	60

TRAVAUX EN COMMISSION	65
I. TABLE RONDE RELATIVE À L'EMPREINTE CARBONE DU NUMÉRIQUE - MERCREDI 29 JANVIER 2020.....	65
II. EXAMEN EN COMMISSION - MERCREDI 24 JUIN 2020.....	76
LISTE DES PERSONNES ENTENDUES	91
LISTE DES CONTRIBUTIONS ÉCRITES.....	93
ANNEXE : ÉTUDE RELATIVE À L'ÉVALUATION DES POLITIQUES PUBLIQUES MENÉES POUR RÉDUIRE L'EMPREINTE CARBONE DU NUMÉRIQUE.....	95

L'ESSENTIEL

I. LE NUMÉRIQUE, ANGLE MORT DES POLITIQUES ENVIRONNEMENTALES ET CLIMATIQUES

Formidable outil de résilience de notre société et de notre économie durant la crise sanitaire, le numérique sera demain au cœur de la relance économique, avec la perspective d'accélérer la transition numérique et, à plus long terme, d'exploiter les perspectives ouvertes par le développement de l'intelligence artificielle.

Les chiffres du secteur reflètent **sa croissance continue** : équipement voire sur-équipement des Français (93 % d'entre eux possédaient un téléphone mobile en 2017¹), hausse continue des **usages** (la consommation de données mobiles 4G augmente de près de 30 % par an², poussé notamment par le *streaming* vidéo qui représente environ 60 % du trafic en France) et augmentation considérable des **investissements** dans le secteur numérique (pour la première fois, les montants investis en France par les opérateurs de communications électroniques pour déployer les réseaux fixes et mobiles ont dépassé les 10 milliards d'euros en 2019³).

Secteur économique majeur, le numérique est pourtant largement ignoré en tant que tel des politiques publiques visant à atteindre les objectifs climatiques fixés par l'Accord de Paris : il n'existe pas de stratégie transversale publique visant à en atténuer les impacts environnementaux.

Or, il est indispensable que les gains environnementaux indirectement permis par le numérique (facilitation de l'accès aux bornes de recharge dans les transports, bâtiments intelligents par exemple)⁴ ne soient pas annulés par ses impacts directs et quantifiables en termes d'émissions de gaz à effet de serre, d'utilisation des ressources abiotiques, de consommation d'énergie et d'utilisation d'eau douce.

Si la prise de conscience a récemment progressé sur ce sujet⁵, les utilisateurs du numérique oublient encore bien souvent que les échanges numériques dits « dématérialisés » ne peuvent exister qu'en s'appuyant sur un secteur bien matériel composé de terminaux, de centres informatiques et de réseaux. *« Comme cette pollution ne se voit pas, nous sommes dans le*

¹ Étude de l'Insee L'économie et la société à l'ère du numérique, novembre 2019.

² Source : audition des principaux opérateurs français menée par la mission d'information.

³ Arcep, Observatoire des marchés de communication électronique, juin 2020.

⁴ Rapport The Enablement effect, Carbone Trust, novembre 2019 (commande de la GSM Association).

⁵ 44 % des Français considèrent en 2019 les ordinateurs et Internet comme une menace pour l'environnement (contre 35 % en 2008), selon The Shift Project, Lean ICT : pour une sobriété numérique, 2018.

ressort de l'impensé», indiquait le président de l'Ademe devant la commission le 5 février 2020¹.

La plupart des chiffres disponibles aujourd'hui établissent que le numérique serait à l'origine de **3,7 % des émissions totales de gaz à effet de serre (GES) dans le monde en 2018²** et de **4,2 % de la consommation mondiale d'énergie primaire³**. **44 %** de cette empreinte serait due à la **fabrication** des terminaux, des centres informatiques et des réseaux et **56 %** à leur **utilisation**.

Cet impact environnemental concerne également les **ressources minérales et l'eau**. La croissance du numérique se traduit en effet par l'utilisation d'une **quantité croissante de métaux**, encore aujourd'hui très **peu recyclés⁴**. Leur **extraction et leur raffinage sont fortement émetteurs de gaz à effet de serre** et nécessitent de **grandes quantités d'eau et d'énergie**.

II. UNE ÉVALUATION INÉDITE : L'EMPREINTE CARBONE DU NUMÉRIQUE EN FRANCE

Si ces constats sont bien étayés par des chiffres à l'échelle mondiale, les travaux existants à l'échelle **nationale** sont aujourd'hui parcellaires⁵.

C'est pourquoi la commission a souhaité pouvoir disposer d'une étude comportant des éléments chiffrés sur l'empreinte carbone du numérique en France, ses particularités par rapport aux tendances mondiales et son évolution à l'horizon 2040. Les conclusions qui s'en dégagent doivent permettre de définir les leviers d'action les plus pertinents en France pour concilier transition numérique et transition écologique.

D'après les résultats de cette étude⁶, **le numérique constitue en France une source importante d'émissions de gaz à effet de serre**

1 <http://www.senat.fr/compte-rendu-commissions/20200203/devdur.html>

2 The Shift Project, *Lean ICT : pour une sobriété numérique*, 2018.

3 GreenIT.fr, Frédéric Bordage, *Empreinte environnementale du numérique mondial*, septembre 2019.

4 Le rapport du Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) de 2011 sur le taux de recyclage des métaux (UNEP, *Recycling rates of metals, a status report*, 2011) montre que moins d'un tiers des 60 métaux étudiés ont un taux de recyclage en fin de vie supérieur à 50 % et 34 métaux sont en dessous de 1 % de recyclage.

5 Une étude du GreenIT.fr sur les impacts environnementaux du numérique en France en 2019 a également été rendue publique le 23 juin 2020, soit la veille de l'adoption du présent rapport.

6 Les chiffres présentés ici pour la France sont issus de l'étude relative à l'évaluation des politiques publiques menées pour réduire l'empreinte carbone du numérique (juin 2020), réalisée par le cabinet Citizing, épaulé par Hugues Ferreboeuf et le cabinet KPMG, à la demande de la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable du Sénat au titre de l'accord-cadre multi-attributaires passé par le Sénat à l'automne 2018, au terme d'une procédure d'appel d'offres ouvert pour la réalisation d'études d'évaluation de l'impact ex ante ou ex post de dispositions juridiques ou d'évaluation de politiques publiques pour le compte des commissions, délégations et structures temporaires du Sénat.

(15 millions de tonnes équivalent CO₂), soit 2 % du total des émissions en 2019), qui pourrait s'accroître considérablement dans les années à venir si rien n'était fait pour en réduire l'impact (+ 60 % d'ici 2040, pour atteindre 24 MtCO₂eq).

En 2040, si tous les autres secteurs réalisent des économies de carbone conformément aux engagements de l'Accord de Paris et si aucune politique publique de sobriété numérique n'est déployée, le numérique pourrait atteindre près de 7 % (6,7 %) des émissions de gaz à effet de serre de la France, un niveau bien supérieur à celui actuellement émis par le transport aérien (4,7 %¹). Cette croissance serait notamment portée par l'essor de l'Internet des objets (IoT) et les émissions des *data centers*. Le coût collectif de ces émissions pourrait passer de 1 à 12 milliards d'euros entre 2019 et 2040².

Les résultats de l'étude démontrent par ailleurs que les **terminaux**³ sont à l'origine d'une très grande part des impacts environnementaux du numérique (81 %), plus encore qu'à l'échelle mondiale (selon le GreenIT.fr⁴, les terminaux représentent 63 % des gaz à effet de serre émis par le secteur).

La **fabrication et la distribution** (la « phase amont ») de ces terminaux utilisés en France engendrent 86 % de leurs émissions totales et sont donc responsables de 70 % de l'empreinte carbone totale du numérique en France. Cette proportion – bien supérieure aux 40 % que l'on observe au niveau mondial – s'explique principalement par les opérations consommatrices d'énergie fossile comme l'extraction de matériaux nécessitées par leur fabrication et par le fait que ces terminaux sont largement importés de pays d'Asie du Sud-Est, où l'intensité carbone de l'électricité est bien plus importante qu'en France.

Les implications de ces constats sont majeures. La réduction de l'empreinte carbone du numérique en France devra en effet tout particulièrement passer par une limitation du renouvellement des terminaux, alors que la durée de vie d'un *smartphone* est aujourd'hui de 23 mois.

Il s'agit là d'un **impératif environnemental mais aussi économique** : en passant du tout-jetable – alimenté par des imports qui grèvent la balance commerciale du pays – à un modèle circulaire

¹ Source : Direction générale de l'aviation civile.

² Cette estimation s'appuie sur l'équivalent monétaire du carbone, indicateur permettant d'attribuer une valeur monétaire au carbone produit ou évité. Les résultats de l'étude montrent qu'il aurait été opportun, pour atteindre la neutralité carbone du secteur numérique en 2019, de conduire des politiques dont le coût atteindrait 1 milliard d'euros. En 2040, atteindre la neutralité carbone du secteur numérique coûtera 12 milliards d'euros à la collectivité.

³ Les terminaux retenus ici regroupent les smartphones, les ordinateurs portables, les ordinateurs fixes, les imprimantes, les écrans d'ordinateur, les tablettes, les téléviseurs, les box, les consoles de jeu et de salon, les consoles de jeu portables, les casques de réalité virtuelle, les enceintes connectées, les écrans publicitaires et les modules de connexion IoT.

⁴ GreenIT.fr, Empreinte environnementale du numérique mondial, 2019.

- s'appuyant sur un écosystème industriel capable de proposer des terminaux reconditionnés et d'offrir des solutions de réparation - les politiques publiques peuvent **favoriser la création durable d'emplois non délocalisables, et implantés dans les territoires.**

À cet égard, la réduction de l'empreinte environnementale du numérique en France constitue également un acte de **souveraineté économique**. La relocalisation des activités contribuera à réduire le bilan carbone du numérique français, dont **80 % des émissions sont produites à l'étranger.**

La « **relance verte** », qui devra être compatible avec les engagements de la France dans le cadre de l'Accord de Paris, ne pourra pas faire l'économie de la **définition d'une véritable stratégie de réduction de l'empreinte environnementale du numérique**. C'est la condition *sine qua non* pour réussir une **transition numérique écologique**. Il s'agit également d'une **attente citoyenne forte** : la Convention citoyenne pour le climat, qui a présenté le résultat de ses travaux le 18 juin dernier, a fait de l'accompagnement du numérique vers un modèle plus vertueux¹ une de ses 150 propositions pour accélérer la lutte contre le réchauffement climatique.

III. LA FEUILLE DE ROUTE DE LA MISSION

A. FAIRE PRENDRE CONSCIENCE AUX UTILISATEURS DU NUMÉRIQUE DE SON IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Faire prendre conscience aux utilisateurs du numérique de l'impact environnemental du numérique - encore trop peu documenté et méconnu - constitue un préalable indispensable pour les inciter à le réduire.

La connaissance du public sur ce sujet doit être développée, en lançant une **grande campagne de sensibilisation** incitant les utilisateurs à adopter les gestes numériques éco-responsables, en développant une **application** leur permettant de calculer leur empreinte carbone individuelle, en mettant à disposition de tous, en particulier des professionnels, une **base de données facilitant la réalisation d'études d'impact** des projets numériques, en **formant les nouvelles générations à un numérique sobre** et enfin, en créant un **observatoire de recherche** des impacts environnementaux du numérique placé auprès de l'Ademe.

Les acteurs publics et privés doivent également **intégrer l'enjeu environnemental dans leur stratégie numérique** : à cette fin, la mission propose d'inscrire l'impact environnemental du numérique dans le **bilan**

¹ Proposition n° 150 de la Convention citoyenne pour le climat : Accompagner l'évolution du numérique pour réduire ses impacts.

RSE des entreprises, de créer un **crédit d'impôt pour les PME et TPE** pour la réalisation de mesures d'impact environnemental des services numériques et de construire un cadre méthodologique d'**évaluation environnementale des projets smart**, mis à disposition des collectivités territoriales, avec un soutien financier de l'Agence nationale de la cohésion des territoires (ANCT).

B. LIMITER LE RENOUELEMENT DES TERMINAUX DONT LA FABRICATION ET LA DISTRIBUTION REPRÉSENTENT 70 % DE L'EMPREINTE CARBONE DU NUMÉRIQUE EN FRANCE

Pour réduire l'empreinte environnementale liée au renouvellement des terminaux, la mission d'information recommande de **taxer les externalités négatives** liées à la fabrication des terminaux par **l'introduction d'une taxe carbone aux frontières européennes**, de renforcer les **sanctions** existantes pour **obsolescence programmée**, de renforcer la lutte contre **l'obsolescence logicielle** et surtout de **favoriser le réemploi et la réparation des terminaux**, *via* la mise en place d'un **taux de TVA réduit** sur ces activités, l'inscription d'objectifs ambitieux dans les cahiers des charges des éco-organismes de la filière DEEE ou encore l'activation du levier de la commande publique pour contribuer à renforcer les marchés de réemploi et de réparation.

La mission appelle également à **conditionner** les aides à la numérisation des entreprises dans le cadre du **plan de relance** à l'intégration d'une ambition environnementale, privilégiant par exemple l'acquisition de terminaux reconditionnés à l'achat d'équipements neufs.

C. FAIRE ÉMERGER ET DÉVELOPPER DES USAGES DU NUMÉRIQUE ÉCOLOGIQUEMENT VERTUEUX

Par ailleurs, la mission d'information juge nécessaire de **faire émerger et de développer des usages du numérique écologiquement vertueux**, afin de **contrer les effets rebonds** mis en évidence par les résultats de l'étude commandée. Depuis plusieurs années, les gains d'efficacité énergétique des réseaux et des *data centers* sont en effet **annulés** par l'accroissement continu des usages.

Pour ce faire, la mission appelle à définir les données comme une **ressource nécessitant une gestion durable**, à **améliorer l'écoconception** des sites et services numériques, qui pourrait être rendue obligatoire à moyen terme pour les administrations et les grandes entreprises, ou encore à **réguler l'offre des forfaits téléphoniques**, par exemple par l'interdiction à titre préventif des forfaits mobiles avec un accès aux données illimitées. Cette dernière mesure ne concernerait évidemment pas les forfaits Internet fixe. L'enjeu est d'inciter les usagers à privilégier une connexion en Wifi,

beaucoup moins énergivore qu'une connexion mobile. Cette mesure serait de surcroît **préventive** à ce stade : très peu d'opérateurs proposent aujourd'hui ce type d'offre avec données illimitées.

En outre, un **encadrement des usages vidéo** semble particulièrement nécessaire. Le *streaming* vidéo représente en effet 60 % du trafic Internet mondial et provoque un **important phénomène de « fuites carbone »** : 53 % des émissions de gaz à effet de serre dues à l'utilisation de *data centers*, ont ainsi été produites à l'étranger, notamment pour le visionnage de vidéos. Pour mieux réguler ces usages, la mission estime nécessaire de contraindre les grands fournisseurs de contenus à **adapter la qualité de la vidéo téléchargée** à la résolution maximale du terminal ou encore d'introduire d'une **taxe prélevée sur les plus gros émetteurs de données** afin d'inciter à une injection plus raisonnable de données sur le réseau.

La mission propose également de **bâtir une « régulation de l'attention »**, notamment en **interdisant** certaines pratiques comme le **lancement automatique des vidéos et le scroll infini**.

D. ALLER VERS DES DATA CENTERS ET DES RÉSEAUX MOINS ÉNERGIVORES

Enfin, la mission d'information appelle à **améliorer la performance énergétique et la sobriété des *data centers* (centres informatiques) et des réseaux**.

Si les **centres informatiques** ne sont aujourd'hui responsables que de **14 % de l'empreinte carbone du numérique en France**, leurs émissions pourraient **croître de 86 % d'ici 2040**, en raison de l'accroissement continu des usages, du dynamisme du *edge computing*¹ stimulé par le développement de l'IoT, et du ralentissement des gains d'efficacité énergétique.

Pour atténuer la hausse prévisible des émissions des *data centers*, la mission d'information recommande de **favoriser l'installation de *data centers* en France** – qui dispose d'un mix énergétique peu carboné – en renforçant l'avantage fiscal existant et en le conditionnant à des critères de performance environnementale et de faire des *data centers* des **leviers de flexibilité énergétique** permettant de stocker l'électricité des installations d'énergies renouvelables intermittentes.

Pour **améliorer plus encore la sobriété des réseaux**, la mission rappelle enfin la nécessaire d'atteindre les **objectifs du plan France très haut**

¹ Aujourd'hui peu développés, ces centres informatiques se caractérisent par leur petite taille et leur plus forte proximité des utilisateurs, pouvant par exemple être installés sur des sites industriels. Avec l'accélération de l'Internet des objets et de l'Internet industriel des objets (IoT et IIoT) facilitée par le développement de la 5G, le edge computing devrait se déployer plus massivement dans les années à venir.

débit pour améliorer la connectivité fibre, réseau le moins énergivore. Elle propose par ailleurs d'engager une généralisation des technologies de **mise en veille des box Internet** et une **mutualisation** de ces équipements dans les habitats collectifs, et d'engager une réflexion sur l'extinction des anciennes générations mobiles toujours consommatrices d'électricité.

Enfin, alors que les enchères permettant de lancer le déploiement de la 5G devraient avoir lieu en septembre, la mission d'information **regrette qu'aucune évaluation de l'impact environnemental** de cette nouvelle technologie mobile n'ait encore été mise à disposition du public et des parlementaires. À l'instar du président de l'Ademe, qui avait déclaré, lors de son audition devant la commission le 5 février 2020, réclamer « *une étude d'impact environnemental sérieuse sur le déploiement de la 5G* »¹, **la mission demande donc que la 5G fasse enfin l'objet d'une étude d'impact complète, intégrant les effets de la technologie sur les consommations énergétiques des opérateurs, mais aussi les effets induits sur la fabrication et sur le renouvellement des terminaux, ainsi que les impacts sur les consommations des data centers. Par un courrier daté du 10 mars 2020, le Président du Sénat a demandé au Haut Conseil pour le climat de procéder à cette évaluation**, sur le fondement de l'article L.132-5 du code de l'environnement².

¹ <http://www.senat.fr/compte-rendu-commissions/20200203/devdur.html>

² L'article L.132-5 du code de l'environnement permet au Gouvernement, au Président de l'Assemblée nationale, au Président du Sénat ou au président du Conseil économique, social et environnemental de saisir le Haut Conseil pour le climat pour avis « au regard de sa compétence, sur un projet de loi, une proposition de loi ou une question relative à son domaine d'expertise ». Cette saisine s'inscrit dans l'objectif d'évaluation des politiques publiques au regard des enjeux liés au réchauffement climatique et au respect des objectifs de l'accord de Paris.

La feuille de route de la mission

Axe 1 : Faire prendre conscience aux utilisateurs du numérique de son impact environnemental

En améliorant la connaissance sur un sujet encore trop peu documenté et trop méconnu du grand public :

1. Lancer une grande campagne de sensibilisation incitant les utilisateurs à adopter les gestes numériques éco-responsables (ex. privilégier le téléchargement en Wifi au *streaming* de vidéos *via* le réseau mobile) ;

2. Mieux informer les utilisateurs de l’empreinte carbone de leurs terminaux et usages numériques par la mise en place d’une application mobile ;

3. Mettre à disposition du public une base de données permettant de calculer simplement les impacts environnementaux du numérique ;

4. Former les nouvelles générations à un numérique sobre (en faisant de la sobriété numérique un des thèmes de l’éducation à l’environnement à l’école, en créant au sein des écoles d’ingénieurs et d’informatique des modules relatifs à l’évaluation de l’impact environnemental du numérique et à l’écoconception des services numériques) ;

5. Créer un observatoire de recherche des impacts environnementaux du numérique (afin notamment de mener des recherches sur les impacts des technologies émergentes).

En demandant aux acteurs publics et privés d’intégrer l’enjeu environnemental dans leur stratégie numérique :

6. Inscrire l’impact environnemental du numérique dans le bilan RSE des entreprises et créer un crédit d’impôt pour les PME et TPE pour la réalisation de mesures d’impact environnemental des services numériques ;

7. Mettre à disposition des collectivités territoriales un cadre méthodologique d’évaluation environnementale des projets *smart*.

Axe 2 : Limiter le renouvellement des terminaux, dont la fabrication et la distribution représentent 70 % de l’empreinte carbone du numérique en France

En taxant les externalités négatives liées à leur fabrication :

8. Introduire une taxe carbone aux frontières européennes pour internaliser le coût environnemental des terminaux importés.

En luttant contre l’obsolescence programmée et l’obsolescence logicielle :

9. Renforcer les sanctions pour obsolescence programmée (par exemple *via* un recours plus systématique au *name and shame*) ;

10. Renforcer la lutte contre l’obsolescence logicielle (par exemple *via* une dissociation des mises à jour correctives et des mises à jour évolutives, accessoires et pouvant accélérer l’obsolescence du terminal).

En favorisant le réemploi et la réparation :

11. Renforcer l'ambition en matière de réparation et de réemploi par un taux de TVA réduit sur la réparation de terminaux et l'acquisition d'objets électroniques reconditionnés et l'inscription d'objectifs ambitieux dans le cahier des charges des éco-organismes ;

12. Activer le levier de la commande publique pour contribuer à renforcer les marchés de réemploi et de réparation (par exemple en ajoutant une clause de réemploi ou un lot réemploi dans les appels d'offres d'achats d'équipements) ;

13. Conditionner les aides à la numérisation des entreprises dans le cadre du plan de relance à l'intégration d'une ambition environnementale, privilégiant par exemple l'acquisition de terminaux reconditionnés à l'achat d'équipements neufs.

Axe 3 : Faire émerger et développer des usages du numérique écologiquement vertueux

En définissant les données comme une ressource nécessitant une gestion durable :

14. Prévoir une consécration législative de la donnée comme une ressource nécessitant une gestion durable.

En régulant l'offre des forfaits téléphoniques :

15. Interdire à titre préventif les forfaits mobiles avec un accès aux données illimitées et rendre obligatoire une tarification proportionnelle au volume de données du forfait.

En limitant l'impact des usages vidéo :

16. Encadrer le streaming vidéo, qui représente 60 % du trafic Internet mondial (par une obligation d'adapter la qualité de la vidéo téléchargée à la résolution maximale du terminal ou encore par l'introduction d'une taxe prélevée sur les plus gros émetteurs de données, afin d'inciter à une injection plus raisonnable de données sur le réseau).

En améliorant l'écoconception des sites et services numériques :

17. Accompagner, à court terme, les administrations dans l'écoconception des sites et services numériques (par exemple, en lançant un appel à manifestation d'intérêt pour identifier les solutions les plus exemplaires en matière d'écoconception des services numériques) ;

18. Rendre obligatoire, à moyen terme, l'écoconception des sites publics et des plus grands sites privés.

En permettant une « régulation de l'attention » :

19. Prévoir une obligation de *reporting* des fournisseurs de contenus sur les stratégies cognitives utilisées pour accroître les usages ;

20. Interdire certaines pratiques comme le lancement automatique des vidéos et le *scroll* infini.

Axe 4 : Aller vers des *data centers* et des réseaux moins énergivores

En améliorant la performance énergétique des *data centers*, responsables de 14 % de l’empreinte carbone du numérique en France :

21. Inciter à l’installation de *data centers* en France et conditionner l’avantage fiscal existant à des critères de performance environnementale ;

22. Renforcer la complémentarité entre *data centers* et énergies renouvelables (ex. faire des *data centers* des leviers de flexibilité énergétique permettant de stocker l’électricité des installations d’énergies renouvelables intermittentes).

En améliorant plus encore la sobriété des réseaux, responsables de 5 % de l’empreinte carbone du numérique en France :

23. Atteindre les objectifs du plan France très haut débit pour améliorer la connectivité fibre, réseau le moins énergivore ;

24. Engager une réflexion pour réduire la consommation électrique des box ;

25. Évaluer l’empreinte environnementale de la 5G.

LES TRAVAUX DE LA MISSION

La commission de l'aménagement du territoire et du développement durable a créé, le **14 décembre 2019**, une **mission d'information** présidée par Patrick Chaize et dont les rapporteurs sont Guillaume Chevrollier et Jean-Michel Houllégatte¹, ayant pour objectif **de mesurer l'empreinte environnementale du numérique en France, d'évaluer l'évolution de cet impact dans les prochaines années** et de formuler **des pistes d'action pour les politiques publiques concernées**, afin d'engager notre pays dans une transition numérique écologique, compatible avec les objectifs de l'accord de Paris de lutte contre le réchauffement climatique.

La mission a souhaité que ses travaux puissent concerner **tant les impacts directs qu'indirects du numérique**, en appréciant l'impact environnemental direct sur l'ensemble du cycle de vie des produits (fabrication, utilisation et fin de vie), et en s'intéressant plus largement, au titre de l'impact indirect, à l'influence du numérique sur nos comportements, certains exemples sectoriels comme celui des transports mettant en évidence le caractère ambivalent du numérique sur les usages, favorisant des pratiques aussi bien vertueuses (développement du télétravail qui permet de réduire les trajets domicile-travail) que dommageables pour l'environnement (accroissement de la demande en biens importés...).

Elle a procédé à des auditions et recueilli des contributions de chercheurs, de *think-tanks*, d'acteurs institutionnels, d'opérateurs, d'associations, d'entreprises ou encore d'écoles et de formations d'ingénieurs en télécommunications et de concepteurs de jeux vidéo.

Constatant le manque de données relatives à l'empreinte carbone du numérique en France, la commission a demandé la **réalisation d'une étude d'évaluation des politiques publiques menées pour réduire l'empreinte carbone du numérique**, au titre de l'accord-cadre multi-attributaires passé par le Sénat à l'automne 2018. Cette étude, annexée au présent rapport, lui a été remise en juin 2020. Elle dresse notamment un **état des lieux inédit de l'empreinte carbone du numérique français en 2019** et procède à une **évaluation prospective de son évolution aux horizons 2025 et 2040**.

¹ La mission est composée de Mme Éliane Assassi, MM. Joël Bigot, Jean-Marc Boyer, Patrick Chaize (président), Guillaume Chevrollier (rapporteur), Mme Marta de Cidrac, M. Ronan Dantec, Mme Martine Filleul, MM. Alain Fouché, Jean-Michel Houllégatte (rapporteur), Jean-François Longeot, Frédéric Marchand, Mmes Françoise Ramond et Nadia Sollogoub.

Une **étude du GreenIT.fr** sur les impacts environnementaux du numérique en France en 2019 a également été rendue publique le 23 juin 2020, soit la veille de l'adoption du présent rapport.

Alors que certains acteurs institutionnels comme l'Agence de la transition écologique (Ademe), l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes (Arcep)¹ ou le Conseil national du numérique² ont engagé des travaux sur ce sujet, la mission a souhaité mettre à la disposition de tous un état des lieux solide et une **feuille de route comportant 25 premières propositions pour une transition numérique écologique**.

La **transposition des directives** (UE) 2019/770³ et 2019/771⁴ du Parlement européen et du Conseil du 20 mai 2019 ou encore celle du code européen des télécommunications⁵ constitueront une opportunité d'inscrire dans notre droit certaines des ambitions de la présente feuille de route. **La mission entend également la transmettre au Gouvernement**, notamment en vue des futures négociations relatives au Pacte vert pour l'Europe. **Les propositions de niveau législatif présentées dans ce document feront l'objet du dépôt d'une proposition de loi**. La commission attend enfin la contribution du Haut Conseil pour le climat, saisi le 10 mars 2020 par le Président du Sénat, sur la proposition de la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable, sur l'évaluation de l'impact carbone du déploiement de la 5G en France.

Les travaux de la mission, dont certains déplacements et auditions ont été reportés en raison de la crise sanitaire, s'inscrivent dans ce cadre institutionnel global et se poursuivront donc au-delà de la présente publication.

¹ L'Ademe et l'Arcep travaillent à la définition d'une méthodologie permettant d'évaluer l'empreinte environnementale spécifique à certains terminaux et usages. En outre, l'Arcep a lancé le 11 juin 2020 une plateforme de travail : « pour un numérique soutenable », sous la forme d'un appel à contribution aux associations, institutions, opérateurs, entreprises du numérique et personnalités intéressées, qui devra donner lieu à un rapport écrit à la fin de l'année.

² Le Conseil national du numérique, auditionné par la mission, a été saisi par la ministre de la transition écologique et solidaire et par le secrétaire d'État chargé du numérique le 11 février 2020 afin de rédiger une feuille de route sur le numérique et l'environnement. Cette feuille de route, qui devait être remise en mai 2020, devrait être prochainement publiée.

³ Directive (UE) 2019/770 du Parlement européen et du Conseil du 20 mai 2019 relative à certains aspects concernant les contrats de fourniture de contenus numériques et de services numériques.

⁴ Directive (UE) 2019/771 du Parlement européen et du Conseil du 20 mai 2019 relative à certains aspects concernant les contrats de vente de biens, modifiant le règlement (UE) 2017/2394 et la directive 2009/22/CE et abrogeant la directive 1999/44/CE.

⁵ Directive (UE) 2018/1972 du Parlement Européen et du Conseil du 11 décembre 2018 établissant le code des communications électroniques européen.

LES PROPOSITIONS DE LA MISSION

La mission d'information a adopté une feuille de route de 25 propositions pour une transition numérique écologique

I. FAIRE PRENDRE CONSCIENCE AUX UTILISATEURS DU NUMÉRIQUE DE SON IMPACT ENVIRONNEMENTAL

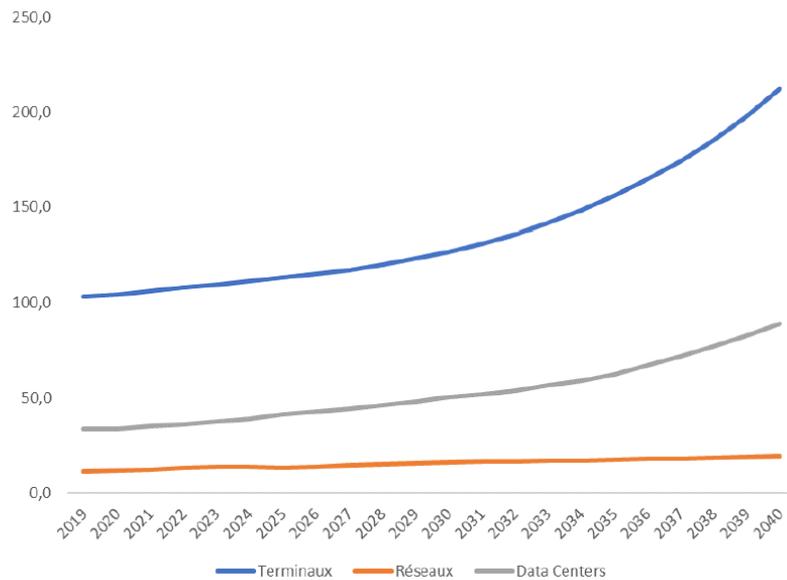
A. EN AMÉLIORANT LA CONNAISSANCE SUR UN SUJET ENCORE TROP PEU DOCUMENTÉ ET TROP MÉCONNU DU GRAND PUBLIC

1. Lancer une grande campagne de sensibilisation incitant les utilisateurs à adopter les gestes numériques éco-responsables

Les utilisateurs du numérique oublient bien souvent que les échanges numériques dits « dématérialisés » ne peuvent exister qu'en s'appuyant sur un secteur bien matériel composé de terminaux, de centres informatiques et de réseaux.

Cette partie immergée de l'iceberg digital est pourtant importante : selon l'étude commandée par la mission d'information, **le numérique constitue une source importante d'émissions de gaz à effet de serre de notre pays (2 % en 2019), qui pourrait s'accroître considérablement dans les années à venir si rien n'était fait pour en réduire l'impact (+ 60 % d'ici 2040). En 2040, le numérique pourrait ainsi atteindre près de 7 % (6,7 %) des émissions de gaz à effet de serre de la France, un niveau bien supérieur à celui actuellement occupé par le transport aérien (4,7 %)¹.**

¹ Source : Direction générale de l'aviation civile.



Émissions de GES du numérique en scénario central, en tCO2eq, par type de sous-ensemble : à politiques publiques constantes, les émissions de gaz à effet de serre du numérique devraient croître de 60 % d’ici 2040. Cette hausse serait portée principalement par les terminaux, et dans une moindre mesure, par les centres informatiques

Assurer une meilleure information des consommateurs, des entreprises et des administrations sur l’impact environnemental de leurs usages et de leurs achats, en tenant compte tout particulièrement des émissions associées à la fabrication des terminaux, constitue donc une priorité absolue.

C’est pourquoi une **grande campagne de sensibilisation** incitant les utilisateurs à adopter les gestes numériques écoresponsables devrait être rapidement lancée, afin en particulier :

- de mettre **l’accent sur l’impact environnemental de la fabrication des terminaux** (70 % de l’empreinte carbone du numérique en France), en invitant les consommateurs à privilégier la réparation et l’achat de biens reconditionnés, plutôt que l’achat d’équipements neufs ;
- d’informer les consommateurs de l’existence, dès le 1^{er} janvier 2021, d’un fonds de réparation prévu par la **loi du 10 février 2020¹ relative à la lutte contre le gaspillage et à l’économie circulaire (dite « loi AGEC »)**, qui leur permettra de bénéficier d’une prise en charge partielle des coûts d’une réparation auprès d’un professionnel labellisé ;
- **d’informer les utilisateurs de quelques pratiques simples mais trop souvent méconnues permettant de limiter la consommation énergétique des réseaux** : privilégier par exemple le téléchargement

¹ Loi n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l’économie circulaire.

en **Wifi** plutôt que le *streaming* de vidéos *via* le **réseau mobile**, qui, bien que beaucoup plus énergivore, est souvent préféré par les utilisateurs même lorsqu'ils sont à domicile. Pourtant, de nombreuses plateformes permettent aujourd'hui de télécharger sur le terminal un contenu vidéo – film, série... – avant visionnage.

Proposition n° 1 : Lancer une grande campagne de sensibilisation incitant les utilisateurs à adopter les gestes numériques éco-responsables (ex. privilégier le téléchargement en Wifi au *streaming* de vidéos *via* le réseau mobile)

2. Mieux informer les utilisateurs de l'empreinte carbone de leurs terminaux et usages numériques

Au-delà de cette campagne grand public, une information plus détaillée de l'empreinte environnementale des terminaux et des usages numériques doit être mise à disposition des consommateurs, entreprises et administrations. Ainsi informés, les acteurs pourront comparer, en connaissance de cause, leurs émissions directes et les émissions évitées grâce au numérique dans de très nombreux secteurs. Une telle démarche permettrait **l'émergence d'une véritable « régulation par la donnée » et par la connaissance.**

Ce constat, partagé par tous les acteurs auditionnés par la mission d'information, plaide pour la mobilisation et la consolidation par les pouvoirs publics, et en particulier l'État, des connaissances sur le sujet, encore trop éparpillées à ce stade. La mission d'information a contribué à ce travail, grâce à l'étude annexée au présent rapport, qui offre **pour la première fois un panorama exhaustif de l'impact carbone du numérique à l'échelle nationale et de ses perspectives d'évolution à moyen et long terme.**

Comme l'indiquent les contributions adressées à la mission d'information, des travaux ont également été engagés par l'Ademe et l'Arcep pour établir une **méthodologie visant à évaluer plus finement l'empreinte environnementale spécifique à certains terminaux et usages.** La mission d'information ne peut que se réjouir de cette initiative. Elle juge indispensable que soient intégrée, dans le champ de ces travaux, la phase de fabrication, particulièrement cruciale dans l'analyse de l'empreinte environnementale du numérique.

Une fois consolidées, ces données pourraient tout d'abord être utilisées pour mieux informer les particuliers de leur empreinte numérique.

D'une part, **une application** devrait être déployée pour permettre à tout utilisateur de **calculer l'empreinte carbone individuelle des terminaux** (*smartphones*, consoles de jeux, enceintes connectées...) et des **principaux**

usages numériques (transfert dans le *Cloud* d'un gigaoctet de photos, envoi d'un courriel, visionnage d'une vidéo sur Youtube...).

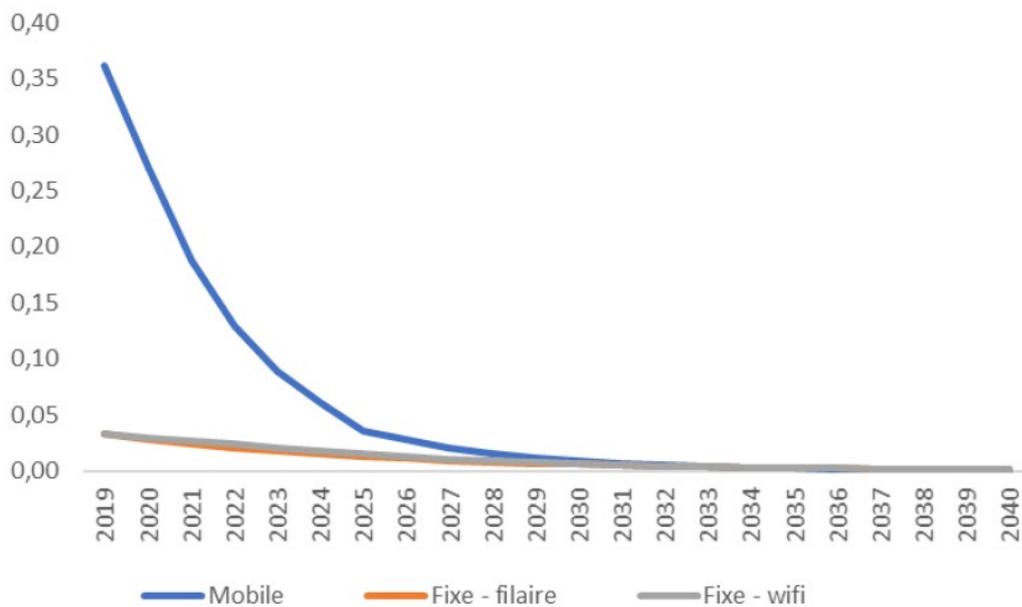
D'autre part, une information plus spécifique pourrait être fournie aux utilisateurs de *smartphones* concernant **l'impact de leurs consommations de données mobiles**, sur le fondement de l'article 13 de la loi AGEC, qui impose aux opérateurs d'informer dès 2022 les abonnés de la quantité de données mobiles consommées dans le cadre de la fourniture d'accès au réseau et d'indiquer l'équivalent des émissions de gaz à effet de serre correspondant.

Une **meilleure information des utilisateurs sur l'impact de leur connexion Internet via les réseaux mobiles**, aujourd'hui plus énergivores que les réseaux fixes, est particulièrement indispensable, tant la sensibilisation des consommateurs est aujourd'hui limitée sur ce sujet. Au-delà des considérations d'efficacité énergétique des réseaux, il convient également de noter que les réseaux mobiles sont intrinsèquement plus fragiles que les réseaux fixes¹.

Selon l'étude sur l'empreinte carbone du numérique en France, jointe à ce rapport, si « *les réseaux mobiles devenaient énergétiquement plus efficaces que les réseaux fixes à horizon 2034* », l'écart d'efficacité énergétique entre le mobile et le fixe, particulièrement la fibre optique, demeure aujourd'hui considérable. Selon une note de l'Arcep², en moyenne sur une année, « *un utilisateur de réseau 4G consommerait ainsi de l'ordre de 50 kWh d'électricité, contre 5 kWh pour une ligne fibre optique* ».

¹ Comme l'expliquait Sébastien Soriano, président de l'Arcep, lors de son audition par la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable : « aujourd'hui, la fragilité se trouve au niveau de la boucle locale, dans le dernier kilomètre : les réseaux fixes sont solides parce qu'ils sont spécifiques à chaque individu, alors que les réseaux mobiles sont partagés ».

² Arcep, Réseaux du futur, L'empreinte carbone du numérique, 2019.



Effacité énergétique (exprimée en térawatt-heure par exaoctet ou exabyte (TWh/EB)) des réseaux mobiles et des réseaux fixes : malgré une forte amélioration de l'efficacité énergétique des réseaux mobiles, la connexion mobile demeure encore aujourd'hui beaucoup plus énergivore

Dans les réponses aux questionnaires adressés pendant la période de confinement, plusieurs acteurs – opérateurs télécoms compris – ont ainsi noté que **les réseaux mobiles avaient été trop largement sollicités via les smartphones malgré la disponibilité des réseaux fixes**. Dans certains cas, cela s'explique principalement par l'insuffisant déploiement des réseaux en très haut débit fixe, principalement en fibre optique (FttH). Dans d'autres cas, en revanche, cela relève bien souvent de pratiques non-optimales, le consommateur utilisant de manière indifférenciée les réseaux fixes ou mobiles.

Afin d'améliorer l'efficacité énergétique des réseaux et de renforcer leur résilience face aux prochains épisodes de pics de consommation, il est donc crucial de **décorrélér l'usage des smartphones** – de plus en plus privilégiés pour se connecter à Internet¹ – **et l'usage des réseaux mobiles**, par une meilleure information des consommateurs de l'impact de leur connexion mobile. Sur le fondement de l'article 13 de la loi AGEC, et des données issues des travaux de l'Ademe et de l'Arcep, les opérateurs pourraient ainsi informer les consommateurs de l'impact de leur consommation mobile directement sur leur facture en format papier ou électronique.

¹ En 2019, plus de la moitié de la population (51 %) se connectait de manière préférentielle à Internet avec un smartphone, contre seulement 31 % pour l'ordinateur. En 2017, la connexion par le smartphone n'était pas beaucoup plus privilégiée que la connexion par l'ordinateur (42 contre 38 %) (Arcep, Baromètre Numérique 2019 – Enquête sur la diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française en 2019, novembre 2019).

Cette information pourrait s'accompagner d'un **message de prévention** directement affiché sur les *smartphones*, lorsque l'utilisateur désactive sa Wifi pour privilégier une connexion mobile.

Proposition n° 2 : Développer une application permettant aux utilisateurs de calculer l'empreinte carbone individuelle de leurs terminaux et usages numériques et les informer de l'impact de leur connexion mobile, pour les inciter à privilégier une connexion en Wifi, moins énergivore.

3. Mettre à disposition du public une base de données permettant de calculer les impacts environnementaux du numérique

Les informations issues des travaux de l'Ademe et de l'Arcep pourraient également être mises à disposition sous la forme d'une **base de données publique**.

Cette base serait tout particulièrement utile aux entreprises et administrations pour calculer l'empreinte carbone de leurs parcs numériques et de certains usages professionnels. La généralisation de cette **évaluation environnementale** au moment du lancement des projets de numérisation permettrait ainsi de favoriser les choix correspondant à une transition numérique durable (l'outil pourrait par exemple aider une entreprise à arbitrer entre deux options, le stockage de données dans un *data center* en colocation ou le stockage de données dans un *data center* d'entreprise).

Proposition n° 3 : Mettre à disposition du public une base de données permettant en particulier aux professionnels de calculer simplement les impacts environnementaux de leurs terminaux et de leurs principaux usages numériques.

4. Former les nouvelles générations à un numérique sobre

Les jeunes générations, qui manifestent de plus en plus leurs préoccupations environnementales, sont en même temps les plus connectées et les plus utilisatrices des possibilités offertes par le numérique. Un important effort éducatif doit être mené pour mieux décloisonner leurs préoccupations environnementales et leurs usages numériques. C'est pourquoi des modules de cours devraient être prévus dès le plus jeune âge pour sensibiliser les futurs citoyens et consommateurs à l'empreinte environnementale du digital et apprendre les bonnes pratiques contribuant à la réduire. **La sobriété numérique pourrait ainsi devenir un des thèmes de l'éducation à l'environnement à l'école, au collège et au lycée.**

Il est également urgent que les **professionnels du secteur** – notamment les ingénieurs informatiques et les codeurs – soient plus largement formés à cette problématique. De l’avis de plusieurs structures auditionnées, telles que le GreenIT.fr, l’Arcep ou encore la Fondation Internet nouvelle génération (FING), l’écosystème numérique est encore trop peu ouvert aux problématiques environnementales. Les enjeux de notre siècle imposent pourtant de décloisonner numérique et environnement.

Ce décloisonnement doit d’abord s’opérer au sein des **écoles d’ingénieurs informatiques et d’informaticiens**, afin que leurs étudiants contribuent à diffuser les bonnes pratiques au sein des structures qu’ils intégreront. Selon la FING, « *la pression exercée par les jeunes diplômés sur les entreprises pourrait être plus grande que celle qui peut être exercée par les consommateurs. Aujourd’hui, un nombre croissant de jeunes ingénieurs informatiques ou d’informaticiens refusent d’intégrer des entreprises dont les pratiques digitales ne seraient pas vertueuses en matière environnementale* ».

Pourtant, comme l’attestent les réponses à un questionnaire envoyé par la mission d’information à des écoles et des universités, la formation des ingénieurs et informaticiens n’intègre aujourd’hui que trop peu ces thématiques, malgré un intérêt croissant des étudiants, de plus en plus sensibilisés à la question de l’impact environnemental du numérique.

Il est donc indispensable d’outiller dès à présent ces étudiants, pour en faire les chevilles ouvrières de la culture de l’évaluation que la mission d’information souhaite voir émerger. Les maquettes pédagogiques des écoles doivent s’adapter rapidement à cette nouvelle donne, en intégrant des formations aux méthodes d’évaluation des impacts positifs comme négatifs des projets de numérisation.

Les maquettes pédagogiques doivent également réserver une place importante à l’**écoconception des services numériques, amenée à se généraliser dans les années à venir** (voir *infra*). Une attestation de compétences acquises en écoconception logicielle au sein de la diplomation des ingénieurs en informatique pourrait être généralisée, selon certaines contributions adressées par les directeurs d’écoles à la mission d’information.

Proposition n° 4 : Former les nouvelles générations à un numérique sobre en :

- **faisant de la sobriété numérique un des thèmes de l’éducation à l’environnement à l’école ;**
- **créant au sein des écoles d’ingénieurs et d’informatique des modules relatifs à l’évaluation de l’impact environnemental du numérique et à l’écoconception des services numériques ;**
- **conditionnant la diplomation des ingénieurs en informatique à l’obtention d’une attestation de compétences acquises en écoconception logicielle.**

5. Créer un observatoire de recherche des impacts environnementaux du numérique

Enfin, les données produites par l'Ademe et l'Arcep devront être **régulièrement mises à jour**. Elles devront tout particulièrement tenir compte de l'apparition de nouvelles technologies numériques. Cette exigence doit permettre de disposer le plus rapidement possible d'éléments chiffrés permettant de rationaliser le débat quant à l'impact environnemental de certaines innovations qui ne manqueront pas d'émerger dans les années à venir. Pour faire évoluer l'état des connaissances sur l'impact des technologies émergentes, il pourrait être créé, auprès de l'Ademe, un « Observatoire de recherche des impacts environnementaux du numérique ». Cet observatoire rassemblerait des chercheurs et des personnes qualifiées, qui pourraient apporter ponctuellement leur expertise à l'Ademe.

L'observatoire pourrait également mener des travaux ponctuels et thématiques d'évaluation sur des usages numériques spécifiques, en intégrant dans les modélisations les éventuelles émissions évitées grâce au déploiement de ces technologies. Il pourrait en outre contribuer à identifier les effets rebonds souvent induits par le déploiement de solutions numériques.

L'effet rebond : un phénomène paradoxal expliquant pour partie l'accroissement de l'empreinte environnementale du numérique

L'effet rebond est le phénomène paradoxal par lequel les économies d'énergie prévues par l'utilisation d'une nouvelle technologie sont partiellement ou complètement compensées à la suite d'une adaptation du comportement de la société. Ce paradoxe est principalement due à la demande induite par l'amélioration de l'efficacité énergétique : *« plus l'énergie est consommée, plus elle est demandée. Autrement dit, plus il y a de nouvelles technologies rendant efficace la consommation d'une ressource, plus la demande pour cette ressource augmente »*¹.

Cet effet est particulièrement fort dans le secteur numérique, comme l'illustre à plusieurs endroits l'étude commandée par la mission d'information sur l'empreinte carbone du numérique en France. À titre d'exemple, les gains d'efficacité énergétique très importants des centres informatiques (jusqu'à + 20 % par an pour les *hyper data centers*) ne devraient pas suffire à compenser l'accroissement exponentiel des usages (*« dans le scénario central, la demande de stockage et de calcul auprès de centres informatiques "classiques" devrait croître d'environ 21 % par an sur l'ensemble de la période, et celle auprès d'hyper data centers de 35 % par an »*) : en conséquence, *« leur consommation électrique devrait être multipliée par trois en vingt ans et passer de 10 à plus de 30 TWh »*.

¹ Selon la définition proposée par La Fabrique Écologique (« Transition Énergétique : Le rôle incontournable de l'effet rebond », Novembre 2019).

À titre d'exemple, l'observatoire pourrait évaluer le bilan environnemental global du télétravail, en se fondant sur l'expérience grandeur nature qu'a constituée le confinement. Les travaux pourraient ainsi confirmer ou infirmer les éléments transmis à la mission d'information par Françoise Berthoud, chercheuse au CNRS, selon qui le bénéfice environnemental global du télétravail pourrait être extrêmement faible, si on intègre l'impact environnemental du numérique : « Si le télétravail était adopté de façon plus généralisée, il est probable que l'on observerait un désengorgement des axes routiers et par voie de conséquence une diminution de certaines pollutions liées aux véhicules à moteur. Néanmoins, rien ne nous permet d'affirmer que l'impact généré par les matériels et infrastructures nécessaires à la mise en place du télétravail soient compensés par cette seule diminution des émissions liées aux moyens de transport des travailleurs ». Selon Mme Berthoud, il faudrait également mieux évaluer les effets négatifs induits par le télétravail (comme le renforcement de l'étalement urbain, la hausse des consommations énergétiques des bâtiments résidentiels) et les éventuels effets rebonds associés (le désengorgement des axes routiers pourrait paradoxalement inciter à un usage plus important de la voiture).

Proposition n° 5 : Créer un « Observatoire de recherche des impacts environnementaux du numérique » placé auprès de l'Ademe pour étudier l'impact de technologies émergentes et analyser le bilan carbone net de certains usages numériques (ex. télétravail).

B. EN DEMANDANT AUX ACTEURS PRIVÉS ET PUBLICS D'INTÉGRER L'ENJEU ENVIRONNEMENTAL DANS LEUR STRATÉGIE NUMÉRIQUE

1. Incrire l'impact environnemental du numérique dans le bilan RSE des entreprises et créer un crédit d'impôt pour les PME et TPE pour la réalisation de mesures d'impact environnemental

Sur le fondement des données rendues publiques par l'Ademe, les acteurs privés ou publics devraient disposer des premiers outils nécessaires à l'évaluation de leurs projets de numérisation. Reste à **systématiser la « culture de l'évaluation »** et à inciter ces acteurs à se saisir de ces outils.

Cette « culture de l'évaluation » peut tout d'abord s'appuyer sur l'obligation faite par l'article L. 225-102-1 du code de commerce aux sociétés anonymes (SA), aux sociétés en commandite par action (SAC) et aux sociétés européennes (SE), dont le chiffre d'affaires excède 100 millions d'euros ou dont la masse salariale est supérieure à 500 employés, de rédiger un **rapport annuel de Responsabilité Sociétale des Entreprises (RSE)**.

Le rapport RSE doit aujourd'hui exposer les conséquences sociales et environnementales des activités de l'entreprise et les actions menées pour en limiter l'ampleur. En particulier, les entreprises assujetties à cette obligation

doivent faire figurer des informations environnementales relevant de cinq thématiques distinctes : politique générale, pollution et gestion des déchets, utilisation durable des ressources, changement climatique, protection de la biodiversité. **L'impact environnemental du numérique devrait être ajouté à cette liste et constituer la sixième thématique environnementale devant figurer au sein des rapports RSE.**

Pour les entreprises de taille inférieure, une incitation à la réalisation de mesures d'impact semble préférable à l'obligation qui pourrait être imposée aux plus grandes entreprises via leur rapport RSE annuel. À cette fin, la mission d'information préconise de **créer un crédit d'impôt sur l'impôt sur les sociétés (IS) ou sur l'impôt sur le revenu (IR)**. Ce crédit d'impôt permettrait d'évaluer l'impact environnemental des projets de numérisation des entreprises, et faciliterait ainsi la réalisation de choix plus vertueux, privilégiant par exemple l'acquisition de matériel reconditionné à l'achat de matériel neuf.

Ce crédit d'impôt pourrait être **prévu par le plan de relance** qui doit être déployé dans les mois à venir pour soutenir les secteurs économiques touchés par la crise sanitaire et être **adossé à des aides visant à accélérer la numérisation des entreprises.**

Proposition n° 6 : Inscrire l'impact environnemental du numérique dans le bilan RSE des entreprises et créer un crédit d'impôt pour les PME et TPE pour la réalisation de mesures d'impact environnemental des services numériques.

2. Mettre à disposition des collectivités territoriales un cadre méthodologique d'évaluation environnementale des projets *smart*

La « culture de l'évaluation » doit également se diffuser **dans les territoires**, afin que les collectivités territoriales soient pleinement outillées pour engager une transition numérique durable. En particulier, il convient de mieux intégrer les enjeux environnementaux dans l'émergence des *smart cities* (ou villes intelligentes), qui bénéficieront de l'émergence de l'Internet des objets et du déploiement futur de la 5G.

Les *smart cities* doivent permettre d'améliorer la qualité des services urbains (transports, gestion des déchets, réseaux électriques...) par le déploiement de solutions numériques. L'enjeu est également de réduire – par le numérique – les impacts environnementaux de la ville, aux premiers rangs desquels la pollution de l'air et les nuisances sonores.

Néanmoins, selon le *Shift Project*, « la stratégie de la ville du futur, c'est une stratégie qui traite de transition numérique d'une part et de transition environnementale d'autre part. Or ces dynamiques deviennent concurrentes et contraires si l'effort de conception et d'évaluation quantitative n'est pas fait avec

une rigueur et une envergure suffisante (...) Pour construire une ville numérique viable et résiliente, il est donc nécessaire d'évaluer systématiquement la pertinence énergétique et carbone d'une technologie ou d'un service avant leur mise en place »¹.

Selon le *Shift Project*, **deux angles morts** – déjà identifiés par le présent rapport – sont souvent occultés dans le développement des *smart cities* : les porteurs de projets n'évaluent que trop rarement **l'impact environnemental de la fabrication des terminaux déployés et les effets rebonds** qui découlent bien souvent de leur stratégie numérique. À titre d'exemple, le déploiement de l'éclairage connecté² ne s'accompagne souvent que d'une seule évaluation des gains énergétiques permis par le numérique, sans intégrer à la réflexion l'empreinte environnementale des terminaux utilisés et des technologies de type *cloud*. Il en va de même pour les systèmes fluidifiant le trafic routier³, qui induisent d'inévitables effets rebonds, bien décrits par Hugues Ferreboeuf lors de son audition par la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable : « *La mise en place d'un outil de smart mobility permet par exemple de fluidifier le trafic, et donc de diminuer la consommation d'essence des véhicules. Mais gare à "l'effet rebond" ! La circulation étant plus fluide, le trafic augmente, si bien que la circulation redevient difficile et que la consommation d'essence augmente* »⁴.

Pour que les impacts environnementaux des projets *smart* des collectivités puissent être positifs, des évaluations devraient être menées pour tenir compte de l'impact environnemental des terminaux installés et des potentiels effets rebonds. L'Ademe pourrait construire un **cadre méthodologique d'évaluation environnementale des projets smart** qui serait ensuite mis à disposition des collectivités territoriales avec un soutien financier de l'Agence nationale de cohésion des territoires.

<p>Proposition n° 7 : Construire un cadre méthodologique d'évaluation environnementale des projets smart et le mettre à disposition des collectivités territoriales, avec un soutien financier de l'Agence nationale de la cohésion des territoires.</p>

¹ The Shift Project, *Déployer la sobriété numérique*, 2020.

² *Les éclairages intelligents sont définis par le Shift Project comme des « systèmes d'éclairage constitués d'une ou plusieurs ampoules, d'une couche connectée (capteurs et contrôleurs permettant le comportement automatisé et intelligent) et du système de récupération et de traitement des données dans lequel elle s'insère (qui peut rester local ou recourir à des technologies de type cloud) ».*

³ *Des capteurs peuvent par exemple être installés sur les axes routiers d'une ville et identifier les places de parking disponibles. L'information transmise aux conducteurs peut ainsi contribuer à fluidifier le trafic routier en ville.*

⁴ *Table ronde de think-tanks (The Shift Project et GreenIT.fr), le 29 janvier 2020. Vidéo consultable ici.*

En résumé

Faire prendre conscience aux utilisateurs du numérique de l'impact environnemental du numérique - encore trop peu documenté et méconnu - constitue un préalable indispensable pour les inciter à le réduire.

La connaissance du public sur ce sujet doit être développée, en lançant une **grande campagne de sensibilisation** incitant les utilisateurs à adopter les gestes numériques éco-responsables, en développant une **application** leur permettant de calculer leur empreinte carbone individuelle, en mettant à disposition de tous, en particulier des professionnels, une **base de données facilitant la réalisation d'études d'impact** des projets numériques, en **formant les nouvelles générations à un numérique sobre** et enfin, en créant un **observatoire de recherche** des impacts environnementaux du numérique placé auprès de l'Ademe.

Les acteurs publics et privés doivent également **intégrer l'enjeu environnemental dans leur stratégie numérique** : à cette fin, la mission propose d'inscrire l'impact environnemental du numérique dans le **bilan RSE des entreprises**, de créer un **crédit d'impôt pour les PME et TPE** pour la réalisation de mesures d'impact environnemental des services numériques et de construire un cadre méthodologique d'**évaluation environnementale des projets smart**, mis à disposition des collectivités territoriales, avec un soutien financier de l'Agence nationale de la cohésion des territoires (ANCT).

II. LIMITER LE RENOUVELLEMENT DES TERMINAUX, DONT LA FABRICATION ET LA DISTRIBUTION REPRÉSENTENT 70 % DE L'EMPREINTE CARBONE DU NUMÉRIQUE EN FRANCE

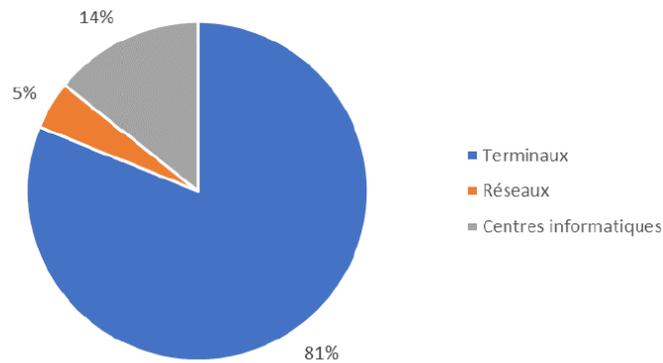
Les **terminaux** sont à l'origine d'une très grande part des impacts environnementaux du numérique. Cela est vrai à l'échelle mondiale : selon le GreenIT.fr¹, ils représentent **63 % des gaz à effet de serre** émis par le secteur, **75 % des ressources consommées**, **83 % des consommations en eau**.

À l'échelle de l'empreinte carbone nationale, cette proportion est encore plus forte puisque **81 % des émissions du numérique français proviennent des terminaux**. Et cette part pourrait s'accroître à **82 % en 2040**².

Les terminaux sont d'autant plus émetteurs qu'ils sont très fréquemment renouvelés. **Selon l'étude, la durée de vie actuelle d'un smartphone serait de seulement 23 mois**.

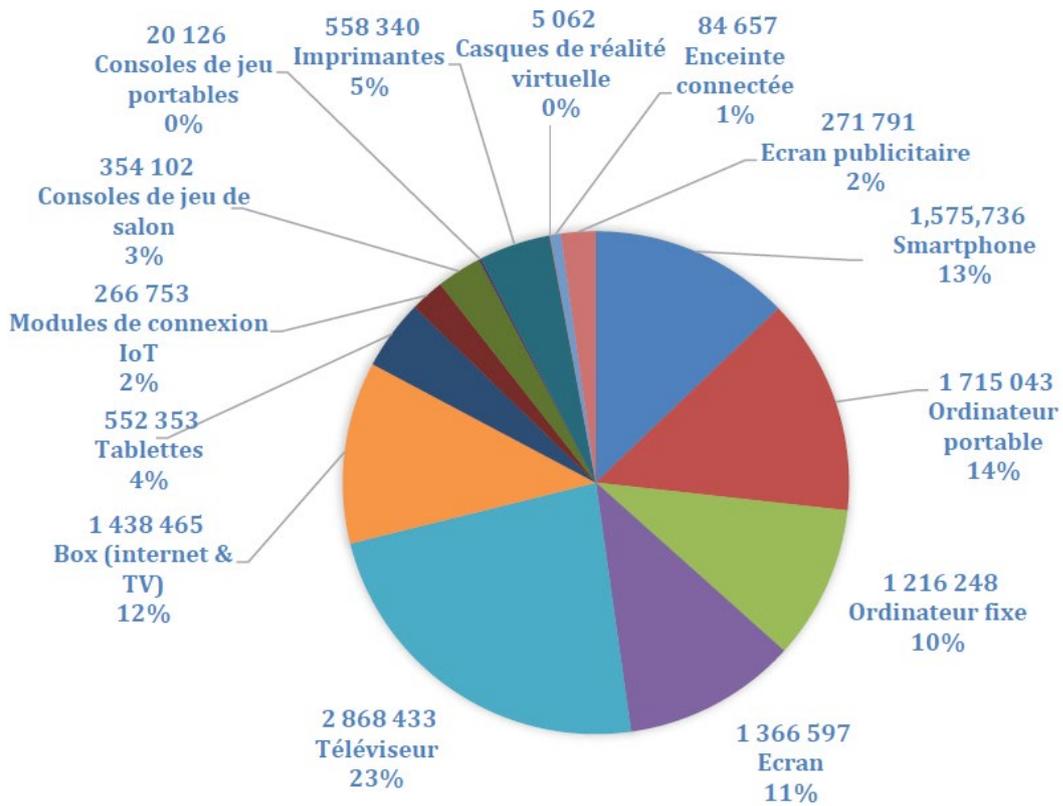
¹ GreenIT.fr, Empreinte environnementale du numérique mondial, 2019.

² Étude réalisée pour la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable du Sénat par Citizing et KPMG (juin 2020).

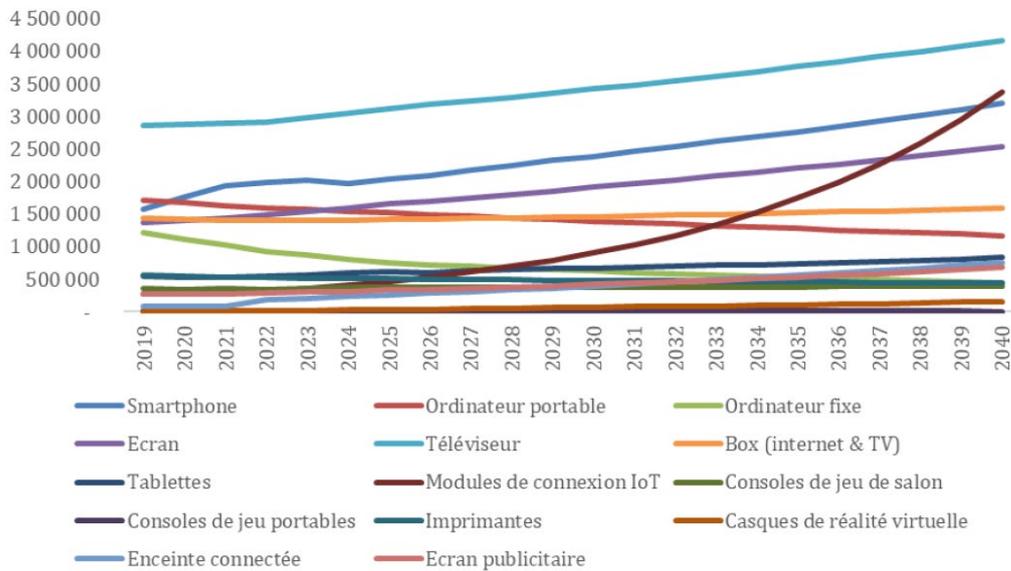


Émissions de gaz à effet de serre du numérique en France, par sous-ensemble, valeur relative

Pour l'heure, ce sont les téléviseurs qui, en France, émettent le plus de carbone, avec près du quart des émissions totales liées aux terminaux numériques. On relèvera également que le regroupement des *smartphones* (13 %), des ordinateurs portables (14 %), des ordinateurs fixes (10 %), des écrans (11 %) représentent à eux quatre près de la moitié (48 %) des gaz à effet de serre des terminaux numériques. **À horizon 2040, l'Internet des objets devrait croître considérablement, au point même de dépasser l'empreinte carbone des *smartphones* et des ordinateurs portables.**

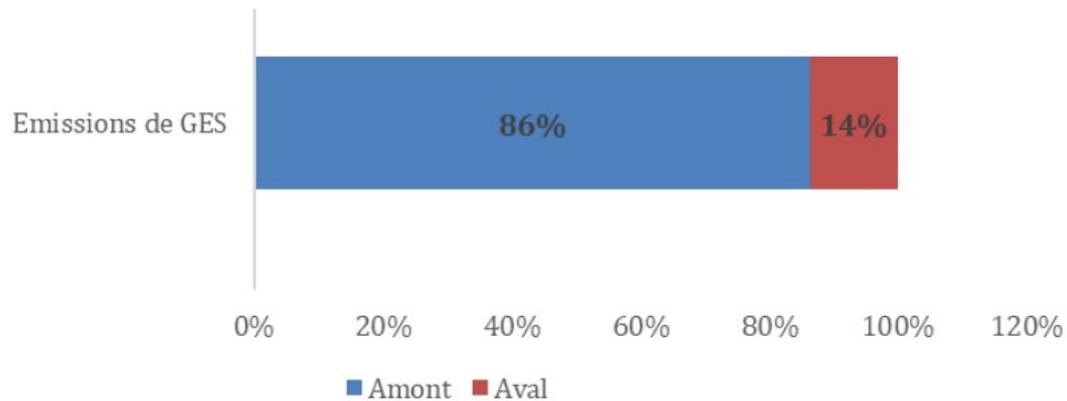


Émissions de gaz à effet de serre des principaux terminaux en 2019, en valeur absolue et en valeur relative



Empreinte carbone des principaux terminaux en France, de 2019 à 2040

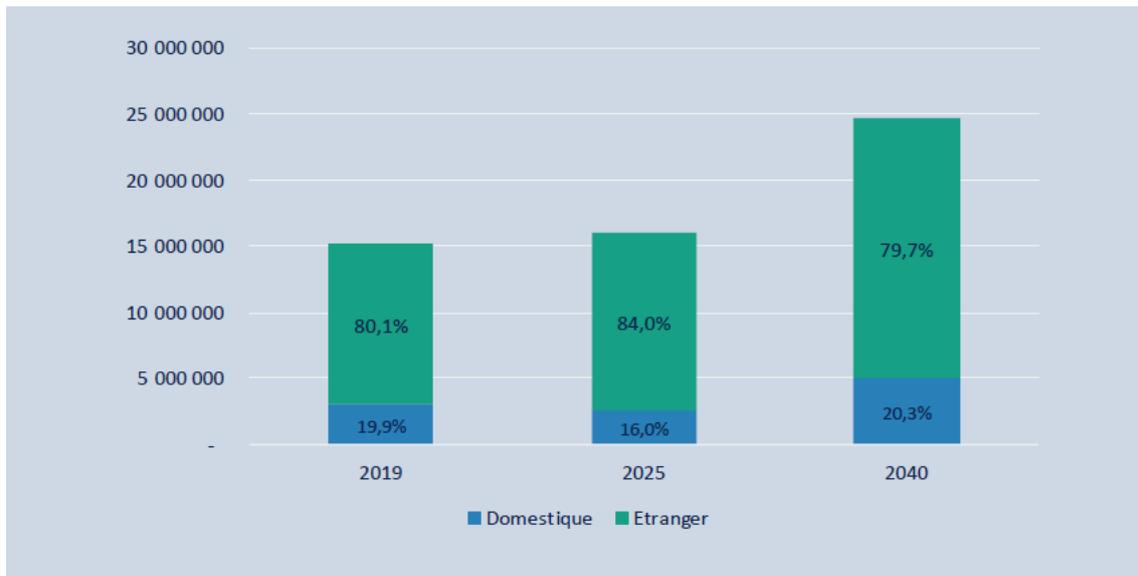
Autre particularité nationale : **la phase amont** (qui comprend la fabrication et le transport des terminaux) **représente 86 % des émissions de gaz à effet de serre des terminaux.**



Émissions de gaz à effet de serre des 14 terminaux de l'étude, distinguées entre phase amont et phase utilisation, en valeur relative

Autrement dit, **la fabrication et la distribution des terminaux constitue 70 % de l'empreinte carbone du numérique en France, contre seulement 40 % à l'échelle mondiale.** Cette singularité s'explique essentiellement par la **faible carbonation de l'électricité française**, qui amoindrit l'impact carbone de l'utilisation des terminaux, des réseaux et des *data centers*.

Il découle de ces constats que **la part de l'empreinte carbone du numérique en France relève principalement de l'étranger (80 % en 2019, taux qui devrait rester relativement stable dans le temps)**, et notamment de l'Asie du Sud-Est, où sont construits l'essentiel des terminaux utilisés par les Français.



Répartition de l'empreinte carbone du numérique en France, entre émissions domestiques et émissions à l'étranger

Les implications de ces quelques constats sont majeures. La réduction de l'empreinte carbone du numérique en France devra tout particulièrement passer par une **limitation de renouvellement des terminaux**. Il s'agit là d'un **impératif environnemental mais aussi économique** : en passant du tout-jetable – alimenté par des imports qui grèvent la balance commerciale du pays – à un modèle circulaire – s'appuyant sur un écosystème industriel capable de proposer des terminaux reconditionnés et d'offrir des solutions de réparation – les politiques publiques peuvent **favoriser l'implantation durable d'emplois non délocalisables, et implantés dans les territoires**. À cet égard, la réduction de l'empreinte environnementale du numérique en France constitue également un acte de **souveraineté économique**.

A. EN TAXANT LES EXTERNALITÉS NÉGATIVES LIÉES À LEUR FABRICATION : INTRODUIRE UNE TAXE CARBONE AUX FRONTIÈRES EUROPÉENNES POUR INTERNALISER LE COÛT ENVIRONNEMENTAL DES TERMINAUX IMPORTÉS

Une **taxe carbone aux frontières européennes** constituerait un premier levier de réduction de l'empreinte environnementale du numérique, en ce qu'elle rendrait plus onéreuse l'acquisition de terminaux – dont les émissions seraient intégrées dans le prix d'achat – et renforcerait parallèlement l'attractivité des terminaux issus des activités de reconditionnement¹ et le recours à la réparation.

Comme le rappelle le rapport annuel du Haut Conseil pour le climat², si le grand débat a fait apparaître des réticences envers la taxation environnementale sur le territoire national – s'appuyant aujourd'hui sur la taxe intérieure de consommation sur les produits énergétiques (TICPE) portant directement sur les produits énergétiques, principalement d'origine pétrolière (essence, diesel, fioul...) – « *une taxe environnementale aux frontières est populaire puisque 53 % des répondants [à la consultation se sont exprimés] pour taxer les produits importés qui dégradent l'environnement* ». S'il faut se montrer prudent dans l'interprétation de ce résultat, du fait du caractère facultatif de la consultation, il semble attester d'une certaine acceptabilité sociale de cette modalité d'imposition environnementale.

Cette acceptabilité pourrait s'expliquer par le **caractère moins régressif d'une taxe carbone aux frontières**. Dans une récente étude consacrée à ce sujet³, l'Ademe considère en effet que « *la tarification carbone aux frontières est relativement moins régressive que celle sur les émissions directes, le niveau de consommation de l'ensemble des biens et services étant plus corrélé avec le niveau de revenu que les consommations de produits énergétiques* ». L'étude conclut par ailleurs à une plus grande efficacité de cette modalité d'imposition environnementale : « *les comportements en termes de modification de consommation par la variation des prix est plus forte pour la tarification carbone aux frontières que celle sur les produits énergétiques, les valeurs d'élasticité étant en moyenne plus élevées que celle des produits énergétiques seuls. Cela induit donc qu'elle est plus efficace pour réduire les émissions de GES liées à la consommation des ménages, quand bien même celles-ci ne rentreraient pas dans le bilan des émissions nationales* ».

Il convient de rappeler qu'une taxe carbone aux frontières européennes ne porterait pas uniquement sur les équipements numériques. Elle aurait vocation à s'appliquer à **l'ensemble des produits manufacturés**

¹ Le reconditionnement est l'opération visant à réparer ou remettre en état un terminal numérique, en vue de sa revente. Il constitue en cela une forme de réemploi. Le reconditionnement peut concerner la partie matérielle du terminal (remplacement d'une batterie, d'une pièce défectueuse...), ou sa partie logicielle (nettoyage, réinitialisation et effacement des données personnelles).

² Haut Conseil pour le climat, Rapport annuel 2019, 2019.

³ Ademe, La fiscalité carbone aux frontières et ses effets redistributifs, 2020.

produits en dehors de l'Union européenne et importés dans notre pays. Cependant, eu égard à la nature très polluante des terminaux et au fait que la quasi-intégralité d'entre eux sont produits en dehors du territoire européen, il est certain que le numérique occuperait une place non négligeable dans l'assiette de cette taxe et orienterait de manière efficace les citoyens vers des modèles de consommation plus locaux et vertueux.

L'internalisation du coût environnemental des terminaux importés pourrait alternativement passer par un mécanisme d'inclusion carbone, proposé par la France à ses partenaires européens. « *Un mécanisme d'inclusion carbone permettrait de tarifier les émissions de gaz à effet de serre associées aux produits importés depuis des pays hors de l'UE au même niveau que les produits issus de l'UE, couverts par le marché carbone européen (EU ETS)* »¹.

Proposition n° 8 : Introduire une taxe carbone aux frontières européennes pour internaliser le coût environnemental des terminaux importés et renforcer l'attractivité des offres de terminaux reconditionnés.

B. EN LUTTANT CONTRE L'OBSOLESCENCE PROGRAMMÉE ET L'OBSOLESCENCE LOGICIELLE

1. Renforcer les sanctions pour obsolescence programmée

La **faible durée de vie des terminaux** procède autant d'une obsolescence désirée – découlant d'une volonté des consommateurs de disposer des dernières technologies mises à leur disposition – que d'une obsolescence matérielle, les usagers étant bien souvent contraints de renouveler leurs appareils en raison de pannes, de défaillances de composants ou encore de performances dégradées.

L'obsolescence matérielle programmée par les metteurs sur le marché constitue depuis 2015² un délit puni d'une peine de deux ans d'emprisonnement et de 300 000 euros d'amende, qui peut être portée, « *de manière proportionnée aux avantages tirés du manquement, à 5 % du chiffre d'affaires moyen annuel* » du metteur sur le marché³.

Depuis 2015, **aucune condamnation n'a été prononcée sur ce fondement**. Pourtant, de l'avis de l'association Halte à l'obsolescence programmée (HOP), la pratique est largement diffusée et constitue une part

¹ « La DG Trésor présente la logique économique du mécanisme d'inclusion carbone aux frontières de l'UE à ses homologues de l'UE » – 20 novembre 2019

² Article 99 de la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte.

³ Article L. 213-4-1 du code de la consommation.

importante du **modèle économique des grands metteurs sur le marché, fondé sur un taux élevé de remplacement des terminaux.**

Selon la contribution de HOP à la mission d'information, la définition du délit d'obsolescence programmée donnée par l'article L. 213-4-1 du code de la consommation¹ demeure très peu dissuasive pour les metteurs sur le marché. Selon HOP, « *il faut être en mesure de prouver l'intentionnalité de la réduction de la durée de vie du produit, ce qui est en pratique difficile. De nombreuses techniques conduisent certes à réduire l'espérance de vie d'un produit ; pour autant, le constructeur peut prétendre qu'il ne s'agit pas là d'une intention délibérée, que la moindre qualité du produit se justifie avant tout par la recherche du moindre coût. Dans ce cas, comme dans tant d'autres, il est très difficile d'établir le caractère délibéré des techniques et donc l'existence du délit, qui mérite sans doute d'être précisé dans la loi* ».

Le récent cas Apple illustre bien le caractère peu opérant de l'article L. 213-4-1 du code de la consommation. Pour n'avoir pas informé les usagers de ses téléphones que les mises à jour de leur système d'exploitation étaient susceptibles de conduire à un ralentissement du fonctionnement de leur appareil, Apple a récemment été contraint d'accepter une transaction comprenant une amende de 25 millions d'euros au terme d'une enquête menée par la direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF)². Pour autant, le fondement juridique retenu n'a pas été le délit d'obsolescence programmée, mais la pratique commerciale trompeuse par omission, en l'espèce plus facile à prouver.

Au regard de ces éléments, la mission d'information estime indispensable d'engager une **réflexion visant à réécrire l'article L. 213-4-1 précité, afin de rendre le dispositif plus dissuasif.**

Elle considère également que **les enquêtes devraient être systématiquement orientées par le parquet saisi de plaintes pour obsolescence programmée vers l'autorité en charge de la régulation du numérique en France : l'Arcep.** Si les pouvoirs de régulation de l'Arcep se concentrent pour l'heure sur les infrastructures, il semblerait logique qu'ils soient progressivement étendus aux terminaux, comme l'a déjà exprimé son président, Sébastien Soriano³.

La mission considère enfin que **le recours au *name and shame*** pourrait constituer une parade complémentaire – plus efficace encore que la réponse pénale – à l'obsolescence programmée. Il pourrait ainsi être confié à l'Arcep la responsabilité de tenir un baromètre annuel et public des metteurs

¹ « L'obsolescence programmée se définit par l'ensemble des techniques par lesquelles un metteur sur le marché vise à réduire délibérément la durée de vie d'un produit pour en augmenter le taux de remplacement ».

² <https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/transaction-avec-le-groupe-apple-pour-pratique-commerciale-trompeuse>.

³ <https://www.arcep.fr/actualites/les-prises-de-parole/detail/n/la-regulation-des-telecoms-doit-setendre-aux-terminaux-1.html>.

sur le marché, en s'appuyant sur les indices de réparabilité et de durabilité prévus par la loi AGECE, qui seront rendus obligatoires respectivement en 2021 et 2024¹.

Proposition n° 9 : Renforcer les sanctions pour obsolescence programmée *via* :

- **une réflexion à engager sur la réécriture de l'article L. 213-4-1 du code de la consommation, qui définit et sanctionne l'obsolescence programmée afin de rendre le dispositif plus dissuasif ;**
- **une orientation des enquêtes pour obsolescence programmée à l'Arcep plutôt qu'à la DGCCRF ;**
- **un recours plus systématique au *name and shame* et la création d'un baromètre annuel et public des metteurs sur le marché en fonction des critères de réparabilité et de durabilité.**

2. Renforcer la lutte contre l'obsolescence logicielle

Le cadre légal doit également être complété pour mieux lutter contre l'obsolescence logicielle. Celle-ci conduit à un renouvellement accéléré des logiciels et systèmes d'exploitation, pouvant dégrader les performances des terminaux. Elle constitue en cela une forme d'obsolescence programmée, poussant le consommateur à renouveler son *smartphone* ou son ordinateur pour pouvoir utiliser les dernières versions de logiciels.

La transposition des directives (UE) 2019/770² et 2019/771³ du Parlement européen et du Conseil du 20 mai 2019 pourrait fournir un véhicule juridique adapté à l'inscription de dispositions législatives relatives à l'obsolescence logicielle⁴. La mission d'information recommande notamment :

- de créer une obligation de **dissociation des mises à jour correctives**, nécessaires pour la sécurité du matériel, et des mises à jour évolutives, accessoires et pouvant accélérer l'obsolescence du terminal ;

¹ Loi n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire.

² Directive (UE) 2019/770 du Parlement européen et du Conseil du 20 mai 2019 relative à certains aspects concernant les contrats de fourniture de contenus numériques et de services numériques.

³ Directive (UE) 2019/771 du Parlement européen et du Conseil du 20 mai 2019 relative à certains aspects concernant les contrats de vente de biens, modifiant le règlement (UE) 2017/2394 et la directive 2009/22/CE et abrogeant la directive 1999/44/CE.

⁴ L'article 8 de la directive relative à la fourniture de contenus et services numériques et l'article 7 de la directive concernant certains aspects des contrats de vente de biens contraignent ainsi le vendeur à fournir des mises à jour pendant une période à laquelle le consommateur peut raisonnablement s'attendre.

- de créer un **droit à la réversibilité** : l'utilisateur devrait toujours être en mesure de revenir à une version antérieure du logiciel ou du système d'exploitation, s'il estime que la mise à jour a contribué à ralentir son terminal ;
- de **restreindre le nombre d'applications préinstallées** sur le terminal par le metteur sur le marché ou, *a minima*, de permettre à l'utilisateur de les désinstaller.

L'installation de logiciels libres¹ devrait également être garantie. Moins volumineux que les logiciels propriétaires, les logiciels libres peuvent être utilisés sur du matériel ancien et moins performant. Distribués avec un accès au code source, à la différence des logiciels propriétaires, ils peuvent être soumis à étude, critique et correction, limitant les risques d'obsolescence logicielle intentionnée.

Proposition n° 10 : Renforcer la lutte contre l'obsolescence logicielle en adoptant plusieurs dispositions législatives :

- dans le cadre de la transposition des directives (UE) 2019/770 et 2019/771 du Parlement européen et du Conseil du 20 mai 2019 : la dissociation des mises à jour correctives, nécessaires pour la sécurité du matériel, et des mises à jour évolutives, accessoires et pouvant accélérer l'obsolescence du terminal ; la réversibilité des installations ; la restriction du nombre d'applications préinstallées au strict nécessaire ou la possibilité de leur désinstallation ;
- l'obligation de permettre l'installation des logiciels libres.

C. EN FAVORISANT LE RÉEMPLOI ET LA RÉPARATION

1. Renforcer l'ambition en matière de réparation et de réemploi par un taux de TVA réduit et l'inscription d'objectifs ambitieux dans le cahier des charges des éco-organismes

Pour limiter leur renouvellement, il convient également de **renforcer considérablement la réparation et le réemploi - via le reconditionnement - des terminaux.**

Des dispositions ambitieuses ont à cet égard été inscrites dans la loi AGECE, qui prévoit la **création, dès 2021, de fonds de réparation et de fonds de réemploi**, dans plusieurs filières de responsabilité élargie du

¹ Selon la définition donnée par l'Association francophone des utilisateurs de logiciels libres, un logiciel libre « peut être utilisé, modifié et redistribué sans restriction par la personne à qui il a été distribué ». Les logiciels libres se distinguent des logiciels « propriétaires », distribués en version exécutable, sans accès au code source. Mozilla Firefox, Mozilla Thunderbird, OpenOffice.org et VLC sont des exemples de logiciels libres célèbres.

producteur (REP), parmi lesquelles la filière des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) en charge notamment de la prévention et de la gestion des déchets du numérique.

Ces fonds seront **financés par l'éco-contribution payée par le consommateur lors de l'achat d'un bien relevant de la filière**. Ils seront dotés des ressources nécessaires à l'atteinte des objectifs de réparation et de réemploi imposés aux éco-organismes agréés par l'État.

Dans le cadre de la filière DEEE, le fonds de réemploi pourra notamment **financer des acteurs du reconditionnement de terminaux informatiques, sur le fondement d'une convention établie entre ces acteurs et le fonds**. Le fonds de réparation participera quant à lui au financement des coûts de réparation effectuée par les utilisateurs auprès d'un **réparateur labellisé**.

Parallèlement au déploiement de ces fonds, la mission d'information estime qu'un **taux de TVA réduit à 5,5 %** pourrait être instauré pour l'acquisition d'objets électroniques reconditionnés et pour les activités de réparation. Ces taux de TVA réduits pourraient contribuer à **renforcer l'attractivité des offres issues du reconditionnement et de la réparation**, et ainsi limiter le renouvellement des terminaux. En conséquence, ils participeraient également à la **structuration dans les territoires d'un écosystème industriel du reconditionnement et de la réparation**.

Par ailleurs, des objectifs ambitieux de réemploi et de réparation devront être inscrits dans les cahiers des charges des éco-organismes de la filière DEEE agréés par l'État, en application de l'article 62 de la loi AGEC. Plus cette ambition sera élevée, plus les éco-contributions pourront être fléchées vers le financement des fonds de réemploi et de réparation.

Enfin, la mission d'information rappelle que la filière DEEE comprend un ensemble hétéroclite de biens - allant de l'électroménager au numérique. Les performances des éco-organismes sont aujourd'hui trop peu satisfaisantes, car les équipements numériques sont noyés dans un ensemble plus large de biens au tonnage plus élevés et pour l'heure, mieux réparés et recyclés (réfrigérateurs, lave-linge...). Il conviendrait ainsi de **fixer des objectifs de réparation et de réemploi spécifiques à certaines catégories d'équipements numériques** (*smartphones, ordinateurs, téléviseurs*).

Proposition n° 11 : Renforcer l'ambition en matière de réparation et de réemploi en :

- **mettant en place un taux de TVA réduit sur la réparation de terminaux et l'acquisition d'objets électroniques reconditionnés pour limiter les achats neufs ;**
- **fixant des objectifs ambitieux de réparation et de réemploi dans le cahier des charges des éco-organismes de la filière DEEE dans le cadre de l'application de la loi du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire et en déclinant, le plus rapidement possible, ces objectifs pour certaines catégories d'équipements (smartphones, ordinateurs, téléviseurs, etc.).**

2. Activer le levier de la commande publique pour contribuer à renforcer les marchés de réemploi et de réparation

La **commande publique** pourrait également constituer un levier très efficace à la disposition de la puissance publique pour soutenir les marchés de réemploi et de réparation.

L'**article 55 de la loi AGECE** pourrait servir de fondement législatif à cette ambition. Il dispose notamment qu'« à compter du 1^{er} janvier 2021, les services de l'État ainsi que les collectivités territoriales et leurs groupements, lors de leurs achats publics et dès que cela est possible, (...) privilégient les biens issus du réemploi (...) en prévoyant des clauses et des critères utiles dans les cahiers des charges ».

Quelques jours après la promulgation de la loi, une **circulaire du Premier ministre du 25 février 2020**¹ a détaillé **20 engagements de l'État pour des services publics écoresponsables**. La 20^e mesure dispose : « L'État développe d'ici juillet 2020 une stratégie de réduction de l'empreinte carbone du numérique public, qui comprendra notamment une démarche de sensibilisation des agents aux éco-gestes numériques et l'achat de matériels ou de consommables reconditionnés ».

Pour privilégier l'achat de terminaux reconditionnés, une clause de réemploi ou un lot réemploi pourrait être intégré dans les appels d'offres publics d'achats numériques. Des objectifs exigeants de réemploi pourraient être fixés par le pouvoir réglementaire. Afin de créer un effet d'entraînement pour les acteurs privés, ces objectifs pourraient être fixés à un niveau supérieur aux objectifs de réemploi de la filière DEEE.

Enfin, les critères de durabilité des produits pourraient également être pris en compte dans les marchés publics, sur la base notamment des critères de l'indice de réparabilité, obligatoire au 1^{er} janvier 2021, puis de l'indice de durabilité à partir du 1^{er} janvier 2024, créés par la loi AGECE. Sollicitée par la mission d'information, la direction interministérielle au numérique (DINUM) s'est montrée ouverte à ces préconisations : « il est possible d'imaginer qu'à terme pour les achats de

¹ http://circulaire.legifrance.gouv.fr/pdf/2020/02/cir_44936.pdf

l'État sur certains produits soit exigé un score minimal d'indice de réparabilité et, plus tard, d'indice de durabilité ».

Proposition n° 12 : Activer le levier de la commande publique pour contribuer à renforcer les marchés de réemploi et de réparation en :

- **imposant la prise en compte de critères de durabilité des produits dans les marchés publics, sur la base notamment des critères de l'indice de réparabilité, obligatoire au 1^{er} janvier 2021, puis de l'indice de durabilité à partir du 1^{er} janvier 2024 ;**
- **ajoutant systématiquement une clause de réemploi ou un lot réemploi dans les appels d'offres publics d'achats d'équipements neufs.**

3. Conditionner les aides à la numérisation des entreprises dans le cadre du plan de relance à l'intégration d'une ambition environnementale

Le **plan de relance**, qui sera déployé dans les mois à venir pour soutenir les secteurs économiques touchés par la crise sanitaire et qui donnera sans aucune doute une place importante au digital, ne peut pas ignorer le coût environnemental majeur que constitue le renouvellement systématique des terminaux. Si les **mesures d'aides à la transition numérique des entreprises** se justifient au regard du retard pris par le tissu industriel français dans l'intégration des technologies numériques¹, elles **doivent s'accompagner d'une ambition environnementale forte**, en intégrant un soutien spécifique aux pratiques vertueuses.

À titre d'exemple, les soutiens qui pourraient être accordés à la numérisation des PME et TPE pourraient être accrus – sous forme de bonus – pour les entreprises s'engageant à intégrer une part minimale de terminaux reconditionnés dans leurs achats numériques. Cet avantage fiscal contribuerait à structurer plus encore le secteur français du reconditionnement, amené à occuper une place croissante dans notre paysage industriel.

Les éventuels prêts accordés par Bpifrance en direction des entreprises industrielles pour accélérer leur transition numérique pourraient quant à eux être conditionnés à l'intégration d'une ambition environnementale dans leurs dossiers de candidature.

Proposition n° 13 : Conditionner les aides à la numérisation des entreprises dans le cadre du plan de relance à l'intégration d'une ambition environnementale, privilégiant par exemple l'acquisition de terminaux reconditionnés à l'achat d'équipements neufs.

¹ 15 % des PME vendent en ligne et les PME réalisent seulement 11 % de leur chiffre d'affaires en ligne, ce qui situe la France aux 17^e et 12^e places au niveau européen.

En résumé

Pour réduire l’empreinte environnementale liée au renouvellement des terminaux, la mission d’information recommande de **taxer les externalités négatives** liées à la fabrication des terminaux par **l’introduction d’une taxe carbone aux frontières européennes**, de renforcer les **sanctions** existantes pour **obsolescence programmée**, de renforcer la lutte contre **l’obsolescence logicielle** et surtout de **favoriser le réemploi et la réparation des terminaux**, *via* la mise en place d’un **taux de TVA réduit** sur ces activités, l’inscription d’objectifs ambitieux dans les cahiers des charges des éco-organismes de la filière DEEE ou encore l’activation du levier de la commande publique pour contribuer à renforcer les marchés de réemploi et de réparation.

La mission appelle également à **conditionner** les aides à la numérisation des entreprises dans le cadre du **plan de relance** à l’intégration d’une ambition environnementale, privilégiant par exemple l’acquisition de terminaux reconditionnés à l’achat d’équipements neufs.

III. FAIRE ÉMERGER ET DÉVELOPPER DES USAGES DU NUMÉRIQUE ÉCOLOGIQUEMENT VERTUEUX

A. EN DÉFINISSANT LES DONNÉES COMME UNE RESSOURCE NÉCESSITANT UNE GESTION DURABLE : PRÉVOIR UNE CONSÉCRATION LÉGISLATIVE DE LA DONNÉE COMME UNE RESSOURCE NÉCESSITANT UNE GESTION DURABLE

La crise sanitaire et le confinement ont brutalement montré que **les données numériques sont une ressource précieuse**, indispensable à la continuité de pans entiers de la vie de notre Nation. Dans le même temps, cependant, les actions prises par le Gouvernement¹ pour éloigner le spectre de la saturation des réseaux face à l’accroissement des usages² ont rappelé aux Français que cette ressource n’était pas illimitée.

Ce constat va à rebours des tendances observées depuis des décennies sur le marché des télécoms. En effet, avec l’évolution des technologies, les utilisateurs ont été encouragés à consommer toujours plus de données. Selon les informations transmises par un des quatre grands opérateurs français, **la consommation de données mobiles 4G augmente de 30 % par an environ. La tendance devrait se poursuivre dans les années à venir, notamment avec le déploiement de la 5G, qui permettra de multiplier le débit par 10 par rapport à la 4G.** L’amélioration de l’efficacité

¹ Encouragement à la réduction du trafic des géants de la vidéo américains (Netflix, Youtube), ordonnance du 25 mars 2020 visant à faciliter le travail de maintenance et de renforcement des réseaux, introduisant, pour la durée de l’état d’urgence sanitaire, plusieurs dispositions dérogatoires...

² Selon les chiffres de la direction générale des entreprises, « en quelques jours, les volumes d’appel ont ainsi été multipliés par deux et le trafic Internet a connu une hausse de 20 à 30 % ».

énergétique des réseaux ne permettra pas d'absorber cette hausse des usages : selon l'étude commandée par la mission d'information, « de 11,1 TWh en 2019, la consommation d'énergie primaire des réseaux en France pourrait passer, en scénario central à 13,3 TWh en 2025, et 19,4 TWh en 2040 », **soit une hausse de 75 %**. Les émissions de GES des réseaux augmenteraient également – dans une proportion moindre cependant (+ 34 %)¹ – et cela, malgré la réduction de l'intensité carbone de l'électricité en France sur la même période. La hausse continue de la consommation de données impacte également les *data centers*, dont la consommation électrique devrait être multipliée par trois en vingt ans, malgré les gains d'efficacité énergétique.

Pour contrer cet effet rebond particulièrement puissant, l'enseignement tiré de la crise sanitaire devrait être pérennisé. En ce que les données sont une ressource précieuse, elles devront être utilisées, dans le futur, avec plus de parcimonie. Car les données correspondent au final à de l'énergie consommée. On pourrait être tenté de détourner le slogan publicitaire souvent relayé aux Français : « les données sont notre avenir, économisons-les ! ».

Un tel changement de paradigme devrait être reconnu dans la loi, à la faveur par exemple de la transposition du code européen des télécommunications². La donnée pourrait y être définie comme une ressource, nécessitant une gestion durable, au même titre que d'autres ressources précieuses, comme l'eau et l'énergie.

Proposition n° 14 : Prévoir une consécration législative de la donnée dans le cadre de la transposition du code européen des communications électroniques, en définissant la donnée comme une ressource nécessitant une gestion durable.

**B. EN RÉGULANT L'OFFRE DES FORFAITS TÉLÉPHONIQUES :
INTERDIRE À TITRE PRÉVENTIF LES FORFAITS MOBILES AVEC UN
ACCÈS AUX DONNÉES ILLIMITÉES ET RENDRE OBLIGATOIRE UNE
TARIFICATION PROPORTIONNELLE AU VOLUME DE DONNÉES DU
FORFAIT**

Les forfaits mobiles avec un accès illimité aux données pourraient être interdits à titre préventif. Le réseau mobile est en effet aujourd'hui beaucoup **plus émetteur et moins résilient** que le réseau fixe. C'est la raison pour laquelle, pendant la crise sanitaire et pour faire face à l'accroissement considérable des usages, les opérateurs ont incité les consommateurs à **se connecter via la Wifi, plutôt qu'en 3G ou en 4G.**

¹ Les émissions de GES des réseaux augmenteraient lentement, de 746 milliers de tCO₂eq en 2025 à 932 milliers de tCO₂eq en 2040, contre 696 milliers de tCO₂eq en 2019.

² Directive (UE) 2018/1972 du Parlement européen et du Conseil du 11 décembre 2018 établissant le code des communications électroniques européen.

L'existence de forfaits avec données mobiles illimitées affaiblit naturellement la portée des incitations à utiliser le réseau fixe, plutôt que le réseau mobile, pour se connecter. Si peu d'opérateurs proposent aujourd'hui ce type d'offres en 4G, elles pourraient être amenées à se généraliser avec le développement de la 5G. Leur interdiction aurait ainsi un **caractère préventif**.

L'interdiction des forfaits illimités **ne concernerait évidemment pas les forfaits Internet fixe, moins énergivores**. La mission d'information préconise à ce titre de **généraliser le plan France très haut débit, pour garantir la couverture intégrale du territoire en fibre** (voir proposition n° 23).

A minima, la tarification au consommateur devrait être rendue **proportionnelle au volume de données prévu par le forfait mobile souscrit**. Cela n'est pas toujours le cas : le coût unitaire de la donnée décroît souvent avec la quantité de données accordée au consommateur¹.

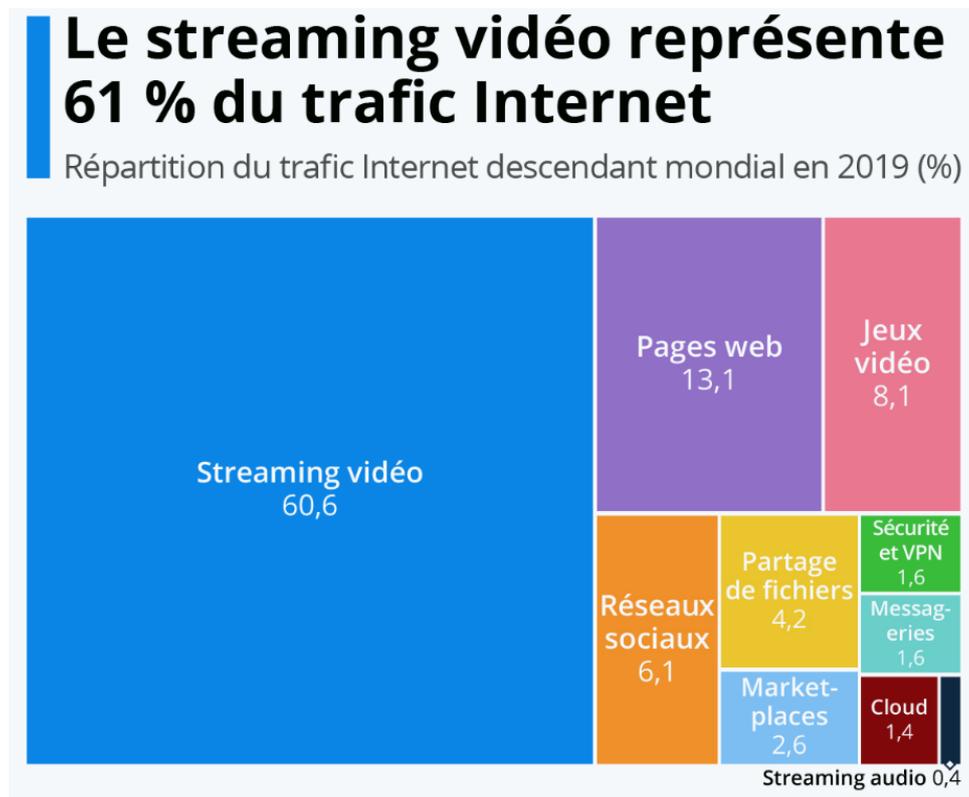
Pour le Conseil national du numérique, ces pratiques constituent de surcroît « *une subvention indirecte des utilisateurs à fort trafic par l'ensemble des usagers* ».

Proposition n° 15 : Interdire à titre préventif les forfaits mobiles avec un accès aux données illimitées et rendre obligatoire une tarification proportionnelle au volume de données du forfait.

C. EN LIMITANT L'IMPACT DES USAGES VIDÉO : ENCADRER LE STREAMING VIDÉO, QUI REPRÉSENTE 60 % DU TRAFIC INTERNET MONDIAL

En 2019, le *streaming* vidéo représentait **60,6 % du trafic Internet mondial**, loin devant le chargement des pages Web (13,1 %) et les jeux vidéo (8,1 %).

¹ À titre d'exemple, un opérateur français propose aujourd'hui quatre offres mobiles principales : 100 Mo pour 4,99 euros, 60 Go pour 11,99 euros, 80 Go pour 13,99 euros et 100 Go pour 15,99 euros. Le coût unitaire de la donnée est beaucoup moins élevé pour les trois dernières offres que pour la première.



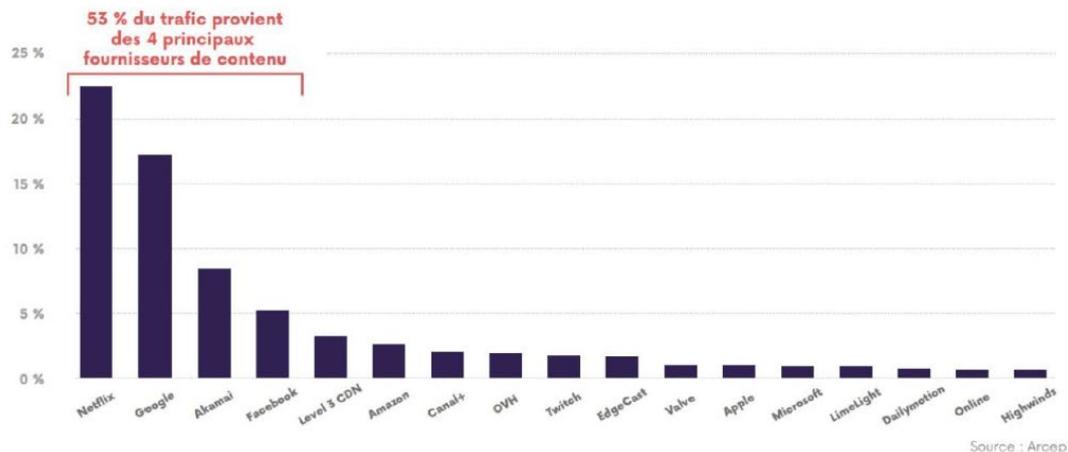
Source : Sandvine (2019).

Les géants américains de la vidéo Netflix et Google – propriétaire de Youtube – représentent respectivement 23 % et 17 % du trafic en France.

Ces entreprises hébergent jusqu'à présent leurs services aux États-Unis, ou à défaut dans des pays européens comme l'Irlande et les Pays-Bas pour servir, entre autres, le marché français. Plus efficaces que les centres informatiques hébergés en France en raison de leur taille très importante, les *data centers* des entreprises américaines de la vidéo consomment en revanche une électricité bien plus carbonée que l'électricité française (493gCO₂eq/kWh, contre 57,1gCO₂/kWh).

Le *streaming* vidéo provoque donc un phénomène de « fuites carbone », correspondant à une augmentation des émissions étrangères de gaz à effet de serre imputable à la consommation domestique de vidéos. 53 % des émissions de gaz à effet de serre dues à l'utilisation de *data centers* ont ainsi été produites à l'étranger.

DÉCOMPOSITION DU TRAFIC EN FRANCE SELON L'ORIGINE POUR LES PRINCIPAUX OPÉRATEURS EN FRANCE (FIN 2018)



Source : Arcep (2019).

Le *streaming* vidéo place également les réseaux français en **situation de dépendance croissante vis-à-vis des fournisseurs de contenus étrangers**.

Afin d'écartier les risques de saturation des réseaux face à la hausse des usages durant la période de confinement, la France a ainsi dû solliciter le concours des plus grands fournisseurs américains, en leur demandant de réduire la qualité de leurs vidéos. Netflix a baissé de 25 % son trafic dès la mi-mars. Quant à Youtube, ses vidéos ont été paramétrées, par défaut, pour se lancer avec une qualité d'image standard, voire dégradée. Le Gouvernement a également demandé à la plateforme de *streaming* Disney+ de reporter à avril son lancement, initialement prévu en mars.

Il est dommageable qu'aucune stratégie durable n'ait encore été définie pour limiter structurellement l'emprise de la vidéo sur les réseaux français et pour ne pas laisser le *streaming* phagocyter d'autres usages présentant un intérêt socio-économique plus important (télétravail, télémedecine, cours en ligne...). Mieux encadrer les usages vidéo relève donc d'une nécessité environnementale – afin de limiter le phénomène de « fuites carbone » – mais aussi d'une **exigence d'indépendance vis-à-vis du marché américain du *streaming***.

Les autorités françaises et européennes doivent tout d'abord responsabiliser les grands acteurs de la vidéo, aujourd'hui trop peu préoccupés de l'impact de leurs pratiques. Selon Orange, « pour Netflix ou Youtube, la priorité est le confort de l'utilisateur. Leur intérêt est donc d'envoyer le maximum de données sur le réseau, pour diminuer le plus possible la latence des vidéos ». Le dialogue qui sera engagé avec les grands fournisseurs de contenus devra ainsi permettre de **faire émerger des pratiques plus sobres que celles pratiquées actuellement**.

Les restrictions de débit mises en place pendant la période de confinement prouvent par ailleurs la **faisabilité technique d'une adaptation**

de la qualité vidéo par les fournisseurs de contenus. Si des mesures durables de réduction de la résolution pourraient rencontrer une opposition de la part du grand public, les acteurs du *streaming* vidéo devraient *a minima* être contraints **d'adapter la qualité de la vidéo à la résolution maximale du terminal utilisé**¹. Pour le Conseil national du numérique, une telle régulation est d'autant plus nécessaire que les services de *streaming* proposent des qualités de vidéos de plus en plus élevées (4K, 8K...).

Enfin, **une taxe pourrait être créée pour inciter les plus gros émetteurs à une injection plus raisonnable de données sur le réseau.** Seules les entreprises émettant une certaine quantité de données – en pratique les plus grands acteurs du *streaming* vidéo – seraient assujetties à cette taxe. Le produit de cette imposition pourrait **alimenter le fonds de solidarité numérique (FSN)**, et financer ainsi l'aménagement numérique du territoire ou la formation des personnes éloignées du numérique. Il pourrait également contribuer à **financer l'entretien des réseaux d'initiative publique.** En ce que cette imposition pourrait constituer une dérogation au principe de neutralité du Net, une révision du règlement européen consacrant ce principe² pourrait être nécessaire.

Proposition n° 16 : Encadrer les usages vidéo en privilégiant une triple approche :

- **une responsabilisation des grands acteurs de la vidéo ;**
- **une obligation d'adapter la qualité de la vidéo téléchargée à la résolution maximale du terminal ;**
- **l'introduction d'une taxe sur les plus gros émetteurs de données, afin d'inciter à une injection plus raisonnable de données sur le réseau.**

D. EN AMÉLIORANT L'ÉCOCONCEPTION DES SITES ET SERVICES NUMÉRIQUES

1. Accompagner, à court terme, les administrations dans l'écoconception des sites et services numériques

Afin de limiter la consommation de données lors du chargement des pages Internet, l'écoconception des sites et services numériques doit être très largement généralisée.

Pour Frédéric Bordage (GreenIT.fr), les solutions existent : l'écoconception permet déjà de développer des services beaucoup moins

¹ De nombreux smartphones et tablettes offrent ainsi une résolution maximale de 720p, alors même que le contenu téléchargé peut souvent atteindre les 1080p.

² Règlement (UE) 2015/2120 du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2015 établissant des mesures relatives à l'accès à un Internet ouvert et modifiant la directive 2002/22/CE concernant le service universel et les droits des utilisateurs au regard des réseaux et services de communications électroniques et le règlement (UE) n° 531/2012 concernant l'itinérance sur les réseaux publics de communications mobiles à l'intérieur de l'Union.

consommateurs en données, sans dégrader le service rendu. « *La Deutsche Bahn a ainsi démontré qu'il était possible de diviser par 1 350 la quantité de ressources informatiques nécessaires pour trouver l'horaire d'un train* » a-t-il rappelé lors de son audition par la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable¹.

L'écoconception constitue **également un des leviers de lutte contre l'obsolescence des équipements numériques**, dès lors qu'un site éco-conçu est plus facile à charger sur un terminal ancien et peu performant. Enfin, pour le Conseil national du numérique, « *l'écoconception est bien souvent le corollaire de l'accessibilité numérique car un site sobre est généralement un site plus accessible pour les personnes en situation de handicap* ». L'écoconception améliore donc l'expérience de l'utilisateur et **contribue ainsi à l'inclusion numérique**.

Sur le fondement de l'article 55 de la loi AGECS², l'exigence d'écoconception des sites et services numériques des administrations pourrait ainsi être renforcée.

Pour ce faire, l'administration pourrait s'appuyer sur les procédures mises en place pour améliorer l'ergonomie des sites publics. La direction interministérielle au numérique (DINUM) a ainsi développé le « **Cerfa numérique** », qui liste 35 critères de qualité permettant de réaliser des sites faciles à comprendre et ergonomiques. Depuis 2014³, avant tout lancement d'un projet numérique de plus de 9 millions d'euros, chaque ministère doit solliciter auprès de cette direction un **avis de conformité**, portant notamment sur le respect des critères fixés par le Cerfa. La liste des avis est publiée en ligne⁴.

Sur un modèle analogue, **des critères d'écoconception des sites pourraient être intégrés dans le « Cerfa numérique »**. Un avis de conformité obligatoire de la DINUM pourrait être prévu pour tous les projets de sites publics de plus de 5 millions d'euros, seuil préconisé par un récent rapport du Conseil national du numérique consacré à l'accessibilité numérique⁵.

Parallèlement, **un appel à manifestation d'intérêt pourrait être lancé** pour identifier les solutions les plus exemplaires et innovantes en matière d'écoconception des services numériques. Un **label officiel pourrait être accordé par la DINUM aux lauréats**.

¹ *Table ronde de think-tanks (The Shift Project et GreenIT.fr), le 29 janvier 2020. Vidéo consultable ici.*

² *Le deuxième alinéa de l'article 55 de la loi AGECS dispose ainsi que « lorsque le bien acquis est un logiciel, les administrations mentionnées au premier alinéa de l'article L. 300-2 du code des relations entre le public et l'administration promeuvent le recours à des logiciels dont la conception permet de limiter la consommation énergétique associée à leur utilisation ».*

³ *Arrêté du 14 novembre 2014 pris pour l'application de l'article 3 du décret n° 2014-879 du 1^{er} août 2014 relatif au système d'information et de communication de l'État.*

⁴ <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/publication-des-avis-dinum-articles-3-et-7/>

⁵ *Conseil national du numérique, Accessibilité numérique, entre nécessité et opportunité, 2020.*

Proposition n° 17 : Accompagner, à court-terme, les administrations dans l'écoconception des sites et services numériques en :

- **intégrant des critères d'écoconception des sites dans le « Cerfa numérique » (qui liste des critères pour l'ergonomie des sites) conçu par la Direction interministérielle au numérique (DINUM) ;**
- **prévoyant un avis de conformité obligatoire de la DINUM pour tous les projets de sites publics de plus de 5 millions d'euros ;**
- **lançant un appel à manifestation d'intérêt pour identifier les solutions les plus exemplaires en matière d'écoconception des services numériques.**

2. Rendre obligatoire, à moyen terme, l'écoconception des sites publics et des plus grands sites privés

À moyen terme, **l'écoconception** des sites des services publics et des entreprises totalisant plus de 500 millions d'euros de chiffre d'affaires pourrait être **rendue obligatoire**, à l'image des obligations existantes en matière d'accessibilité numérique pour les personnes handicapées¹.

En cas de non-respect de ces obligations, les administrations et entreprises s'exposeraient à des **sanctions administratives, qui pourraient être prononcées par l'Arcep**. Le plafond de la sanction devrait être fixé à un niveau suffisamment élevé pour permettre à l'autorité administrative de moduler l'amende en fonction des moyens de l'entreprise ou de l'administration concernée.

L'Arcep pourrait également interdire temporairement la publication des sites non-éco-conçus et publier une liste noire de ces sites, à l'image des pratiques existantes au Royaume-Uni en matière d'accessibilité numérique pour les personnes handicapées².

¹ Article 47 de la loi n° 2005-102 du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées, modifié par l'article 106 de la loi n° 2016-1321 du 7 octobre 2016 pour une République numérique.

² Conseil national du numérique, Accessibilité numérique, entre nécessité et opportunité, 2020.

Proposition n° 18 : Rendre obligatoire, à moyen terme, l'écoconception des sites publics et des plus grands sites privés, avec un pouvoir de sanction de l'Arcep.

Pour cela :

- rendre obligatoire l'écoconception des sites web et services en ligne publics et des entreprises totalisant plus de 500 millions d'euros de chiffre d'affaires ;
- créer un pouvoir de sanction de l'Arcep en cas de non-respect de cette obligation et plafonner la sanction à un niveau suffisamment élevé, pour permettre à l'Arcep de moduler l'amende en fonction des moyens de l'entreprise ou de l'administration concernée ;
- interdire temporairement la publication des sites non-éco-conçus et prévoir la publication d'une liste noire de ces sites.

E. EN PERMETTANT UNE « RÉGULATION DE L'ATTENTION »

1. Prévoir une obligation de *reporting* des fournisseurs de contenus sur les stratégies cognitives utilisées pour accroître les usages

L'économie de l'attention est une théorie économique établie par Herbert Simon en 1971, définissant l'attention des consommateurs comme une ressource économique rare face à l'abondance d'informations. Pour de nombreux chercheurs, cette théorie définit particulièrement bien le fonctionnement des marchés à l'ère du numérique, caractérisée par une accélération de la diffusion des contenus et une concurrence des plateformes pour capter l'attention des internautes¹

Les *designs* des sites et services numériques sont développés à cette fin : **utilisation de couleurs vives, notifications permanentes, scroll infini², lancement automatique de vidéos avec le défilement d'une page ou sur les sites de streaming³...** Ces techniques, qui font l'objet d'une étude spécifique,

¹ Philipp Lorenz-Spreen, Bjarke Mørch Mønsted, Philipp Hövel & Sune Lehmann, « Accelerating dynamics of collective attention », *Nature*, 15 avril 2019.

² Avec le scroll infini, le contenu d'une page se charge au fur et à mesure que l'internaute fait défiler la page vers le bas. Le scroll infini supprime ainsi la pagination et propose l'ensemble du contenu sur une seule page.

³ Cette pratique concerne certaines plateformes de streaming paramétrées pour lancer automatiquement une vidéo – suggérée par la plateforme sur le fondement des goûts de l'utilisateur – à la fin du visionnage d'une autre vidéo. Elle peut aussi correspondre à la situation dans laquelle une vidéo – parfois publicitaire – est activée lorsqu'elle est survolée par la souris ou lorsqu'elle apparaît avec le défilement de la page.

la captologie, sont dénoncées par d'anciens collaborateurs des GAFAM¹, à l'instar de Tristan Harris, ancien ingénieur chez Google².

D'après la contribution envoyée à la mission d'information par le neurobiologiste Jean-Pol Tassin, ces techniques « *ne correspondent pas à proprement parler à des stratégies addictives* » ; elles mobilisent plutôt le « *fonctionnement analogique du système nerveux central* », **plaçant l'utilisateur dans une situation de confort lui évitant autant que possible de réaliser des efforts.** « *Évidemment, cette absence d'effort augmente la quantité de données échangées, ce qui ne peut que nuire à une limitation de la consommation énergétique et donc aux objectifs climatiques.* »

Pour des raisons éthiques et environnementales, la mission d'information estime qu'une plus grande transparence doit être faite quant aux stratégies cognitives utilisées par les plus grandes plateformes pour capter l'attention des consommateurs et ainsi accroître les usages. Cette obligation de *reporting* constitue le **préalable à la mise en place d'une « régulation de l'attention ».**

Proposition n° 19 : Prévoir une obligation de *reporting* des fournisseurs de contenus sur les stratégies cognitives utilisées pour accroître les usages.

2. Interdire certaines pratiques comme le lancement automatique des vidéos et le *scroll* infini

Certaines de ces stratégies – parmi lesquelles **le *scroll* infini et le lancement automatique des vidéos avec le défilement d'une page ou sur les sites de *streaming*** – devraient par ailleurs être **interdites.**

L'interdiction du lancement automatique des vidéos à fin publicitaire faciliterait de surcroît la connexion en allégeant considérablement le chargement, particulièrement pour les usagers ne disposant pas d'une connexion en très haut débit.

Des réflexions devront également être engagées pour mieux encadrer l'utilisation **d'écrans publicitaires lumineux dans l'espace public.** Ces panneaux vidéo connectés visent également à capter l'attention des passants et des automobilistes et sont très consommateurs en électricité.

Proposition n° 20 : Interdire certaines pratiques comme le lancement automatique des vidéos et le *scroll* infini.

¹ Google, Amazon, Microsoft, Facebook et Apple.

² Tristan Harris, « Beaucoup de ficelles invisibles dans la tech nous agitent comme des marionnettes », 31 mai 2018.

En résumé

La mission d'information juge nécessaire de faire émerger et de développer des usages du numérique écologiquement vertueux, afin de contrer les effets rebonds mis en évidence par les résultats de l'étude commandée. Depuis plusieurs années, les gains d'efficacité énergétique des réseaux et des *data centers* sont en effet **annulés** par l'accroissement continu des usages.

Pour ce faire, la mission appelle à définir les données comme une **ressource nécessitant une gestion durable**, à **réguler l'offre des forfaits téléphoniques**, par exemple par l'interdiction à titre préventif des forfaits mobiles avec un accès aux données illimitées, ou encore **améliorer l'écoconception** des sites et services numériques, qui pourrait être rendue obligatoire à moyen-terme pour les administrations et les grandes entreprises.

En outre, un **encadrement des usages vidéo** semble particulièrement nécessaire. Le *streaming* vidéo représente en effet 60 % du trafic Internet mondial et provoque un **important phénomène de « fuites carbone »** : 53 % des émissions de gaz à effet de serre dues à l'utilisation de *data centers*, ont ainsi été produites à l'étranger, notamment pour le visionnage de vidéos. Pour mieux réguler ces usages, la mission estime nécessaire de contraindre les grands fournisseurs de contenus à **adapter la qualité de la vidéo téléchargée** à la résolution maximale du terminal ou encore d'introduire d'une **taxe prélevée sur les plus gros émetteurs de données** afin d'inciter à une injection plus raisonnable de données sur le réseau.

La mission propose également de **bâtir une « régulation de l'attention »**, notamment en **interdisant** certaines pratiques comme **le lancement automatique des vidéos et le scroll infini**.

IV. ALLER VERS DES DATA CENTERS ET DES RÉSEAUX MOINS ÉNERGIVORES

A. EN AMÉLIORANT LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES DATA CENTERS, RESPONSABLES DE 14 % DE L'EMPREINTE CARBONE DU NUMÉRIQUE EN FRANCE

D'après les résultats de l'étude commandée par la mission d'information, les *data centers* représentaient en 2019 14 % de l'empreinte carbone du numérique en France.

Soutenue par l'accroissement considérable des usages, cette empreinte pourrait connaître d'ici 2040 une hausse de 86 %, plus importante même que celle du bilan carbone de l'ensemble du secteur numérique français (+ 60 %) sur

la même période. Des politiques publiques doivent dès à présent être mobilisées pour atténuer cette augmentation.

1. Inciter à l'installation de *data centers* en France et conditionner l'avantage fiscal existant à des critères de performance environnementale

Les **centres informatiques** – ou *data centers* – sont des lieux où sont effectués des services de stockage et de traitement de données pour des utilisateurs – consommateurs, entreprises ou administrations. Ils hébergent des serveurs – ordinateurs réalisant des traitements – ainsi que des baies – disques durs stockant les données –, et sont reliés aux utilisateurs par les réseaux fixes ou mobiles.

Un centre informatique peut opérer à des échelles réduites, comme celle d'une entreprise disposant de ses propres serveurs, ou au contraire à l'échelle internationale, essentiellement *via* les services des GAFAM, particulièrement sollicités pour le visionnage de vidéos en *streaming* (voir *supra*), le traitement des recherches Internet, ou encore pour le stockage de données sur le *cloud*.

On distingue trois grands types de *data centers* :

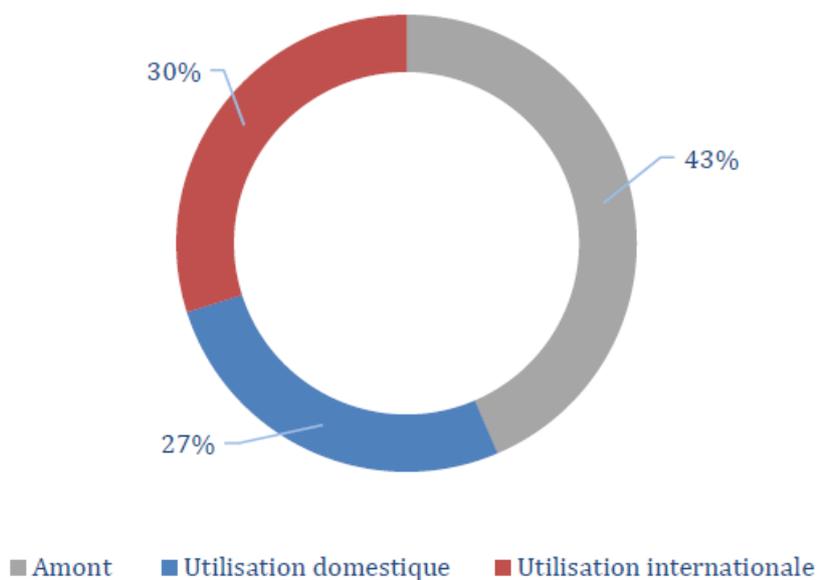
– les *data centers* « **classiques** » : ils correspondent à des centres informatiques de taille petite à grande qui hébergent des équipements appartenant à des entreprises, en mode privatif – les locaux appartiennent à alors à l'entreprise – ou en colocation – les locaux appartiennent alors à un hébergeur spécialisé. Ces centres sont principalement installés en France. Leur efficacité énergétique moyenne est évaluée par l'étude commandée par la mission d'information à 0,0669 térawatt-heure par exaoctet ou exabyte (TWh/EB).

– les *hyper data centers* : ils correspondent à des centres informatiques de très grande taille conçus pour réaliser des économies d'échelle. Bien qu'aucune définition standardisée n'en soit donnée, l'*hyper data center* correspond à un centre informatique dont la consommation électrique annuelle atteint quelques dizaines de GWh, voire une centaine de GWh. Les *hyper data centers* sollicités pour les usages français sont pour l'heure situés à l'étranger (États-Unis principalement, mais aussi Irlande ou Pays-Bas). Le développement de l'intelligence artificielle, le déploiement de l'Internet des objets (IoT) et l'explosion des besoins de connectivité devraient contribuer au dynamisme de ce segment du marché. **L'efficacité énergétique** de ces centres informatiques est estimée à 0,007 TWh/EB, soit **10 fois moins que les centres « classiques » installés sur le territoire national. L'intensité carbone de l'électricité** consommée par ces *data centers* étrangers (493gCO₂eq/kWh) est **en revanche près de 10 fois plus élevée que celle de l'électricité consommée par les centres français « classiques »** (57,1gCO₂/kWh).

– les *data centers* de type *edge computing* : aujourd'hui peu développés, ces centres informatiques se caractérisent par leur petite taille et leur plus forte proximité des utilisateurs, pouvant par exemple être installés sur des sites

industriels. Avec l'accélération de l'Internet des objets et de l'Internet industriel des objets (IoT et IIoT) facilitée par le développement de la 5G, le *edge computing* devrait se déployer plus massivement dans les années à venir. En raison de leur taille, la performance énergétique de ces centres informatiques se rapproche de celle des *data centers* « classiques ».

Les centres informatiques utilisés par des entreprises et individus résidant en France en 2019 ont consommé environ 33,5 TWh d'énergie primaire et émis 2,1 MtCO₂éq. Cela représente **14 % de l'empreinte carbone du numérique en France**. La construction représente 43 % du bilan carbone des *data centers*. **Malgré la plus grande efficacité énergétique des *hyper data centers*, les émissions associées à l'utilisation (57 %) sont légèrement plus élevées à l'étranger (30 %) qu'en France (27 %)**. Cela s'explique par la moindre carbonation de l'électricité domestique.



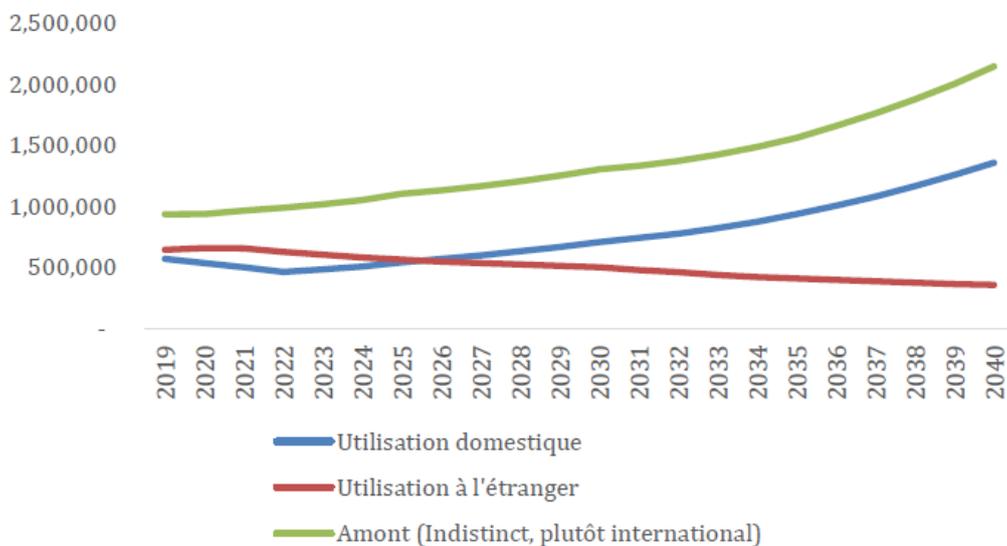
Émissions de GES des centres informatiques par phase et localisation en 2019 (tCO₂éq).

L'évolution de cette empreinte carbone dépendra de plusieurs facteurs aux effets opposés.

D'une part, **des *hyper data centers* devraient être prochainement mis en service en France**. Plusieurs raisons sont évoquées par l'étude commandée par la mission d'information pour expliquer cette tendance à la relocalisation : hausse exponentielle du trafic faisant peser un risque de saturation des réseaux à l'étranger, volonté d'héberger les services au plus proche des utilisateurs pour limiter la latence nécessaire au développement de nouveaux usages (comme le *cloud gaming*), attractivité de la France (faible prix de l'électricité, atouts climatiques facilitant le refroidissement des *data centers*...). **L'implantation en France d'*hyper***

data centers en remplacement de centres implantés à l'étranger permettra de réduire significativement l'empreinte carbone de ce segment de marché.

D'autre part, l'accroissement continu des usages devrait contribuer à une hausse considérable de l'utilisation des centres informatiques : d'ici 2040, « la demande de stockage et de calcul auprès de centres informatiques "classiques" devrait croître d'environ 21 % par an, et celle auprès d'hyper data centers de 35 % par an ». Le dynamisme de l'edge computing contribuera de surcroît à détériorer l'efficacité énergétique des centres informatiques. Enfin, d'après les estimations de l'étude précitée, les gains d'efficacité énergétique des *hyper data centers* et des centres « classiques » devraient également ralentir¹ après plusieurs années d'importants progrès². Ces tendances contribueront à accroître l'empreinte carbone des *data centers*.



Projection des émissions de gaz à effet de serre des centres informatiques pour un usage français selon la localisation (tCO2eq) : l'augmentation des émissions domestiques devrait être bien plus importante que la baisse des émissions étrangères.

Selon le scénario central de l'étude, **les effets négatifs pourraient l'emporter** : les émissions de gaz à effet de serre des centres informatiques passeraient ainsi de 2,1 millions de tCO2eq en 2019 à 2,2 millions de tonnes

¹ « Les gains d'efficacité énergétique des *hyper data centers* ralentissent progressivement pour passer de 20 % par an à 18 % par an à partir de 2026 du fait d'un ralentissement attendu de la loi de Moore. Les gains d'efficacité énergétique des *data centers* "classiques" sur le territoire national ralentissent progressivement pour passer de 17 % en 2019 à 12 % par an en 2040 » (étude sur l'empreinte carbone du numérique en France).

² La consommation électrique des centres informatiques n'a quasiment pas progressé dans le monde entre 2010 et 2018 (+ 6 %), malgré une hausse considérable des usages (multiplication par 6 des besoins de calcul et de 25 de la capacité de stockage) (Eric Masanet, Arman Shehabi, Nuoa Lei, Sarah Smith, Jonathan Koomey, Recalibrating global data center energy-use estimates, *Science*, 28 février 2020).

en 2025, et enfin 3,9 millions de tCO₂eq en 2040, soit une **hausse de 86 %, plus importante que celle de l’empreinte carbone du numérique (+ 60 %) sur la même période**. La mission d’information note néanmoins que le scénario bas, le plus optimiste, de l’étude fait apparaître une baisse nette importante des émissions des *data centers*, de près de - 50 % d’ici 2040. Selon les auteurs de l’étude, ce scénario est cependant « *peu plausible* » car il s’appuie sur une conjonction de trois hypothèses très favorables (la baisse rapide et forte de l’intensité carbone de l’électricité en France ; des gains d’efficacité énergétique qui ralentissent peu ; une hausse de la demande plus faible qu’anticipé). **L’hypothèse d’une hausse de l’empreinte carbone des *data centers* semble donc très probable.**

Pour atténuer ces impacts, des efforts sont à réaliser en amont, afin de développer des usages numériques plus vertueux et plus sobres (voir III). En outre, **au regard de la faible carbonation de l’électricité française, les politiques mises en œuvre pour faciliter l’implantation sur le territoire national de centres informatiques doivent être poursuivies**. En particulier, la loi de finances pour 2019¹ a instauré un tarif réduit de taxe intérieure de consommation finale d’électricité (TICFE) de 12 euros par MWh, contre 22,5 euros pour le tarif de base, pour les consommations des centres informatiques français supérieures à 1 GWh par an lorsque ces consommations sont égales ou supérieures à 1 KWh par euro de valeur ajoutée².

L’octroi de cet avantage fiscal pourrait être **conditionné à des critères de performance énergétique**, en fixant un niveau minimal d’efficacité énergétique. Pour stimuler l’installation de *data centers* performants sur le territoire français, **le soutien pourrait également être renforcé pour les centres les moins consommateurs.**

Proposition n° 21 : Favoriser l’installation de *data centers* en France en renforçant l’avantage fiscal existant et en le conditionnant à des critères de performance environnementale.

2. Renforcer la complémentarité entre *data centers* et énergies renouvelables

La complémentarité entre le développement des *data centers* et le déploiement des énergies renouvelables pourrait être renforcé dans le cadre de stratégies territoriales.

Les énergies renouvelables peuvent tout d’abord contribuer à réduire l’empreinte carbone des centres informatiques en leur fournissant directement une électricité non carbonée. Pour réduire l’impact énergétique

¹ Loi n° 2018-1317 du 28 décembre 2018 de finances pour 2019.

² Article 266 quinquies C du code des douanes.

des centres informatiques dans les territoires, un rapport de l'Ademe de 2019 préconise ainsi de « *développer les énergies renouvelables, les productions locales et les microréseaux interconnectés sur les sites de data centers, en lien avec le réseau traditionnel et les sites voisins* »¹.

Les centres informatiques pourraient en retour constituer un « *levier majeur de flexibilité locale* » permettant de **stocker l'électricité des installations d'énergies renouvelables intermittentes**. D'après la contribution adressée par le Gimélec (groupement des entreprises de la filière électronique française) à la mission d'information, « *un data center peut permettre d'augmenter la capacité d'accueil en énergies renouvelables localement et en optimiser leur consommation, parce qu'il est équipé de batteries et que la "charge IT" peut dans une certaine mesure se piloter ou se transférer sur un autre site* ». Selon le Gimélec, de telles solutions sont déjà développées dans plusieurs pays européens (au Royaume-Uni, en Norvège, en Suède ou encore en Irlande) et pourraient servir d'exemples à des initiatives locales en France.

Proposition n° 22 : Faire des data centers des leviers de flexibilité énergétique permettant de stocker l'électricité des installations d'énergies renouvelables intermittentes.

B. EN AMÉLIORANT PLUS ENCORE LA SOBRIÉTÉ DES RÉSEAUX, RESPONSABLES DE 5 % DE L'EMPREINTE CARBONE DU NUMÉRIQUE EN FRANCE

1. Atteindre les objectifs du plan France très haut débit pour améliorer la connectivité fibre, réseau le moins énergivore

En 2019, les réseaux ont consommé 11,1 TWh d'énergie primaire, phase amont et phase utilisation confondues, et émis environ 0,7 MtCO₂eq. Ils ne **représentent donc que 5 % de l'empreinte carbone du numérique en France**.

La part particulièrement faible des réseaux dans l'empreinte carbone du numérique en France (5 % contre 22 % à l'échelle mondiale selon le GreenIT.fr²) s'explique une nouvelle fois par le caractère peu carboné de l'électricité française. Cette variable joue un rôle encore plus important que pour les centres informatiques. En effet, à l'inverse des émissions des *data centers*, les **émissions des réseaux sont presque intégralement domestiques** : seulement 1,75 % des émissions des réseaux associés aux usages français proviennent de l'étranger, même si l'étude

¹ Cécile Diguët et Fanny Lopez, L'impact spatial et énergétique des *data centers* sur les territoires, Rapport Ademe, 2019.

² GreenIT.fr, Empreinte environnementale du numérique mondial, 2019.

commandée par la mission d'information reconnaît que ce chiffre est probablement sous-évalué¹.

Malgré la hausse rapide du volume de données échangées², la consommation d'électricité des réseaux en France est demeurée quasiment constante sur la période 2015 à 2019. Cette stabilité s'explique principalement par les **gains d'efficacité des réseaux, fixes et mobiles**. Pour ces derniers, les nouvelles générations, qui supplantent progressivement les anciennes, présentent une efficacité électrique nettement améliorée. L'étude commandée par la mission d'information évalue ainsi l'efficacité électrique de la 2G à 4,60 TWh/EB, contre 2,14 TWh/EB pour la 3G et 0,09 TWh/EB pour la 4G.

D'après le scénario central de l'étude, la consommation d'énergie primaire des réseaux en France pourrait passer de 11,1 TWh en 2019 à 13,3 TWh en 2025 et 19,4 TWh en 2040 (soit + 75 %). **Les émissions de gaz à effet de serre des réseaux augmenteraient plus lentement**, de 696 milliers de tCO₂eq en 2019, à 746 milliers de tCO₂eq en 2025 et 932 milliers de tCO₂eq en 2040 (+ 34 %). Selon ce scénario, s'appuyant sur une trajectoire médiane d'évolution de l'intensité carbone de l'électricité en France, **les gains d'efficacité énergétique ne permettraient pas de compenser l'augmentation importante du volume de données échangées**. La mission d'information note cependant que le scénario bas prévoit quant à lui une baisse de moitié de l'empreinte carbone des réseaux d'ici 2040. Considérant que cette évolution est peu plausible car s'appuyant sur une conjonction d'hypothèses optimistes, la hausse de l'empreinte carbone des réseaux semble aujourd'hui plus probable.

En ce qu'il doit permettre d'ici 2025 d'assurer la couverture intégrale de notre pays par la technologie réseau la moins énergivore - la fibre - **le plan France très haut débit constitue un premier outil à disposition des pouvoirs publics pour limiter la hausse probable de l'impact environnemental des réseaux dans les années à venir**.

La mission d'information n'ignore pas les risques d'effets rebonds associés à la migration vers une technologie plus sobre. En effet, le déploiement de la fibre permettant l'accès à une connexion très haut débit provoque inévitablement une augmentation des usages et des données transitant sur le réseau.

¹ « Cette part, très faible, est sûrement sous-évaluée : elle comporte seulement la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre liées à la part française de l'utilisation des câbles sous-marins, et omet ainsi l'équipement et la consommation des câbles souterrains, ainsi que l'équipement et la consommation nécessaires à l'acheminement des données depuis les centres informatiques jusqu'aux câbles sous-marins ».

² Le rythme de croissance est élevé puisque le trafic double tous les trois ans environ en France. Les réseaux fixes portent la majorité du trafic de données (près de 90 % du trafic), mais la croissance des données mobiles a été la plus rapide ces dernières années avec l'essor de la 4G.

La mission considère néanmoins qu'assurer une meilleure couverture du territoire en fibre, c'est limiter les risques de report sous-optimal des usages vers des technologies mobiles beaucoup plus énergivores, comme la 3G et ou la 4G, comme on a pu l'observer pendant la période de confinement dans les territoires mal desservis par la fibre.

Proposition n° 23 : Atteindre les objectifs du plan France très haut débit pour améliorer la connectivité fibre, réseau le moins énergivore.

2. Engager une réflexion pour réduire la consommation électrique des *box*

Les opérateurs doivent également engager des efforts pour **réduire la consommation énergétique des *box* installées chez leurs abonnés**. Un travail doit être mené par les opérateurs pour développer **des technologies de mise en veille automatique des *box***, qui pourraient facilement être généralisées à une échéance fixée par l'Arcep. La généralisation de ces technologies serait facilitée par le fait que les opérateurs sont propriétaires des *box* de leurs abonnés.

Les opérateurs et le régulateur doivent également engager des travaux tendant à **mutualiser ces équipements dans les habitats collectifs**.

Proposition n° 24 : Engager une généralisation des technologies de mise en veille des *box* Internet et une mutualisation de ces équipements dans les habitats collectifs.

3. Évaluer l'empreinte environnementale de la 5G

Alors que les enchères permettant de lancer le déploiement de la 5G devraient avoir lieu en septembre prochain¹, la mission d'information regrette qu'aucune évaluation de l'impact environnemental de cette nouvelle technologie mobile n'ait encore été mise à disposition du public et des parlementaires.

Devant la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable, le président de l'Ademe, Arnaud Leroy, a également « réclamé (...) une étude d'impact environnemental sérieuse sur le déploiement de la 5G », affirmant par ailleurs **n'avoir pas eu pour l'heure « la démonstration (...) de son impact positif sur la société »**².

¹ Les enchères 5G devaient à l'origine se dérouler en avril 2020. Du fait de la crise sanitaire, elles ont été reportées de quelques mois.

² Audition de M. Arnaud Leroy, président du conseil d'administration de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 5 février 2020. [Vidéo consultable ici](#).

Faute de pouvoir s'appuyer sur une véritable étude d'impact, la mission d'information a invité l'ensemble des parties à présenter leurs arguments lors des auditions et consultations menées depuis janvier.

Côté pile, les opérateurs mettent en avant les **gains d'efficacité énergétiques permis par la 5G**. Selon Orange, « pour acheminer 1 Go de donnée, la 5G utilisera 2 fois moins d'énergie que la 4G à son lancement, 10 fois moins d'énergie à horizon 2025, 20 fois moins d'énergie à horizon 2030 ». Ce sont notamment les antennes intelligentes « MIMO » qui amélioreront l'efficacité énergétique de la 5G : ces antennes permettront de focaliser le signal radio vers les utilisateurs sollicitant le réseau, plutôt qu'il ne soit émis dans toutes les directions de manière constante, comme cela est le cas pour les générations mobiles précédentes.

Côté face, la 5G permettra de multiplier le débit par 10 par rapport à la 4G. Il semble dès lors **probable que l'accroissement des usages annule, voire surpasse, les gains d'efficacité énergétique. L'existence d'un tel effet rebond est reconnue par Bouygues Telecom**, dont le PDG a même admis devant la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable, qu'« après la première année de déploiement, la consommation énergétique de tous les opérateurs affichera une augmentation importante »¹. Ces propos font écho à ceux du *Shift Project*, pour qui « la consommation d'énergie des opérateurs mobiles serait multipliée par 2,5 à 3 dans les 5 ans à venir » avec le déploiement de la 5G². Cette estimation, s'appuyant sur une étude mondiale de 2019³, ne procède cependant pas d'une véritable évaluation à l'échelle nationale.

L'impact de la 5G sur la consommation énergétique des réseaux devra donc être plus précisément évalué. Il ne faudrait cependant pas se focaliser sur cet unique aspect du sujet. La mission d'information rappelle tout d'abord que la faible carbonation de l'électricité française atténuera de fait l'empreinte carbone des réseaux, même en cas de forte hausse de la consommation énergétique des opérateurs. Elle note surtout **qu'une part importante des émissions induites par la 5G pourrait en réalité être produite en dehors des réseaux !**

¹ « La 5G permet, lorsque l'on transporte des données, de le faire avec moins d'énergie. En revanche, elle augmente considérablement les débits et permet donc un usage beaucoup plus important, donc de transporter davantage de données, ce qui est beaucoup plus consommateur. Il est donc erroné d'affirmer que la 5G permettra des efforts en matière d'énergie. Après la première année de déploiement, la consommation énergétique de tous les opérateurs affichera une augmentation importante » (Olivier Roussat, président-directeur général de Bouygues Télécom, audition du 10 juin 2020). [Vidéo consultable ici](#).

² *Le Monde*, Hugues Ferreboeuf et Jean-Marc Jancovici, « La 5G est-elle vraiment utile ? », 9 janvier 2020.

³ *MWC19: Vertiv and 451 Research Survey Reveals More Than 90 Percent of Operators Fear Increasing Energy Costs for 5G and Edge*, 27 février 2019 : « (...) the move to 5G is likely to increase total network energy consumption by 150 to 170 per cent by 2026. The largest cost increases will be in macro, node and network data centres ».

En effet, à court terme, l'accès à la 5G impliquera pour les consommateurs un **renouvellement de leur smartphone**. Il n'est pas certain que la durée de vie de ces téléphones – déjà très faible (23 mois) – en soit pour autant réduite. **Il est certain, en revanche, que la 5G limitera – au moins lors des premières années de son déploiement – l'effet des politiques tendant à limiter l'obsolescence programmée ou désirée des smartphones.**

Par ailleurs, la hausse de l'empreinte carbone du numérique à l'horizon 2040 sera largement tirée par **l'accroissement de l'Internet des objets et par la tendance à l'installation de centres informatiques de petite taille (edge computing)**. Or, il est évident que ces tendances seront – au moins pour partie – sous-tendues par le déploiement de la 5G.

La mission d'information ne peut que déplorer que ces différents éléments soient encore moins documentés et évalués que l'impact de la 5G sur la consommation des réseaux.

Il est donc indispensable que la 5G fasse enfin l'objet d'une étude d'impact complète, intégrant les effets de la technologie sur les consommations énergétiques des opérateurs, les effets induits sur la fabrication et sur le renouvellement des terminaux, ainsi que les impacts sur les consommations des data centers. Par un courrier daté du 10 mars 2020, le président du Sénat a demandé au Haut Conseil pour le climat de procéder à cette évaluation, sur le fondement de l'article L. 132-5 du code de l'environnement¹.

En tout état de cause, le déploiement de la 5G impose d'engager une réflexion sur **l'extinction des anciennes générations mobiles** toujours consommatrices d'électricité, comme le rappelle une récente note de l'Arcep². Ce sujet devra constituer un des axes du travail engagé par l'autorité concernant l'empreinte environnementale du numérique.

Proposition n° 25 : Évaluer l'impact environnemental de la 5G et engager une réflexion sur l'extinction des anciennes générations mobiles toujours consommatrices d'électricité.

¹ L'article L. 132-5 du code de l'environnement permet au Gouvernement, au Président de l'Assemblée nationale, au Président du Sénat ou au président du Conseil économique, social et environnemental de saisir le Haut Conseil pour le climat pour avis « au regard de sa compétence, sur un projet de loi, une proposition de loi ou une question relative à son domaine d'expertise ». Cette saisine s'inscrit dans l'objectif d'évaluation des politiques publiques au regard des enjeux liés au réchauffement climatique et au respect des objectifs de l'accord de Paris.

² Arcep, Réseaux du futur, L'empreinte carbone du numérique, 2019.

En résumé

Enfin, la feuille route de la mission d'information appelle à **améliorer la performance énergétique et la sobriété des *data centers* (centres informatiques) et des réseaux.**

Si les **centres informatiques** ne sont aujourd'hui responsables que de **14 % de l'empreinte carbone du numérique en France**, leurs émissions pourraient **croître de 86 % d'ici 2040**, en raison de l'accroissement continu des usages, du dynamisme du *edge computing* stimulé par le développement de l'IoT, et du ralentissement des gains d'efficacité énergétique.

Pour atténuer la hausse prévisible des émissions des *data centers*, la mission d'information recommande de **favoriser l'installation de *data centers* en France** – qui dispose d'un mix énergétique peu carboné – en renforçant l'avantage fiscal existant et en le conditionnant à des critères de performance environnementale et de faire des *data centers* des **leviers de flexibilité énergétique** permettant de stocker l'électricité des installations d'énergies renouvelables intermittentes.

Pour **améliorer plus encore la sobriété des réseaux**, la mission rappelle enfin la nécessaire d'atteindre les **objectifs du plan France très haut débit** pour améliorer la connectivité fibre, réseau le moins énergivore. Elle propose par ailleurs d'engager une généralisation des technologies de **mise en veille des *box* Internet** et une **mutualisation** de ces équipements dans les habitats collectifs, et d'engager une réflexion sur l'extinction des anciennes générations mobiles toujours consommatrices d'électricité.

Enfin, alors que les enchères permettant de lancer le déploiement de la 5G devraient avoir lieu en septembre, la mission d'information **regrette qu'aucune évaluation de l'impact environnemental** de cette nouvelle technologie mobile n'ait encore été mise à disposition du public et des parlementaires. À l'instar du président de l'Ademe, qui avait déclaré, lors de son audition devant la commission le 5 février 2020, réclamer « *une étude d'impact environnemental sérieuse sur le déploiement de la 5G* »¹, **la mission demande donc que la 5G fasse enfin l'objet d'une étude d'impact complète, intégrant les effets de la technologie sur les consommations énergétiques des opérateurs, mais aussi les effets induits sur la fabrication et sur le renouvellement des terminaux, ainsi que les impacts sur les consommations des *data centers*.**

¹ <http://www.senat.fr/compte-rendu-commissions/20200203/devdur.html>

TRAVAUX EN COMMISSION

I. TABLE RONDE RELATIVE À L'EMPREINTE CARBONE DU NUMÉRIQUE - MERCREDI 29 JANVIER 2020

M. Hervé Maurey, président. – Nous lançons aujourd’hui avec cette table ronde les travaux de la mission d’information relative à l’empreinte carbone du numérique que nous venons de créer. Notre commission a en effet souhaité se donner le temps d’analyser et d’approfondir ce sujet important, qui n’a pas encore fait l’objet de travaux parlementaires et qui donne lieu à une prise de conscience progressive.

Le développement du numérique a en effet un impact environnemental. Il est responsable d’émissions de gaz à effet de serre. Il est important de mesurer l’ampleur de cet impact, de savoir s’il est contrebalancé par les effets positifs du numérique. Et si oui, dans quelles proportions ? Cette empreinte est-elle en outre prise en compte dans les scénarios d’évolution du secteur ?

Toutes ces questions rendent indispensables un état des lieux de cet impact en France et la formulation de pistes d’actions permettant de faire converger les transitions numérique et écologique. La mission d’information, sous la présidence de notre collègue Patrick Chaize, va mener des auditions et effectuer des déplacements en France. Je rappelle que nous avons aussi décidé de commander une étude permettant de disposer de données actualisées au niveau national sur l’empreinte carbone du numérique.

Nous avons le plaisir de recevoir aujourd’hui deux experts des questions du numérique, MM. Hugues Ferreboeuf et Frédéric Bordage, que je remercie d’avoir accepté notre invitation.

Monsieur Ferreboeuf, vous êtes ingénieur des mines et diplômé de Télécom Paris Tech. Vous avez notamment travaillé pour le groupe France Télécom Orange, et vous avez mené de nombreuses activités de consultant et d’entrepreneur avant de vous spécialiser dans le management des transitions, notamment écologique et numérique. Vous dirigez à ce titre les travaux du think tank *The Shift Project* sur l’impact environnemental du numérique. Depuis 2017, vous travaillez en effet à proposer des cadres méthodologiques opérationnels pour mettre en place la sobriété numérique. Vous avez d’ores et déjà publié trois rapports dans ce cadre : *Lean ICT – pour une sobriété numérique* en 2018, *Climat : l’insoutenable impact de la vidéo en ligne* en 2019, ainsi qu’un rapport intermédiaire visant à proposer des pistes d’action. Vous nous exposerez le bilan que vous tirez de ces premiers travaux.

Monsieur Bordage, vous êtes également un spécialiste du numérique « responsable » et vous avez fondé, en 2004, Green.IT.fr, qui se définit

comme une communauté des acteurs du numérique responsable et qui s'intéresse aux questions de sobriété numérique, d'écoconception des services numériques et de *low-tech*. Vous avez d'ailleurs publié en septembre 2019 un essai intitulé *Sobriété numérique : les clés pour agir*.

Alors que pendant longtemps, le numérique n'a été vu que comme un moyen d'accélérer la transition écologique, un outil pour réduire nos consommations d'énergie, la multiplication des usages, l'accumulation des terminaux ou encore le développement de l'internet des objets conduisent aujourd'hui à nous interroger sur la soutenabilité du développement du numérique au regard des enjeux liés au réchauffement climatique.

Les premiers chiffres mondiaux dont nous disposons indiquent que le numérique a été responsable de 3,8 % des émissions totales de gaz à effet de serre en 2018 et de 4,2 % de la consommation d'énergie primaire ; 44 % de cette empreinte carbone serait due à la fabrication des terminaux et 56 % à leur utilisation. Cette part devrait par ailleurs doubler pour atteindre 8 % en 2025. Qu'en est-il en France ?

Nous sommes conscients qu'il convient d'éviter un écueil important : notre approche ne doit être ni « techno-béate » ni « technophobe ». C'est l'un des enjeux de notre table ronde.

Je vous laisse la parole pour nous exposer en quelques minutes le constat que vous avez été amené à dresser sur ce sujet, ainsi que les pistes d'action que vous préconisez pour nos politiques publiques.

M. Hugues Ferreboeuf, directeur du groupe de travail « Lean ICT » au *Shift Project*. - La première phase de nos travaux visait à dresser un constat. La deuxième phase, qui devrait se terminer à l'été, a pour objet d'explorer des solutions. La consommation d'énergie due au numérique est en augmentation de 9 % par an. Si nous continuons à ce rythme, elle sera trois fois plus importante en 2025 qu'elle ne l'était en 2005. C'est l'inverse de ce qu'il faut faire pour tenir nos objectifs climatiques.

Une grande partie de la consommation d'énergie est due à la production des équipements : c'est une des faces cachées du numérique. Le numérique émet aujourd'hui 50 % de gaz à effet de serre de plus que le trafic aérien. Si rien n'est fait pour inverser la tendance, ses émissions seront en 2025 au même niveau que celles de l'automobile aujourd'hui.

La production des équipements numériques est responsable de 40 % de l'empreinte carbone du numérique. Si l'on additionne les émissions liées à la production et à l'utilisation, les terminaux sont responsables de 60 % de l'empreinte carbone totale. Plus un terminal est petit, et plus l'empreinte due à sa production est importante.

En 2010, on produisait environ 1 milliard d'équipements numériques par an ; on en produit aujourd'hui 4 milliards, et si cette tendance se poursuit, nous en produirons 10 milliards en 2030. On estime qu'il y aura au

moins 45 à 50 milliards d'équipements numériques en 2030. Chaque Américain possède en moyenne 13 équipements numériques ; dans dix ans, ce chiffre sera de 35.

L'ensemble des données stockées dans les *data centers* augmente de 36 % par an, 40 % de cette progression étant liée aux *big datas*. Sur les réseaux sociaux, 80 % de l'augmentation du trafic est due aux applications vidéo, principalement de loisir.

Depuis quelques années, la croissance des volumes est largement supérieure aux gains d'efficacité énergétique réalisés dans ce secteur. Dans les prochaines années, nous allons faire face à une accélération de la consommation d'énergie due au numérique. Notre constat est que la seule manière de renouer avec une trajectoire soutenable est de revenir à plus de sobriété, afin de retrouver, par exemple, une croissance de trafic de l'ordre de 15 % par an, au lieu de 25 % par an.

M. Frédéric Bordage, fondateur et animateur de *Green IT.fr*. – Mes propos sont tirés d'une étude que nous avons publiée en octobre 2019 sur l'empreinte environnementale du numérique mondial et d'un livre blanc que nous avons remis au Gouvernement en mars 2018.

On compte environ 34 milliards d'équipements numériques dans le monde, et en France, environ 34 équipements par ménage. L'empreinte environnementale du numérique mondial représente environ trois fois celle d'un pays comme la France. On estime que les impacts auront doublé, voire triplé entre 2010 et 2025.

Les terminaux sont la principale source d'impact. En effet, 32 des 34 milliards d'équipements du parc numérique mondial sont des terminaux d'utilisateurs. Les ordinateurs étaient la première source d'impact avant 2015, mais la tendance s'est inversée. On a désormais plus de *smartphones* que d'utilisateurs. Les utilisateurs sont responsables de deux tiers à trois quarts des impacts.

Le plus problématique est l'extraction des minerais et leur transformation en composants électroniques. Si la consommation des principaux minerais qui nous permettent de fabriquer les objets du monde moderne – les éoliennes, les panneaux photovoltaïques, les véhicules électriques et les équipements numériques – se poursuit au même rythme, dans trente ans, nous aurons épuisé les ressources. Il nous faut prendre conscience que le numérique est une ressource non renouvelable. Nous sommes tous des drogués du numérique, et même si nous décidions de nous sevrer, nous n'arriverions pas à le faire en trente ans. Que se passera-t-il quand nous n'aurons plus assez de ressources numériques pour gérer la cité ? Nous sommes en train de gâcher les ressources pour des usages de loisir. Nous devons ouvrir un vrai débat de société sur l'usage que nous choisissons de faire des dernières réserves numériques. La sobriété repose sur une prise de conscience du niveau critique de ces ressources.

La première de nos recommandations est la réduction du nombre d'objets connectés, dont la multiplication explique l'augmentation du nombre d'équipements. Comment les mutualiser ? Est-il bien raisonnable, dans un immeuble collectif, que chaque appartement dispose d'une box ADSL et d'un boîtier TV ? Un autre enjeu majeur est de réduire le nombre et la taille des écrans. Il nous faut aussi augmenter la durée de vie des équipements, par exemple en allongeant la durée de garantie légale. Enfin, nous devons encourager l'écoconception des services numériques. Les services quotidiens peuvent être conçus de manière à utiliser de 200 à 1 000 fois moins de ressources informatiques. La France a pris de l'avance en la matière.

L'intelligence artificielle de Google détecte mieux les cancers que les oncologues. En France, de brillants chercheurs de l'Institut Curie ont entraîné deux chiens qui détectent plus précocement des formes plus nombreuses de cancer que ne le fait l'intelligence artificielle de Google. Nous pensons que la sobriété numérique doit reposer sur l'assemblage intelligent de toutes les solutions qui sont à notre disposition. Il ne faut pas jeter le numérique mais l'utiliser à bon escient.

M. Patrick Chaize, président de la mission d'information. – Je vous remercie pour vos présentations. Pourriez-vous également nous présenter les aspects positifs du numérique ? J'ai bien entendu vos constats sur l'impact environnemental du numérique, mais je suis convaincu que le numérique apporte aussi des solutions. Selon vous, les gains environnementaux nets des politiques de numérisation doivent-ils désormais être systématiquement et préalablement évalués ? Dans l'étude du *Shift Project* sur l'impact de la vidéo, vous esquissez deux pistes de régulation : par les vecteurs ou par le contenu. Pourriez-vous nous en dire plus ? Faut-il, selon vous, envisager l'extension des pouvoirs du régulateur aux terminaux, comme le préconise l'Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse (Arcep) ?

M. Jean-Michel Houllégatte, rapporteur. – Je remercie les deux intervenants. Il ne s'agit pas faire le procès du numérique dont nous avons tous fait la promotion. Comment mobiliser les milliards d'utilisateurs autour de la sobriété en valorisant les comportements vertueux ? Quels seraient les impacts du déploiement de la 5G sur le bilan carbone du numérique ?

M. Guillaume Chevrollier, rapporteur. – Les réseaux sociaux et les sites de *streaming* vidéo représentent la majeure partie des données consommées dans le monde et jouent à ce titre un rôle important dans la croissance de l'impact environnemental du numérique. Or le développement de ces usages s'est largement appuyé sur des procédés mis en place pour orienter les comportements vers la consommation tels que *l'autoplay*, les mécanismes de recommandation sur Youtube ou Netflix, ou les mécanismes de notification sur *Facebook*. Certains psychologues et neuroscientifiques

parlent même de stratégies de manipulation du consommateur fondées sur l'addiction. Selon vous, les pouvoirs publics doivent-ils limiter l'emprise addictive de ces contenus pour concilier numérique et environnement ? Le cas échéant, comment peut-on réguler ces contenus ?

Pouvez-vous nous indiquer la part des données traitées et stockées en dehors du territoire national ? Selon vous, la relocalisation des données en Europe ou en France présente-t-elle un intérêt environnemental ? Le cas échéant, quels pourraient être les leviers pour favoriser cette « relocalisation » ?

M. Frédéric Bordage. - Il est tout à fait souhaitable que les gains des politiques de numérisation soient systématiquement évalués. L'une des préconisations de notre livre blanc portait d'ailleurs sur la formation des étudiants des écoles d'ingénieurs aux méthodes d'évaluation des impacts positifs comme négatifs des politiques de numérisation.

M. Hervé Maurey, président. - Les préconisations de votre livre blanc ont-elles été suivies ?

M. Frédéric Bordage. - Certaines l'ont été, mais pas toutes. En l'occurrence, celle que je viens d'évoquer n'a pas été suivie. Le principal enjeu est d'avoir une information de qualité afin de hiérarchiser les solutions.

M. Hugues Ferreboeuf. - La difficulté est que le fonctionnement du numérique est aujourd'hui systémique, si bien qu'il est impossible de changer son comportement tout seul. Les entreprises font leur transition numérique et vont continuer. Il serait donc souhaitable que la prise en compte des impacts environnementaux du numérique soit intégrée dans leurs stratégies, ce qui suppose que l'ensemble des acteurs soient convaincus de la nécessité d'une telle approche et que les outils intègrent cette préoccupation.

Les collectivités territoriales se voient proposer des services visant à « *smartiser* » leurs territoires. Il faut créer les conditions pour que la question de l'impact environnemental de telles technologies soit posée en amont.

La mise en place d'un outil de *smart mobility* permet par exemple de fluidifier le trafic, et donc de diminuer la consommation d'essence des véhicules. Mais gare à « l'effet rebond » ! La circulation étant plus fluide, le trafic augmente, si bien que la circulation redevient difficile et que la consommation d'essence augmente. Pour éviter un tel effet rebond, il faut accompagner une telle initiative d'une mesure de limitation des voitures dans la ville.

M. Éric Gold. - Quel peut être le rôle des collectivités territoriales dans cette quête de sobriété ? Comment les collectivités peuvent-elles concilier une telle quête avec la poursuite du développement du numérique

sur leur territoire, souvent nécessaire à leur survie à l'heure où la plupart des services sont désormais numériques ?

M. Jean-Marc Boyer. - Pourriez-vous préciser ce que vous entendez par équipements numériques ? Quelle est la part des ressources utilisées dans les différentes sources d'énergie renouvelable ? Vous parlez de sobriété, mais la société ne prend pas du tout cette direction. *Quid* de la voiture électrique ? Est-il préférable de revenir à la deux-chevaux ?

M. Frédéric Marchand. - J'ai beaucoup apprécié le rapport du *Shift Project* sur l'usage de la vidéo en ligne. Pourriez-vous développer les pistes que vous évoquez dans ce rapport, notamment l'autorégulation et l'organisation d'un grand débat public ? Sur quelles données votre application « *Carbonalyser* » s'appuie-t-elle ?

M. Hervé Gillé. - L'angle de la santé me semble primordial pour aborder la question de la sobriété. C'est un sujet qu'il faut porter auprès de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Quelles sont les actions menées pour mettre en place une politique de prévention au niveau mondial ?

M. Guillaume Gontard. - Certains équipements deviennent obsolètes car ils ne sont plus compatibles avec les nouveaux logiciels. Lors de la discussion du projet de loi relatif à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire, le Sénat avait adopté un amendement tendant à imposer une durée d'exploitation des logiciels d'au moins dix ans, mais il a été supprimé en commission mixte paritaire. Il me semble toutefois qu'il faudrait activer ce levier.

Plusieurs experts nous ont dit que la 4G était suffisante pour nos usages courants, et que la 5G serait surtout utile pour certaines applications de médecine à distance ou pour visionner des vidéos dans le TGV. Existe-t-il une évaluation des impacts de l'empreinte carbone de la 5G ?

M. Louis-Jean de Nicolaÿ. - Les fabricants d'équipements numériques ont-ils pris conscience du problème ? Quelle serait l'instance internationale compétente pour favoriser cette prise de conscience ? Ce sont les constructeurs automobiles qui ont permis la diminution de la consommation de voitures...

M. Frédéric Bordage. - Pour motiver les utilisateurs, il faut faire passer le message que l'allongement de la durée de vie des équipements est une bonne chose pour leur porte-monnaie et pour la planète.

De nombreuses questions portent sur les usages, mais je rappelle que la plus grande partie de l'empreinte est due à la fabrication des équipements. Il ne faut pas se focaliser sur les usages. Le centre de gravité du débat doit être la baisse du nombre d'équipements produits.

S'agissant des logiciels, il existe des méthodes simples pour allonger la durée de vie des terminaux, comme la dissociation systématique des mises à jour correctives et des mises à jour évolutives. De ce point de vue, le projet

de loi relatif à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire aurait pu aller beaucoup plus loin.

La relocalisation des *data centers* en France permettrait une réduction des gaz à effet de serre mais aurait un impact sur l'eau. De manière générale, il ne faut pas évaluer l'empreinte du numérique au travers d'un seul indicateur environnemental. Si une diminution des émissions de gaz à effet de serre entraîne l'augmentation des autres indicateurs, il s'agit d'un transfert de pollution et non d'un gain. La relocalisation des *data centers* en France est d'abord un enjeu de respect de la vie privée et de souveraineté des données.

Nous n'avons pas besoin de la 5G, sauf pour nos usages de loisir. Un service numérique écoconçu peut fonctionner avec la 3G, *a fortiori* avec la 4G. La *Deutsche Bahn* a démontré qu'il était possible de diviser par 1 350 la quantité de ressources informatiques nécessaires pour trouver l'horaire d'un train. Nous sommes donc parfaitement capables de dépasser le facteur 4.

M. Hugues Ferreboeuf. – La priorité est de provoquer une prise de conscience. Les sujets que nous avons abordés ce matin sont en général méconnus. Le public ne sait pas qu'un *smartphone* de 130 grammes a une empreinte carbone de 80 kilogrammes. Il faut d'abord agir sur nos croyances, car un certain nombre d'entre elles sont fausses. Il faut ensuite que nos valeurs nous poussent à aller dans la bonne direction. C'est pourquoi j'insiste sur la nécessité de communication, par exemple par le biais de campagnes d'information publiques.

Il ne faut pas être naïf : le *business model* de certains fabricants de terminaux repose sur l'accroissement des volumes. En revanche, une taxe carbone aux frontières sur ces équipements pourrait avoir du sens.

Nous avons signalé l'existence de techniques qui ont pour but de provoquer l'addiction. Il faudrait les interdire, de même qu'il faudrait interdire l'*autoplay*.

La consommation numérique ne repose pas exclusivement sur les services proposés par *Google, Apple, Facebook* et *Amazon* (les Gafa), mais aussi sur une grande quantité de services proposés par des acteurs qui au départ n'étaient pas des fournisseurs numériques. C'est pourquoi il est nécessaire de faire entrer l'impact environnemental dans la définition des stratégies numériques des entreprises.

Le numérique est un moyen de désenclaver un certain nombre de territoires. Il est urgent de résorber les zones blanches, voire les zones grises en y déployant la 4G. Faut-il pour autant déployer la 5G partout ? À échéance de quatre ou cinq ans, la 5G ne permettra pas d'inventer des applications dont nous ne disposons pas aujourd'hui avec la 4G. Elle permettra d'utiliser les mêmes applications de manière plus performante et d'accéder à des contenus plus riches, mais ce n'est pas forcément de cela dont nous avons besoin prioritairement. Les équipements 5G consomment

plus que les équipements 4G, et bien que l'efficacité énergétique des équipements 5G soit meilleure, leur déploiement aboutira à un doublement de la consommation d'énergie.

M. Claude Bérit-Débat. – Merci pour ces éléments d'information qui nous permettent de remettre en perspective certaines décisions des collectivités territoriales sur la 5G, le télétravail, etc. Vous avez répondu sur les usages, je voudrais évoquer la fabrication. Peut-on recycler les matériaux rares et les minéraux précieux contenus dans les téléphones, les ordinateurs ou les tablettes grâce à l'économie circulaire ? Cela pourra-t-il suffire à couvrir les besoins ? Même si on réduit les usages, on aura toujours besoin d'ordinateurs. Comment éviter aussi l'obsolescence due à la remise à jour des logiciels ? La meilleure façon de prolonger la durée de vie serait de prolonger les garanties, mais cela reste encore hypothétique.

M. Jordi Ginesta. – Les éoliennes et les centrales photovoltaïques supposent pour leur fabrication des minerais rares, en voie d'épuisement, et ont une empreinte carbone élevée. N'est-ce pas une erreur de vouloir démanteler les centrales nucléaires qui n'ont pas d'empreinte carbone ?

M. Jean-François Longeot. – La mission d'information, que je présidais et dont la rapporteure était Mme Marie-Christine Blandin, avait publié un rapport intitulé *100 millions de téléphones portables usagés : l'urgence d'une stratégie*. Il n'est peut-être pas indispensable que les systèmes d'exploitation soient remis à jour aussi régulièrement. Les opérateurs communiquent volontiers pour vendre toujours plus de téléphones, mais peu sur le recyclage ; or, je rappelle que 50 000 téléphones portables contiennent un kilogramme d'or. Ce n'est pas négligeable ! Comment convaincre les opérateurs de sa nécessité ? L'obsolescence programmée est un vrai problème. Nous avons proposé d'étendre la garantie à cinq ans au moins pour inciter les consommateurs à conserver leur téléphone et à rendre leurs appareils usagés pour faciliter leur recyclage.

Mme Angèle Prévile. – Nous sommes confrontés aux défis du développement rapide du numérique et des usages, en ayant en tête l'exigence de sobriété. Quels sont les appareils qui se recyclent mieux ? Quel est le taux de recyclage ?

Les vidéos sont très consommatrices en énergie. Faut-il réglementer ? Les films publicitaires se multiplient, car ils sont rémunérateurs pour les opérateurs et les consommateurs sont captifs. Quelles sont les parts des films publicitaires et des films de création ?

Avec le numérique, de nouveaux usages apparaissent et se développent. Les copies d'examen seront ainsi numérisées. Ces décisions sont prises sans évaluation. Quel sera leur impact ? Enfin, les jeux vidéo en *streaming* sur des plateformes se développent et sont très consommateurs d'énergie. Comment éviter cette inflation de consommation ?

M. Joël Bigot. – La fabrication des *smartphones* consomme beaucoup d'énergie. Cela renvoie au projet de loi relatif à la lutte contre le gaspillage et à l'*économie circulaire*, qui introduit les indices de réparabilité et de durabilité des produits. Il faut allonger la durée de vie des produits. Dès la conception, il faut faire en sorte qu'il puisse être utilisé très longtemps car la ressource n'est pas inépuisable. Notre société consomme de plus en plus de services numériques, comme la télémédecine par exemple. Ces derniers deviennent indispensables.

À l'approche des élections municipales, je ne peux pas ne pas vous interroger sur les *smart cities*, projets mis en avant par beaucoup de candidats ou d'élus. Cette notion renvoie à une idée de compétence, d'intelligence et est adossée à certains outils numériques. Qu'en pensez-vous ? Enfin, quel est le bilan carbone de la fibre optique ?

Mme Martine Filleul. – Je tiens à vous remercier pour votre travail. Vous mettez l'accent sur la responsabilité individuelle. Tout, en effet, ne peut être fait par l'État ou les grands groupes. Chacun est responsable et vous proposez des gestes simples qui permettraient de réduire nos émissions de carbone.

Mme Nelly Tocqueville. – Les gestes individuels, même s'ils sont indispensables, ne sont pas suffisants. L'éducation à la sobriété est cruciale. Lorsque l'on parle d'éducation, on pense immédiatement à l'école : on apprend déjà aux enfants à trier les déchets, à limiter le gaspillage alimentaire. Comment leur faire prendre conscience des dangers du numérique et des risques pour la société ? Avez-vous fait des propositions au ministre ?

M. Frédéric Bordage. – On collecte très peu nos déchets : en 2017, nous avons collecté seulement 45,1 % de nos déchets liés à nos équipements électriques et électroniques. La France fait pourtant partie des pays les plus en pointe au niveau international... On recycle peu, mais aussi très mal. Pour récupérer l'or d'un micro-processeur, il faut utiliser de l'acide chlorhydrique et du cyanure, recourir à des électrolyses et à des opérations dans des hauts-fourneaux ! Les procédés sont lourds et ne sont pas très bons pour l'environnement non plus. Le recyclage n'est donc pas une solution. En France, on est organisé pour traiter les déchets, en aval, pas pour prévenir leur constitution, en amont. Plus que le recyclage, il conviendrait de privilégier le réemploi, s'assurer que les équipements auront une seconde vie avant d'être recyclés.

Les opérateurs promettent des *smartphones* à un euro ou à un prix promotionnel en échange d'un engagement de 24 mois. Cela explique pourquoi la durée de vie moyenne d'un téléphone est de 24 mois. Si les offres étaient conditionnées à un réengagement pour trois ans, la durée de vie des appareils passerait à trois ans ! Nous proposons d'interdire ce genre de modèle économique délétère pour l'environnement, car le consommateur

a l'impression de payer son téléphone à son juste coût par son abonnement, ou alors d'imposer la prise en compte du coût total de possession ou l'affichage du prix de revient global du dispositif.

Nous sommes aussi favorables à la consigne obligatoire, car nous disposons d'un formidable gisement d'équipements qui peuvent être remis en état et reconditionnés pour être réemployés. Encore faut-il les collecter, créer des filières de collecte ! Pourquoi ne pas mettre en place une incitation financière, sous la forme d'un surcoût qui freinerait les achats compulsifs, tout en encourageant à rapporter un équipement lorsqu'il fonctionne encore pour récupérer la valeur de la consigne et permettre, en même temps, son réemploi ? Cela serait bon pour l'économie et l'environnement.

La dématérialisation n'est qu'un transfert d'un support papier vers un support numérique. C'est donc un transfert de pollution ! Faut-il aussi généraliser le numérique lorsque les études montrent que l'on apprend mieux à penser en apprenant à lire et écrire avec un stylo et du papier ? Il importe de prendre en compte aussi les enjeux sanitaires et éducatifs.

Sur les jeux vidéo, j'ai réalisé la seule étude au niveau mondial sur l'analyse du cycle de vie en analyse comparative multi-critères selon le standard international ISO 14044. Le développement du *streaming* de jeux sur plateformes aura un impact délétère à cause de « l'effet rebond », car ceux qui ne jouaient pas avant vont pouvoir jouer, et l'impact du jeu va s'accroître.

Les *smart cities* sont des illusions ! Comment allons-nous fabriquer les équipements numériques nécessaires, les éoliennes, les panneaux photovoltaïques, les écrans, les capteurs, etc., avec les stocks de minerais dont on dispose ? Le décalage est ahurissant entre les réserves en minerais et les promesses d'un monde hyper-intelligent, hyper-connecté, hyper-numérisé.

La fibre est une très bonne solution car les photons consomment très peu d'énergie et n'émettent pas de rayonnement électro-magnétique.

Enfin, j'ai proposé aussi dans notre livre blanc *Numérique et Environnement*, il y a deux ans, de développer l'éducation et la formation au numérique à l'école, de fournir des kits d'information aux enseignants, élaborés sur des bases indépendantes et impartiales. Malheureusement, le seul ministère avec lequel on n'arrive pas à discuter est le ministère de l'éducation nationale. On risque de transformer les *digital natives*, la génération des enfants actuellement à l'école, en analphabètes du numérique responsable ! Je regrette que le ministère ne réponde pas à ces propositions.

M. Hugues Ferreboeuf. – La dématérialisation est une illusion. Quand on passe du papier au numérique, on ne dématérialise pas, on matérialise différemment. Parfois c'est pertinent, parfois cela ne l'est pas. L'analyse n'est donc pas manichéenne. De même, la fibre optique n'est pas la

même chose que la couverture radio, l'une est plus vertueuse que l'autre, même si elle semble moins séduisante.

Il est donc fondamental de diffuser l'information en la matière pour mettre à plat les questions et désamorcer les croyances. Dès lors, on pourra utiliser le levier de la responsabilité individuelle. Si on ne peut pas, apparemment, compter sur l'Éducation nationale pour ralentir l'usage des écrans, on peut sans doute s'appuyer sur les parents : nous devons les informer sur les impacts environnementaux ou sanitaires des écrans. Dans certains pays, si on laisse les enfants trop longtemps devant un écran, on est passible d'une amende.

La responsabilité individuelle peut aussi avoir des effets dans les entreprises. Beaucoup d'entreprises sont en train de réfléchir aux façons de mieux piloter, sur le plan environnemental, leurs systèmes de formation parce que les candidats qu'elles souhaitent embaucher sont devenus beaucoup plus exigeants sur la capacité de l'entreprise à être vertueuse sur le plan environnemental. Or, les compétences en matière numérique sont rares et les entreprises doivent donc s'adapter.

Toutes les applications numériques ne se valent pas. Évidemment, les applications de télémédecine sont utiles. L'intérêt des *smart cities* dépend du bilan carbone prévisionnel, de la couche technologique envisagée et des politiques que l'on veut mettre en place. Mais cette analyse n'est que rarement réalisée.

Le développement des plateformes de jeux vidéo aura un « effet rebond » qui va amplifier la croissance des flux vidéos. Et avec la 5G il sera possible de jouer en ligne sur son mobile en réalité virtuelle, ce qui multipliera par dix les flux de données !

Enfin, le développement des énergies renouvelables ne peut se réaliser sans la consommation d'un certain nombre de ressources non renouvelables. Aucune énergie renouvelable n'est totalement décarbonée. L'énergie nucléaire fait partie des énergies les moins carbonées. Si notre objectif principal est de limiter le réchauffement climatique, alors la priorité ne devrait pas être de démanteler les centrales nucléaires.

M. Hervé Maurey, président. – Je vous remercie. Cette table ronde confirme à quel point la création de notre mission d'information est pertinente.

II. EXAMEN EN COMMISSION – MERCREDI 24 JUIN 2020

Réunie le mercredi 24 juin 2020, la commission a examiné le rapport d'information.

M. Hervé Maurey, président. – Nous sommes réunis ce matin pour la présentation du rapport intermédiaire de la mission d'information relative à l'empreinte environnementale du numérique, qui comprend 25 propositions. La mission d'information relative à l'empreinte environnementale du numérique a été créée en janvier, présidée par Patrick Chaize et dont les co-rapporteurs sont Guillaume Chevrollier et Jean-Michel Houllégatte. Nous avons pensé qu'il était important de mettre l'accent sur cet aspect du numérique, dont les usages ont par ailleurs ensuite explosé avec la période du confinement.

Je laisse maintenant la parole au président et aux rapporteurs de la mission d'information afin qu'ils nous présentent cette feuille de route.

M. Patrick Chaize, président de la mission d'information relative à l'empreinte environnementale du numérique. – Je suis très heureux de vous présenter, ce matin, avec les rapporteurs Guillaume Chevrollier et Jean-Michel Houllégatte, les premiers résultats des travaux de notre mission d'information.

Plusieurs raisons, vous le savez, nous ont poussés à nous emparer de ce sujet et je voudrais vous les rappeler brièvement.

C'est, premièrement, en raison de la croissance continue du secteur du numérique, dont la crise sanitaire actuelle a montré qu'il constituait un formidable outil de résilience de notre société et de notre économie. Il sera demain au cœur de la relance avec la perspective d'accélérer la transition numérique et, à plus long terme, d'exploiter les perspectives ouvertes par le développement de l'intelligence artificielle.

Pour vous en donner une idée, voici quelques chiffres qui témoignent de la profonde numérisation de notre société : 93 % des Français possèdent un téléphone mobile en 2017 ; concernant les usages, la consommation de données mobiles 4G augmente de près de 30 % par an environ, poussée notamment par le *streaming* vidéo qui représente environ 60 % du trafic en France ; enfin, pour la première fois en 2019, les montants investis en France par les opérateurs de communications électroniques pour déployer les réseaux fixes et mobiles ont dépassé les 10 milliards d'euros.

Mais aujourd'hui – et c'est la deuxième raison – ce secteur économique majeur est largement ignoré en tant que tel des politiques publiques visant à atteindre les objectifs climatiques fixés par l'Accord de Paris : en d'autres termes, il n'existe pas de stratégie transversale publique visant à en atténuer les impacts environnementaux.

Nous le savons tous, le numérique permet des gains environnementaux indéniables, comme par exemple dans le domaine des transports, avec notamment la facilitation de l'accès aux bornes de recharge, ou dans le domaine du logement, avec le développement des bâtiments intelligents.

Mais il est indispensable que les gains du numérique ne soient pas annulés par ses impacts directs et quantifiables en termes d'émissions de gaz à effet de serre, d'utilisation des ressources abiotiques, de consommation d'énergie et d'utilisation d'eau douce.

Comme nous l'ont confié beaucoup d'acteurs, si la prise de conscience a récemment progressé sur ce sujet, les utilisateurs du numérique oublient encore bien souvent que les échanges numériques dits « dématérialisés » ne peuvent exister qu'en s'appuyant sur un secteur bien matériel composé de terminaux, de centres informatiques et de réseaux.

La plupart des chiffres disponibles aujourd'hui établissent que le numérique serait à l'origine de 3,7 % des émissions totales de gaz à effet de serre (GES) dans le monde en 2018 et de 4,2 % de la consommation mondiale d'énergie primaire. Au niveau mondial, 44 % de cette empreinte serait due à la fabrication des terminaux, des centres informatiques et des réseaux et 56 % à leur utilisation.

Cet impact environnemental – qui ne se résume pas à l'empreinte carbone – concerne également les ressources minérales et l'eau. La croissance du numérique se traduit en effet par l'utilisation d'une quantité croissante de métaux, encore aujourd'hui très peu recyclés. Leur extraction et leur raffinage sont fortement émetteurs de gaz à effet de serre et nécessitent de grandes quantités d'eau et d'énergie.

Au-delà de ce premier constat globalisé, nous nous sommes rapidement heurtés, avec les rapporteurs, à une difficulté de taille afin de pouvoir émettre des recommandations pertinentes et opérationnelles pour nos politiques publiques : les données relatives à l'empreinte environnementale du numérique en France sont en effet très parcellaires. Entretemps, vous avez peut-être vu que le GreenIT.fr, que nous avons auditionné au début de nos travaux, a publié, hier soir, une étude sur les impacts environnementaux du numérique en France. Il sera sûrement intéressant de les entendre à nouveau sur leurs résultats.

Mais nous n'en avons pas connaissance et nous présupposons que la spécificité de notre mix énergétique ne rendait pas les données mondiales transposables telles quelles au modèle français. Notre commission a donc fait réaliser une étude afin de disposer d'éléments chiffrés sur l'empreinte carbone du numérique en France, ses particularités par rapport aux tendances mondiales et son évolution à l'horizon 2040. C'était, je le crois, indispensable afin de pouvoir définir les leviers d'action les plus pertinents

permettant de concilier, en France, transition numérique et transition écologique.

En deux mots, je voudrais vous présenter les principaux résultats de cette étude, qui nous fournit un état des lieux et des chiffres inédits sur l'empreinte carbone du numérique en France.

Premier enseignement, le numérique constitue en France une source importante d'émissions de gaz à effet de serre, soit 2 % du total des émissions en 2019, et cette empreinte pourrait augmenter de 60 % d'ici 2040 si rien n'était fait pour la réduire !

À cet horizon et à supposer que tous les autres secteurs réalisent des économies de carbone conformément aux engagements de l'Accord de Paris mais qu'aucune politique publique de sobriété numérique ne soit déployée, le numérique pourrait atteindre près de 7 % des émissions de gaz à effet de serre de la France, soit un niveau bien supérieur à celui actuellement émis par le transport aérien, qui est de 4,7 %. Cette croissance serait notamment portée par l'essor de l'Internet des objets (IoT) et les émissions des *data centers*.

En outre, on estime que le coût collectif de ces émissions pourrait passer de 1 à 12 milliards d'euros entre 2019 et 2040.

Deuxième enseignement principal : les terminaux sont à l'origine d'une très grande part des impacts environnementaux du numérique en France - 81 % de l'empreinte carbone totale du secteur - c'est-à-dire bien plus encore qu'à l'échelle mondiale, où ils représentent 63 % des émissions de gaz à effet de serre du secteur, selon les travaux de GreenIT.fr, que notre commission avait entendu en janvier dernier.

La fabrication et la distribution - c'est-à-dire la « phase amont » - de ces terminaux utilisés en France engendrent 86 % de leurs émissions totales et sont donc responsables de 70 % de l'empreinte carbone totale du numérique en France. Cette proportion - bien supérieure aux 40 % que l'on observe au niveau mondial - s'explique principalement par les opérations consommatrices d'énergie fossile comme l'extraction de matériaux nécessitées par leur fabrication et par le fait que ces terminaux sont largement importés de pays d'Asie du Sud-Est, où l'intensité carbone de l'électricité est bien plus importante qu'en France.

Troisième enseignement majeur : 80 % de l'empreinte carbone de notre numérique national est émise à l'étranger, notamment en Asie du Sud-Est, où sont fabriqués l'essentiel des terminaux utilisés par les Français.

Ces constats sont importants. Ils nous donnent des indications précieuses pour la construction d'une véritable stratégie pour une transition numérique écologique. Ils nous guident en nous montrant les leviers les plus efficaces. De toute évidence, ces chiffres inédits impliquent que la réduction de l'empreinte carbone du numérique en France passera avant tout par une

limitation du renouvellement des terminaux, alors qu'on sait que la durée de vie d'un *smartphone* est aujourd'hui de 23 mois.

C'est un impératif environnemental mais aussi économique : en passant du tout-jetable - alimenté par des imports qui grèvent la balance commerciale du pays - à un modèle circulaire - s'appuyant sur un écosystème industriel capable de proposer des terminaux reconditionnés et d'offrir des solutions de réparation - les politiques publiques peuvent favoriser la création durable d'emplois non délocalisables et implantés dans les territoires.

À cet égard, la réduction de l'empreinte environnementale du numérique en France constitue donc également un acte de souveraineté économique.

La « relance verte », qui devra être compatible avec les engagements de la France dans le cadre de l'Accord de Paris, ne pourra pas faire l'économie de la définition d'une véritable stratégie de réduction de l'empreinte environnementale du numérique. C'est la condition *sine qua non* pour réussir une transition numérique écologique. Il s'agit également d'une attente citoyenne forte : la Convention citoyenne pour le climat, qui a présenté le résultat de ses travaux le 18 juin dernier, a fait de l'accompagnement du numérique vers un modèle plus vertueux une de ses 150 propositions pour accélérer la lutte contre le réchauffement climatique.

Les résultats de cette étude, les auditions que nous avons menées et les contributions que nous avons reçues nous conduisent à vous soumettre aujourd'hui une feuille de route contenant 25 propositions pour réduire l'impact environnemental du numérique en France. Avant de laisser le soin aux rapporteurs de vous les présenter, je voudrais simplement vous dire que nous souhaitons - je parle au nom de l'ensemble des membres de la mission - que cette feuille de route ne constitue pas le point final de nos travaux. En effet, la période particulière que nous venons de vivre, et notamment le confinement, nous a contraints à reporter des auditions et des déplacements que nous avions prévus.

En outre, d'autres acteurs institutionnels comme l'Ademe, l'Arcep ou le Conseil national du numérique ont engagé des travaux sur ce sujet.

L'idée, par la publication de ces premières propositions, est de mettre à la disposition de tous ces acteurs, et de tous, un état des lieux solide et une feuille de route comportant 25 premières propositions afin de contribuer aux débats en cours et de peser sur les orientations qui seront prises aux niveaux national et européen en la matière.

Nous attendons également la contribution du Haut Conseil pour le climat, saisi le 10 mars 2020 par le Président du Sénat, sur la proposition de notre commission, sur l'évaluation de l'impact carbone du déploiement de la 5G en France. Nos travaux se poursuivront donc d'ailleurs dès la semaine

prochaine avec la table ronde relative aux impacts sanitaires et environnementaux de la 5G.

Ils reprendront à l'automne et nos propositions, éventuellement complétées, feront l'objet du dépôt d'une proposition de loi.

Je laisse la parole à nos deux rapporteurs qui vont vous présenter nos propositions, regroupée en quatre axes.

M. Guillaume Chevrollier, rapporteur. - En tant que co-rapporteur, il me revient de vous présenter, avec mon collègue Jean-Michel Houllégatte, les 25 premières propositions constituant la feuille de route de notre mission pour une transition numérique écologique, que nous vous proposons ce matin d'adopter. Ces propositions sont rassemblées en 4 axes, que nous vous présenterons successivement.

En tout premier lieu, notre mission propose, *via* 7 propositions opérationnelles, de faire prendre conscience aux utilisateurs du numérique de son impact environnemental, afin de les inciter à le réduire.

Via tout d'abord une meilleure connaissance de ce sujet, qui est aujourd'hui encore trop peu documenté. Au regard des chiffres que vient de vous présenter le président, une meilleure information des consommateurs, des entreprises et des administrations est indispensable sur l'impact environnemental de leurs usages et de leurs achats, en tenant compte tout particulièrement des émissions associées à la fabrication des terminaux.

Cette meilleure information doit passer tant par une grande campagne de sensibilisation incitant les utilisateurs à adopter les gestes numériques écoresponsables, mettant l'accent sur l'impact environnemental de la fabrication des terminaux et invitant les consommateurs à privilégier la réparation et l'achat de biens reconditionnés, plutôt que l'achat d'équipements neufs, que par une information plus détaillée de l'empreinte environnementale des terminaux et des usages numériques. Il nous faut faire émerger une véritable « régulation par la donnée » et par la connaissance.

Nous y participons de notre côté, par le biais de l'étude que nous avons commandée et que nous annexerons à notre rapport. Certains acteurs institutionnels travaillent en ce moment à l'élaboration de méthodologies d'évaluation. Nous proposons donc le déploiement d'une application permettant à tout utilisateur de calculer l'empreinte carbone individuelle des terminaux et des principaux usages numériques, comme par exemple le transfert dans le *Cloud* d'un gigaoctet de photos, l'envoi d'un courriel ou encore le visionnage d'une vidéo sur *Youtube*. Une information plus spécifique pourrait en outre être fournie aux utilisateurs de smartphones concernant l'impact de connexion mobile, pour les inciter à privilégier une connexion en Wifi, moins énergivore.

Afin de permettre en particulier aux professionnels de calculer simplement, les impacts environnementaux de leurs terminaux et de leurs

principaux usages numériques, une base de données pourrait également être mise à disposition du public. La généralisation de cette évaluation environnementale au moment du lancement des projets de numérisation permettrait ainsi de favoriser les choix correspondant à une transition numérique durable.

Après l'information, la formation est un autre levier essentiel. Les jeunes générations, qui manifestent de plus en plus leurs préoccupations environnementales, sont en même temps les plus connectées et les plus utilisatrices des possibilités offertes par le numérique. Un important effort éducatif doit être mené pour mieux décloisonner leurs préoccupations environnementales et leurs usages numériques. C'est pourquoi nous proposons de faire de la sobriété numérique un des thèmes de l'éducation à l'environnement à l'école, de créer des modules dédiés dans les écoles d'ingénieurs et d'informatique ou encore de conditionner la diplomation des ingénieurs en informatique à l'obtention d'une attestation de compétences acquises en matière d'écoconception logicielle.

Nous proposons également la création d'un Observatoire de recherche des impacts environnementaux du numérique, qui pourrait rassembler des chercheurs et des personnes qualifiées afin d'apporter ponctuellement leur expertise à l'Ademe dans le but de mettre régulièrement à jour les données publiques sur ce sujet, ce qui est indispensable au regard de l'apparition régulière de nouvelles technologies numériques.

Enfin, il est indispensable que les acteurs publics et privés intègrent l'enjeu environnemental dans leur stratégie numérique : à cette fin, nous proposons d'inscrire l'impact environnemental du numérique dans le bilan RSE des entreprises, de créer un crédit d'impôt pour les PME et TPE pour la réalisation de mesures d'impact environnemental des services numériques et de construire un cadre méthodologique d'évaluation environnementale des projets *smart*, mis à disposition des collectivités territoriales, avec un soutien financier de l'Agence nationale de la cohésion des territoires (ANCT).

Je passe la parole à Jean-Michel Houllégatte pour la présentation du deuxième axe.

M. Jean-Michel Houllégatte, rapporteur. - J'en viens à présent à la présentation du deuxième axe de notre rapport qui est consacré à la réduction de l'empreinte des terminaux. Ils représentent 81 % du total des émissions du secteur numérique en France, dont 70 % pour leur fabrication, dont une majeure partie est effectuée en Asie du Sud-est, et leur distribution.

Sur le fondement de l'étude que nous avons commandée et de ses principaux résultats, nous avons décidé de faire de la limitation du renouvellement des terminaux un axe prioritaire de notre feuille de route. Je rappelle que la durée de vie moyenne d'un *smartphone* est de 23 mois. Ces terminaux sont regroupés en 14 familles : les plus connus sont les *smartphones* et les écrans de télévision, mais de nouveaux appareils émergent

comme les objets connectés, les casques de réalité virtuelle, les consoles de jeux. Il s'agit là d'un impératif environnemental mais aussi économique : en passant du tout-jetable à un modèle circulaire, les politiques publiques peuvent favoriser la création durable d'emplois non délocalisables, et implantés dans les territoires. À cet égard, la réduction de l'empreinte environnementale du numérique en France constitue également un acte de souveraineté économique.

La feuille de route que nous vous présentons aujourd'hui comprend 6 propositions concrètes afin de limiter le renouvellement des terminaux.

Nous proposons tout d'abord de mieux taxer les externalités négatives liées à la fabrication des équipements numériques en introduisant une taxe carbone aux frontières européennes. Cette taxe ne porterait pas uniquement sur les équipements numériques. Elle est d'ailleurs préconisée par de nombreux acteurs. Cependant, eu égard à la nature très polluante des terminaux et au fait que la quasi-intégralité d'entre eux sont produits en dehors du territoire européen, il est certain que le numérique occuperait une place non négligeable dans l'assiette de cette taxe. Cette taxe renforcerait l'attractivité des activités de reconditionnement et le recours à la réparation.

Nous proposons également de mieux lutter contre l'obsolescence programmée des terminaux. L'obsolescence programmée constitue depuis 2015 un délit sévèrement puni mais aucune condamnation n'a depuis été prononcée sur ce fondement, tant il est difficile de prouver l'intentionnalité de la réduction de la durée de vie du produit. Il nous semble qu'une réflexion doit être engagée pour réécrire l'article du code de la consommation, qui définit et sanctionne l'obsolescence programmée afin de rendre le dispositif plus dissuasif. Il nous semble aussi qu'un recours plus systématique au *name and shame* pourrait constituer une parade complémentaire - plus efficace encore que la réponse pénale - à l'obsolescence programmée. Il pourrait par exemple être confié à l'Arcep la responsabilité de tenir un baromètre annuel et public des metteurs sur le marché, en s'appuyant sur les indices de réparabilité et de durabilité prévus par la loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire (AGEC). Nous estimons également que le cadre légal devra être complété pour mieux lutter contre l'obsolescence logicielle. Nous recommandons notamment de dissocier les mises à jour correctives, nécessaires pour la sécurité du matériel, et les mises à jour évolutives, accessoires et pouvant dégrader les performances du terminal, poussant alors le consommateur à renouveler son *smartphone* ou son ordinateur pour pouvoir utiliser les dernières versions de logiciels. Un droit à la réversibilité devrait également être créé : l'utilisateur devrait toujours être en mesure de revenir à une version antérieure du logiciel ou du système d'exploitation, s'il estime que la mise à jour a contribué à ralentir son terminal.

Nous appelons enfin à renforcer grandement notre ambition en matière de réemploi et de réparation des terminaux. Cela pourrait tout

d'abord passer par l'introduction d'un taux de TVA réduit sur la réparation de terminaux et l'acquisition d'objets électroniques reconditionnés. Cette disposition viendrait compléter les fonds de réparation et de réemploi introduits par la loi AGECE, à l'initiative de la rapporteure Marta de Cidrac. Des objectifs ambitieux devront également être inscrits dans le cahier des charges des éco-organismes responsables de la filière des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), en charge notamment de la prévention et de la gestion des déchets du numérique. Les performances des éco-organismes sont aujourd'hui trop peu satisfaisantes, car les équipements numériques sont noyés dans un ensemble plus large de biens au tonnage plus élevé et pour l'heure, mieux réparés et recyclés. Il conviendrait ainsi de fixer des objectifs de réparation et de réemploi spécifiques à certaines catégories d'équipements numériques, comme les *smartphones*, les ordinateurs ou les téléviseurs. Nous recommandons également d'activer le levier de la commande publique en ajoutant une clause de réemploi ou un lot réemploi dans les appels d'offres d'achats d'équipements. Enfin, le plan de relance ne pourra pas ignorer le coût environnemental majeur que constitue le renouvellement systématique des terminaux. Les mesures d'aides à la numérisation des entreprises qui pourraient y être inscrites pourraient par exemple être accrues – sous forme de bonus – pour les entreprises s'engageant à intégrer une part minimale de terminaux reconditionnés dans leurs achats numériques.

M. Guillaume Chevrollier, rapporteur. – Le troisième axe de notre feuille de route concerne les usages du numérique. L'enjeu central est de contrer l'effet rebond, phénomène paradoxal par lequel les économies d'énergie permises par une nouvelle technologie sont partiellement ou complètement compensées par l'accroissement des usages. Cet effet est particulièrement fort dans le secteur numérique, comme l'illustre à plusieurs endroits l'étude commandée par notre mission d'information. À titre d'exemple, les gains d'efficacité énergétique très importants des centres informatiques – jusqu'à 20 % par an – pourraient ne pas suffire à compenser l'accroissement exponentiel des usages. Leur consommation électrique pourrait ainsi être multipliée par trois en vingt ans.

Pour contrer cet effet rebond, il est donc nécessaire de faire émerger et de développer des usages du numérique écologiquement vertueux. Il s'agit au final d'économiser les données, qui correspondent en réalité à de l'énergie consommée. On pourrait être tenté de détourner le slogan publicitaire souvent relayé aux Français : « les données sont notre avenir, économisons-les ! ». Un tel changement de paradigme devrait être reconnu dans la loi, à la faveur par exemple de la transposition prochaine du code européen des télécommunications. La donnée pourrait y être définie comme une ressource, nécessitant une gestion durable, au même titre que d'autres ressources précieuses, comme l'eau et l'énergie. Conformément à cette conception, nous estimons que les forfaits mobiles avec un accès illimité aux données devraient être interdits. Cette interdiction ne concernerait

évidemment pas les forfaits Internet fixe. L'enjeu est d'inciter les usagers à privilégier une connexion en Wifi, beaucoup moins énergivore qu'une connexion mobile. Cette mesure serait de surcroît préventive à ce stade : très peu d'opérateurs proposent aujourd'hui ce type d'offre avec données illimitées.

Nous proposons également de mieux encadrer le *streaming* vidéo, qui représente 60 % du trafic Internet mondial. Le *streaming* provoque un phénomène de « fuites carbone », correspondant à une augmentation des émissions étrangères de gaz à effet de serre imputable à la consommation domestique de vidéos. 53 % des émissions de gaz à effet de serre dues à l'utilisation de *data centers* ont ainsi été produites à l'étranger. Pour limiter l'impact des usages vidéo, les fournisseurs de contenu comme *Netflix* et *Youtube* devraient *a minima* être contraints d'adapter la qualité de la vidéo téléchargée à la résolution maximale du terminal. Une taxe sur les plus gros émetteurs de données pourrait également être introduite afin d'inciter les géants américains de la vidéo à une injection plus raisonnable de données sur le réseau. Le produit de cette imposition pourrait alimenter le Fonds de solidarité numérique (FSN), et financer ainsi l'aménagement numérique du territoire ou la formation des personnes éloignées du numérique, soit environ 13 millions de personnes en France.

Afin de limiter la consommation de données lors du chargement des pages Internet, l'écoconception des sites et services numériques doit aussi être très largement généralisée. L'éco-conception constitue un des leviers de lutte contre l'obsolescence des équipements numériques, dès lors qu'un site éco-conçu est plus facile à charger sur un terminal ancien et peu performant. À court terme, un appel à manifestation d'intérêt pourrait être lancé pour identifier les solutions les plus exemplaires. À moyen terme, l'éco-conception des sites publics et des plus grands sites privés pourrait être rendue obligatoire.

Enfin, la sobriété numérique passera nécessairement par une plus grande régulation des pratiques des géants du numérique. Utilisation de couleurs vives, notifications permanentes, lancement automatique de vidéos... tout est fait pour attirer au maximum l'attention de l'utilisateur et le maintenir connecté. Pour des raisons éthiques et environnementales, nous estimons qu'une plus grande transparence doit être faite quant aux stratégies cognitives utilisées par les grandes plateformes pour capter l'attention des consommateurs et ainsi accroître les usages. Certaines de ces stratégies devraient par ailleurs être interdites. Je pense notamment au lancement automatique de vidéos, souvent à fin publicitaire, lors du chargement de certaines pages. L'interdiction de cette pratique faciliterait de surcroît la connexion en allégeant considérablement le chargement, particulièrement pour les usagers ne disposant pas d'une connexion en très haut débit et nous en connaissons dans nos territoires. Des réflexions devront également être

engagées pour mieux encadrer l'utilisation d'écrans publicitaires lumineux dans l'espace public.

M. Jean-Michel Houllégatte, rapporteur. - Il me reste donc à vous présenter les propositions du dernier axe de notre feuille route, qui concerne les émissions des *data centers* et des réseaux.

Il ressort de l'étude que nous avons commandée que les centres informatiques ne sont aujourd'hui responsables que de 14 % de l'empreinte carbone du numérique en France. Ces émissions sont majoritairement produites à l'étranger : par exemple, les *data centers* utilisés pour le visionnage de vidéos en *streaming* sont installés aux États-Unis, qui disposent d'une électricité dix fois plus carbonée que l'électricité française. Les émissions des centres informatiques pourraient croître de 86 % d'ici 2040, en raison de l'accroissement continu des usages, du ralentissement des gains d'efficacité énergétique enregistrés ces dernières années et surtout du dynamisme du *edge computing*, correspondant à des *data centers* de petite taille, installés à proximité des utilisateurs pour le développement de l'Internet des objets.

Pour atténuer la hausse prévisible des émissions des *data centers*, nous préconisons de favoriser plus encore l'installation de *data centers* en France - qui dispose d'un mix énergétique peu carboné - en renforçant l'avantage fiscal existant sur la taxe intérieure sur la consommation finale d'électricité (TICFE) et en le conditionnant à des critères de performance environnementale minimale. La réduction de TICFE pourrait aussi être accrue pour les centres les moins consommateurs. Nous estimons par ailleurs que la complémentarité entre *data centers* et énergies renouvelables pourrait être renforcée dans le cadre de stratégies territoriales. Les énergies renouvelables peuvent tout d'abord contribuer à réduire l'empreinte carbone des centres informatiques en leur fournissant directement une électricité non carbonée. Les centres informatiques pourraient en retour constituer un levier majeur de flexibilité locale permettant de stocker l'électricité des installations d'énergies renouvelables intermittentes.

Concernant les réseaux, l'étude commandée montre qu'ils ne représentent que 5 % de l'empreinte carbone du numérique en France. Cela s'explique une nouvelle fois par le caractère peu carboné de l'électricité française. Cependant, d'après le scénario central de l'étude, la consommation d'énergie primaire des réseaux en France pourrait augmenter de 75 % d'ici 2040, et leurs émissions associées croître de 34 %.

Pour limiter la hausse probable de l'impact environnemental des réseaux dans les années à venir, notre feuille de route rappelle qu'il est plus que jamais nécessaire d'atteindre les objectifs du plan France très haut débit, qui doit permettre d'ici 2025 d'assurer la couverture intégrale de notre pays par la technologie réseau la moins énergivore - la fibre optique. Nous proposons de généraliser des technologies de mise en veille des *box* Internet

et d'offrir des solutions de mutualisation de ces équipements dans les habitats collectifs. Nous recommandons également d'engager une réflexion sur l'extinction des anciennes générations mobiles - 2G et 3G - toujours consommatrices d'électricité, bien que progressivement supplantées par les nouvelles générations 4G et 5G.

Enfin, alors que les enchères permettant de lancer le déploiement de la 5G devraient avoir lieu en septembre prochain, nous ne pouvons que regretter qu'aucune évaluation de l'impact environnemental de cette nouvelle technologie mobile n'ait encore été mise à disposition du public et des parlementaires. À l'instar du président de l'Ademe, qui avait déclaré, lors de son audition devant notre commission, réclamer « *une étude d'impact environnemental sérieuse sur le déploiement de la 5G* », nous demandons que la 5G fasse enfin l'objet d'une étude d'impact complète ! Les effets de cette technologie sur les consommations énergétiques des opérateurs devront tout particulièrement être évalués. Il semble très probable que l'accroissement des usages annule, voire surpasse, les gains d'efficacité énergétique permis par la 5G. Cette analyse est même partagée par Bouygues Telecom, que nous avons auditionné il y a quelques jours. Il ne faudrait cependant pas se focaliser sur cet unique aspect du sujet. Rappelons tout d'abord que la faible carbonation de l'électricité française atténuera de fait l'empreinte carbone des réseaux, même en cas de forte hausse de la consommation énergétique des opérateurs. Surtout, une part importante des émissions induites par la 5G pourrait en réalité être produite en dehors des réseaux ! À court terme, l'accès à la 5G impliquera pour les consommateurs un renouvellement de leur *smartphone*. Par ailleurs, la hausse de l'empreinte carbone du numérique à l'horizon 2040 sera largement tirée par l'essor de l'Internet des objets et par la tendance à l'installation de centres informatiques de petite taille ; on parle alors de *edge computing*. Or, il est évident que ces tendances seront - au moins pour partie - sous-tendues par le déploiement de la 5G. Nous ne pouvons que déplorer que ces différents éléments soient encore moins documentés et évalués que l'impact de la 5G sur la consommation des réseaux. À cet égard, je vous rappelle que le président du Sénat a saisi le Haut Conseil pour le climat pour qu'une évaluation de l'impact environnemental de la 5G soit enfin menée.

Voici donc, mes chers collègues, les principaux axes de la feuille de route pour une transition numérique écologique que nous vous proposons d'adopter. Certains déplacements et auditions ayant été reportés en raison de la crise sanitaire, nous vous rappelons que nous poursuivrons nos travaux à la rentrée et que cette feuille de route fera l'objet d'une proposition de loi. Je vous remercie.

M. Guillaume Gontard. - J'insiste sur le volet pédagogique : à l'occasion des auditions, nous avons tous pris conscience de l'impact environnemental du numérique. Par exemple, lors de l'envoi d'un mail, nous

n'avons pas conscience des émissions de carbone associées. Ainsi, le volet pédagogique est primordial.

Il faut également mettre en perspective la question de la sobriété avec d'autres usages. Pendant le confinement, nous avons certes utilisé davantage le numérique, mais en parallèle nous avons diminué d'autres usages. Quelles sont les économies que nous avons pu générer par ailleurs ? C'est pourquoi il est nécessaire de poursuivre les travaux de la mission pour obtenir un comparatif robuste.

Enfin, il me paraît important d'aborder le sujet de la 5G. Il s'agit d'un sujet majeur. Ce thème n'a pas eu de véritable étude d'impact qui pourtant va transformer en profondeur nos usages du numérique. Il est donc important de travailler sur cette thématique pour avoir une visibilité sur les mutations liées à la 5G.

M. Didier Mandelli. - Ma question concerne la commande publique. Dans le cadre de l'examen de la loi AGEC, nous avons adopté des amendements obligeant les collectivités à intégrer dans leurs achats un certain pourcentage de produits réutilisés. Il me paraît important d'insister sur la commande publique, qui doit être exemplaire.

M. Ronan Dantec. - Je suis impressionné par l'ampleur des propositions et du travail accompli.

Il me semble important d'ajouter dans nos propositions une phrase pour montrer que nous intégrons les enjeux autres que climatiques, notamment sur la biodiversité et les enjeux sociaux. Par exemple, l'extraction des minerais indispensables pour la fabrication des terminaux ne provoque pas seulement une augmentation des émissions de gaz à effet de serre. Elle pose également d'importants problèmes sociaux et est très destructrice de biodiversité.

Mme Nadia Sollogoub. - Je considère cette mission comme le début de quelque chose. À titre personnel, je suis attaché au sujet de la récupération de l'énergie des *data centers*. Il faut faire également de la pédagogie auprès des élèves mais également auprès des ministères. Un complément législatif à la loi AGEC s'impose. Je vous remercie pour ce premier pas.

M. Hervé Gillé. - Je souhaite avoir un éclairage sur la régulation de l'offre mobile. Vous proposez d'interdire les forfaits mobiles avec un accès illimité aux données : c'est une proposition qui peut faire du bruit. Si on revient sur le fond du sujet, l'intérêt serait qu'il existe une conscience collective des usages de telle sorte que ceux-ci soient plus économes en consommation de données. Cet élément mériterait d'être approfondi dans votre rapport, en étudiant de quelle manière on peut accompagner la montée en conscience collective des usagers. Il serait notamment intéressant de pouvoir visualiser la consommation carbone de ses usages numériques, pour améliorer la prise de conscience individuelle et collective et aller vers la

sobriété. Il faut responsabiliser les usages. Dans cette perspective, interdire les forfaits illimités me semble assez contraignant. Je suis davantage favorable à un accompagnement des usagers vers des usages plus éco-responsables.

M. Jean-Michel Houllégatte, rapporteur. - Les aspects pédagogiques sont nécessaires et importants. Nous les abordons d'ailleurs largement dans notre rapport.

Concernant la 5G, il s'agit en effet d'un sujet important. Nous demandons d'ailleurs qu'une évaluation de son impact environnemental soit enfin menée.

Concernant la commande publique, si nous n'avions pas eu la loi AGEC, nous n'aurions pas pu avancer comme on l'a fait. Tout l'intérêt de cette mission est de s'inscrire dans le prolongement de cette loi, en ouvrant un nouveau champ d'interrogations sur un angle mort - l'impact environnemental du numérique - dont nos concitoyens n'ont pas toujours conscience.

Cette mission ne peut pas tout faire. Concernant l'aspect social, je rappelle qu'il y a en ce moment au Sénat une mission d'information sur l'illectronisme. Il y a également un enjeu relatif à la diplomatie environnementale, dont nous avons bien conscience : les conditions d'extraction des métaux dans les pays du tiers-monde ne sont pas satisfaisantes sur le plan environnemental mais aussi sur le plan politique et social.

Nous allons poursuivre nos travaux notamment sur les nouveaux *data centers*. On s'aperçoit que la France a une carte à jouer sur l'implantation de nouveaux *data centers*. Il n'y a pas que les entrepôts Amazon qui doivent focaliser l'attention des élus locaux. C'est un outil au service de la diversification et de la flexibilité énergétique dans le cadre des plans climats territoriaux.

Concernant les propos d'Hervé Gillé, il y a peut-être une confusion entre les appels téléphoniques illimités qu'on ne remet pas en question et l'accès illimité aux données, un grand sujet sur lequel il va falloir poursuivre notre travail.

Il n'y a pas, en termes d'eau, d'accès illimité puisque l'eau est considérée comme une ressource. Les données peuvent aussi être considérées comme une ressource. Notre mission est vigilante quant aux offres de données illimitées permettant de télécharger des données de façon irraisonnable, dès lors que le réseau mobile est beaucoup plus énergivore que le réseau fixe.

M. Patrick Chaize, président de la mission d'information. - À ce jour, il n'existe que très peu de forfaits illimités de données. Mais le risque existe que demain ce type de forfait soit proposé. Cette proposition ne

concerne évidemment pas les offres Internet fixe, beaucoup moins énergivores.

M. Guillaume Chevrollier, rapporteur. - Je pense que la mission d'information a pour but d'entraîner une prise de conscience collective sur les impacts environnementaux du numérique. Il faut donc de l'information, de la formation et de la communication sur la nécessité de la sobriété pour les enjeux autour du climat, de l'énergie et de la préservation de la biodiversité. Le terme de sobriété est donc primordial. La proposition sur l'interdiction à des accès illimités aux données mobiles est nécessaire pour ne pas être en contradiction avec la sobriété que nous prônons. La vertu de cette proposition est d'entraîner le débat sur les données et non sur la partie téléphonique des forfaits illimités.

Par ailleurs, je rebondis sur la commande publique. L'État et les collectivités doivent être exemplaires dans cette transition vers un numérique écologique, vertueux et durable. Notre assemblée doit relayer ces propositions auprès des territoires.

M. Patrick Chaize, président de la mission d'information. - Avant cette mission, il n'existait pas d'éléments de comparaison et de réflexion sur cette thématique. La mission nous permet d'apporter des éléments pour influencer par la suite les décisions en la matière et évidemment l'ensemble des ministères.

M. Hervé Maurey, président. - La commission autorise la publication du rapport.

La commission de l'aménagement du territoire et du développement durable autorise la publication du rapport.

Mme Marta de Cidrac. - Il serait intéressant de communiquer ce rapport à un large public. Sous quelle forme et à quelle échéance cette communication va-t-elle donc être faite ?

M. Patrick Chaize, président de la mission d'information. - Nous tiendrons une conférence de presse tout à l'heure. Il nous faudra ensuite réfléchir à une communication plus ciblée auprès de certains ministères. Nous souhaitons tous nous retrouver en octobre pour continuer ces travaux passionnants qui restent à approfondir.

Je rappelle les conditions particulières de notre mission : les travaux ont débuté en janvier avec une revue générale des problématiques, puis nous avons travaillé pendant le confinement par des échanges écrits. Il y a eu des contributions pertinentes, mais nous avons dû pour l'instant annuler nos déplacements, notamment ceux dans des *data centers*.

M. Hervé Maurey, président. - Je vous rappelle que la semaine prochaine, notre commission organise une table ronde sur les impacts sanitaires et environnementaux de la 5G.

LISTE DES PERSONNES ENTENDUES

I. DEVANT LA COMMISSION

Mercredi 29 janvier 2020

- *Table ronde de think-tanks* : **MM. Frédéric BORDAGE**, fondateur et animateur de *Green IT*, et **Hugues FERREBOEUF**, chef du projet « Lean ICT » au *Shift Project*.

II. DEVANT LA MISSION

Mercredi 5 février 2020

- **Mme Françoise BERTHOUD**, ingénieure au CNRS et fondatrice d'EcoInfo.

- *Fondation Internet nouvelle génération (FING)* : **M. Jacques-François MARCHANDISE**, délégué général.

Mercredi 19 février 2020

- *Table ronde « Sciences comportementales et numérique »* : **Mme Maud LEMERCIER-DUGARIN**, psychologue spécialisée dans les usages du numérique et leur impact sur le développement des individus, attachée temporaire d'enseignement et de recherche (Université Paris Nanterre), et **M. Michael STORA**, psychologue spécialiste de la cyberdépendance, co-fondateur de l'Observatoire des mondes numériques en sciences humaines (OMNSH).

- **M. Philippe BIHOUIX**, ingénieur, membre du conseil d'administration de l'Institut Momentum

Mercredi 26 février 2020

- *Conseil national du numérique* : **Mme Annie BLANDIN-OBERNESSER**, membre, **MM. Hervé PILLAUD**, membre, et **Charles-Pierre ASTOLFI**, secrétaire général.

- *Alliance Green IT* : **Mme Caroline VATEAU**, secrétaire générale, responsable du service « Numérique responsable » (APL Datacenter), **MM. Romuald RIBAULT**, trésorier - responsable marketing (Ecologic), et **Thomas MESPLEDE**, chargé de mission.

- *Ubisoft EMEA* : **Mmes Oriane CAPPELLA**, vice-présidente responsabilité sociétale, et **Ophélie GERULLIS**, corporate affairs counsel.

- *Ecosystem* : **M. Guillaume DUPARAY**, directeur de la collecte et des relations institutionnelles.

- *Autorité de régulation des communications électroniques et des postes (ARCEP)* : **MM. Serge ABITEBOUL**, membre du collège, **Emmanuel GABLA**, membre du collège, **Stéphane LHERMITTE**, directeur économie, marchés et numérique, et **Mme Anaïs AUBERT**, chargée de mission au sein de l'unité Analyse économique et intelligence numérique.

Mercredi 4 mars 2020

- *Table ronde - Fédération française des télécoms et Iliad/free* : **MM. Michel COMBOT**, directeur général, et **Olivier RIFFARD**, directeur des affaires publiques (Fédération française des télécoms); **Mme Ombeline BARTIN**, directrice des relations institutionnelles (Iliad-free); **M. Anthony COLOMBANI**, directeur des affaires publiques (Bouygues Telecom); **Mme Claire PERSET**, directrice des relations institutionnelles et de l'engagement (Altice SFR); **M. Laurentino LAVEZZI**, directeur des affaires publiques (Orange); **M. Thibaud FURETTE**, directeur de la stratégie (Euro-Information Telecom).

LISTE DES CONTRIBUTIONS ÉCRITES

- M. Jean-Pol TASSIN - Institut de biologie Paris-Seine
- Direction interministérielle du numérique (DINUM)
- École nationale supérieure d'ingénieurs de Caen
- Fédération des industries électriques, électroniques et de communication (FIEEC)
- Gimelec
- Halte à l'Obsolescence Programmée (HOP)
- Institut du développement durable et des relations internationales (Iddri)
- Ministère de l'économie et des finances - Direction générale des entreprises
- Oracle
- Université de technologie de Belfort-Montbéliard

**ANNEXE : ÉTUDE RELATIVE À L'ÉVALUATION DES
POLITIQUES PUBLIQUES MENÉES POUR RÉDUIRE
L'EMPREINTE CARBONE DU NUMÉRIQUE**

ÉTUDE
RELATIVE À L'ÉVALUATION DES POLITIQUES PUBLIQUES
MENÉES POUR RÉDUIRE L'EMPREINTE CARBONE
DU NUMÉRIQUE

Cette étude a été réalisée par le cabinet Citizing, épaulé par Hugues Ferreboeuf et le cabinet KPMG, à la demande de la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable du Sénat au titre de l'accord-cadre multi-attributaires passé par le Sénat à l'automne 2018, au terme d'une procédure d'appel d'offres ouvert pour la réalisation d'études d'évaluation de l'impact *ex ante* ou *ex post* de dispositions juridiques ou d'évaluation de politiques publiques pour le compte des commissions, délégations et structures temporaires du Sénat.

EMPREINTE CARBONE DU NUMERIQUE EN FRANCE : DES POLITIQUES PUBLIQUES SUFFISANTES POUR FAIRE FACE A L'ACCROISSEMENT DES USAGES ?

TABLE DES MATIERES

AVERTISSEMENT	5
LISTE DES PERSONNES AUDITIONNEES	6
RESUME NON TECHNIQUE	7
1. INTRODUCTION	10
1.1. LA MONTEE EN PUISSANCE DE LA PLACE DU NUMERIQUE DANS LE QUOTIDIEN DES FRANÇAIS	10
1.2. LES PREOCCUPATIONS SUR L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU NUMERIQUE CONFIRMES PAR DE RECENTES ETUDES MAIS PEU TRADUITES EN MATIERE DE POLITIQUES PUBLIQUES	12
1.3. LES SINGULARITES DE LA PRESENTE ETUDE	14
2. LE PERIMETRE DE L'ETUDE	16
2.1. LES TERMINAUX NUMERIQUES	16
2.2. LES CENTRES INFORMATIQUES	18
2.3. LES RESEAUX	19
2.4. LA PHASE AMONT ET LA PHASE UTILISATION	20
3. INDICATEURS CALCULES, SCENARISATION ET METHODE DE COLLECTE DES DONNEES D'ENTREE DU MODELE	22
3.1. INDICATEURS CALCULES	22
3.1.1. <i>Consommation d'énergie primaire et d'énergie finale</i>	22
3.1.2. <i>Les tonnes équivalent de CO2</i>	23
3.1.3. <i>L'équivalent monétaire du carbone</i>	24
3.2. SCENARISATION	25
3.3. MODELISATION, HYPOTHESES STRUCTURANTES ET COLLECTE DE DONNEES POUR L'ETAT DE LIEUX	26
3.3.1. <i>Paramètres communs aux trois sous-ensembles</i>	26
3.3.2. <i>Terminaux</i>	28
3.3.3. <i>Réseaux</i>	30
3.3.4. <i>Centres informatiques</i>	33
3.4. MODELISATION, HYPOTHESES STRUCTURANTES ET COLLECTE DE DONNEES, POUR LES PROJECTIONS	36
3.4.1. <i>Paramètres communs aux trois sous-ensembles</i>	37
3.4.2. <i>Terminaux</i>	38
3.4.3. <i>Réseaux</i>	38
3.4.4. <i>Centres informatiques</i>	40

4. EMPREINTE CARBONE DU NUMERIQUE : UN ETAT DES LIEUX POUR 2019	42
4.1. LES TERMINAUX	42
4.1.1. <i>Ventilation entre la phase amont et la phase utilisation</i>	43
4.2. LES RESEAUX	44
4.2.1 <i>Phase utilisation</i>	45
4.2.2 <i>Phase amont</i>	48
4.3. LES CENTRES INFORMATIQUES	48
4.3.1 <i>Phase utilisation</i>	48
4.3.2. <i>Phase amont</i>	50
4.4. DONNEES AGREGES DU NUMERIQUE EN FRANCE EN 2019	51
4.4.1. <i>Consommation d'énergie primaire, d'électricité et émissions de gaz à effet de serre du numérique en 2019</i>	51
4.4.2. <i>Comparaison avec les résultats du CGE</i>	53
4.4.3 <i>Le numérique en France par rapport au numérique à l'étranger en 2019</i>	54
4.4.4 <i>Le numérique parmi d'autres secteurs en France en 2019</i>	55
4.4.5. <i>Le coût carbone du numérique et la pertinence de l'investissement pour sa neutralisation</i>	57
5. EMPREINTE CARBONE DU NUMERIQUE : PROJECTIONS AUX HORIZONS 2025 ET 2040	59
5.1. PROJECTIONS POUR LES TERMINAUX	59
5.2. PROJECTIONS POUR LES RESEAUX	63
5.3. PROJECTIONS POUR LES CENTRES INFORMATIQUES	67
5.4 PROJECTIONS AGREGES DU NUMERIQUE EN FRANCE AUX HORIZONS 2025 ET 2040	70
5.4.1. <i>Projections de la consommation d'énergie primaire, d'électricité et émissions de gaz à effet de serre du numérique à horizon 2025 et 2040</i>	70
5.4.2. <i>Projections du numérique en France par rapport au numérique mondial aux horizons 2025 et 2040</i>	75
5.4.3. <i>Projections du poids du numérique dans le bilan carbone français aux horizons 2025 et 2040 et valeur de l'action pour le climat</i>	76
CONCLUSION	79
TABLE DES ILLUSTRATIONS	84
FIGURES	84
TABLEAUX	84
GRAPHIQUES	84
ANNEXES	86
ANNEXE 1 – BIBLIOGRAPHIE	86
ANNEXE 2 – ÉTAT DES LIEUX DES POLITIQUES PUBLIQUES FRANÇAISES ET EUROPEENNES APPLICABLES AU NUMERIQUE	88
ANNEXE 3 – DETAIL DES DONNEES D'ENTREE	94
<i>Terminaux</i>	94
<i>Réseaux</i>	116
<i>Centres Informatiques</i>	123
<i>Paramètres communs</i>	126

AVERTISSEMENT

La Commission de l'Aménagement du Territoire et du Développement Durable (CATDD) du Sénat a retenu, dans son programme de contrôle pour l'année 2020, la création d'une mission d'information relative à l'empreinte environnementale du numérique.

Dans ce cadre, la CATDD a confié au cabinet CITIZING, épaulé par Hugues Ferreboeuf (cabinet Virtus Management) et par le cabinet KPMG, la mission d'estimer l'empreinte carbone du numérique en France, actuelle et à venir, et d'interroger l'ambition des politiques publiques visant à la limiter.

La méthodologie utilisée ainsi que les résultats obtenus sont de la seule responsabilité de CITIZING et n'engagent pas le Sénat.

Les parties intéressées sont invitées à faire part de leurs commentaires aux auteurs de ce rapport.

Auteurs correspondants, par ordre alphabétique

Julie de Brux (julie.debrux@citizing-consulting.com)

Hugues Ferreboeuf (h.ferreboeuf@virtus-management.com)

Louis Guillet (louis.guillet@citizing-consulting.com)

Charles-Elie Laly (charles-elie.laly@citizing-consulting.com)

Alice Mével (alice.mevel@citizing-consulting.com)

Côme Sevaistre (come.sevaistre@citizing-consulting.com)

LISTE DES PERSONNES AUDITIONNEES

Le groupement remercie les personnes suivantes d'avoir accepté d'être auditionnées dans le cadre de la présente mission :

- Conseil Général de l'Economie (CGE) :

Madame Mireille CAMPANA, Ingénieure Général des Mines

Monsieur Michel SCHMITT, Ingénieur Général des Mines

Monsieur Cédric SIBEN, Ingénieur Général des Mines

- Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) :

Monsieur Erwann FANGEAT

Monsieur Raphael GUASTAVI

- Télécom Paris :

Monsieur Marc BOURREAU, Professeur d'Économie, spécialisé dans le numérique

- CNRS :

Monsieur Jacques COMBAZ, Ingénieur de recherche, spécialisé dans les impacts sur l'environnement du numérique

La mission n'a pu obtenir d'audition auprès de l'opérateur réseau Orange ni du fournisseur de services *cloud* OVHcloud.

RESUME NON TECHNIQUE

Le volume de données numériques échangées en France double tous les trois ans, contribuant ainsi à la stratégie des entreprises, à la modernisation de l'Administration, mais également au développement de nouvelles habitudes de consommation et d'interactions des ménages. En 2017, 93% de ces derniers étaient équipés de smartphones. Si les bénéfices du numérique sont souvent mis en évidence, les externalités négatives qui lui sont associées sont pointées du doigt de façon croissante. Parmi elles, c'est l'externalité environnementale qui est au cœur de ce rapport.

Le présent rapport s'est attaché à quantifier l'empreinte carbone du numérique à l'échelle française et à estimer en conséquence le montant des mesures et politiques publiques qu'il serait souhaitable de lancer pour éviter cette externalité.

Notons que plusieurs études sur l'empreinte carbone du numérique, au périmètre monde, ont été réalisées récemment, permettant des mises en perspective de l'empreinte carbone du numérique français par rapport au reste du monde. Par ailleurs, bien que cette étude concerne le périmètre France, elle tient compte des émissions de gaz à effet de serre (GES) produites à l'étranger, notamment dans les processus de fabrication des équipements qui sont ensuite utilisés en France, ainsi que pour le stockage des données.

Les équipements considérés dans l'étude sont 14 terminaux¹, les réseaux fixes (filaire et wifi) et mobiles (2G, 3G, 4G, mais aussi les futures 5G et 6G), ainsi que les centres informatiques (aussi appelés *data centers*). L'empreinte carbone de la phase amont de ces équipements, c'est-à-dire leur production et leur acheminement, a été considérée ainsi que l'empreinte carbone liée à leur utilisation. La fin de vie n'a pas été modélisée.

L'étude a permis d'estimer l'empreinte carbone pour l'année 2019 et s'est également attachée à réaliser des projections aux horizons 2025 et 2040.

On retiendra de l'état des lieux que le numérique français a émis environ 15 millions de tonnes équivalent CO₂ en 2019, principalement tirées par les terminaux (81%).

C'est la phase amont des équipements qui produit la quantité la plus importante de GES (78% des GES), alors que la consommation d'énergie est principalement issue de la phase utilisation (78% de la consommation d'énergie). Cette inversion des ratios s'explique par le fait que les équipements sont majoritairement issus d'importations de pays d'Asie, où l'intensité carbone de

¹ Les smartphones, les ordinateurs portables, les ordinateurs fixes, les imprimantes, les écrans d'ordinateur, les tablettes, les téléviseurs, les box et décodeurs, les consoles de jeu de salon, les consoles de jeu portables, les casques de réalité virtuelle, les enceintes connectées, les écrans publicitaires et les modules de connexion IoT.

l'électricité est nettement plus importante qu'en France. Par ailleurs, la fabrication des équipements est très consommatrice d'énergie fossile (extraction de minéraux notamment). Alors que la France représente 2,7% du PIB mondial, ses usages du numérique représentent 0,97% des GES mondiaux liés au numérique. En d'autres termes, les usages français du numérique sont globalement moins émetteurs de CO₂ que le niveau de richesse de la France ne pourrait le laisser présager. Le fait que l'électricité française soit peu carbonée explique à nouveau en grande partie ce résultat relativement favorable, qui ne doit pas masquer une autre réalité : par rapport aux autres secteurs de l'économie française, le numérique a une empreinte carbone similaire à celle du secteur de la chimie et de la pharmacie, supérieure à celle des transports collectifs terrestres et à peine inférieure à celle du transport aérien. Par ailleurs, le niveau d'émissions de GES « numériques » par habitant en France est plus élevé que la moyenne mondiale.

Les projections réalisées à l'horizon 2025 indiquent que l'empreinte carbone du numérique serait relativement stable en scénario central (de l'ordre de 16,5 millions de tonnes équivalent CO₂ en 2025). Cela s'explique par des phénomènes contradictoires : d'un côté, de nouveaux terminaux devraient arriver massivement sur le marché et le volume de données échangées devrait continuer de croître, malgré un taux de croissance en ralentissement ; d'un autre côté les équipements devraient poursuivre leurs gains d'efficacité énergétique, même si le rythme de ces gains décroît, et l'intensité carbone de l'électricité en France devrait encore diminuer du fait de la fermeture des centrales à charbon.

A l'horizon 2040, les résultats sont nettement plus préoccupants. En effet, on peut s'attendre à une hausse d'environ 60% de l'empreinte carbone du numérique si rien n'est fait pour la contraindre (25 millions de tonnes équivalent CO₂ en 2040). Cette hausse est pourtant contenue par la faible carbonation de l'électricité française. Si l'énergie française était aussi carbonée que la moyenne mondiale, l'empreinte carbone en 2040 serait *a minima* multipliée par 3.

La hausse de l'empreinte carbone à l'horizon 2040 est largement tirée par la tendance à l'installation de centres informatiques de petite taille (*edge computing*) sur le sol français et par les nouveaux terminaux, qui en plus de connecter les individus, connecteront les objets entre eux. Outre la hausse des émissions de GES, les usages projetés du numérique à l'horizon 2040 auront un impact significatif sur la consommation d'électricité domestique, interrogeant sur la capacité des réseaux électriques à y faire face.

Un calcul simple indique que si tous les autres secteurs de l'économie française réalisent des économies de carbone, de l'ordre de 2,2% par an en début de période et jusqu'à 5% en 2040, conformément aux Accords de Paris pour le Climat, le numérique est susceptible de représenter près de 7% de l'empreinte carbone des Français en 2040, alors qu'il pèse environ 2% en 2019. Il apparaît dès lors, que des dispositions législatives devraient être engagées afin d'éviter que cette projection ne se réalise.

En effet, les émissions de GES ont un impact sociétal négatif, auquel la science économique attribue une valeur de référence, dite valeur tutélaire du carbone et récemment rebaptisée valeur de l'action pour le climat. Entre la croissance de l'empreinte carbone du numérique et la

croissance de la valeur tutélaire du carbone, **le coût carbone infligé par le numérique à la société s'est élevé à 1 milliard d'euros en 2019 et passerait à 12 milliards d'euros en 2040** (et plus de 110 milliards en cumulé sur la période) en scénario central. Ce coût, qui serait à mettre en regard des bénéfices liés au numérique, donne un cap au décideur en position d'arbitrer entre prendre des mesures éventuellement coûteuses pour éviter des émissions de carbone et infliger le coût social lié à l'empreinte carbone du numérique.

L'ensemble de ces résultats doit être analysé avec précaution, et les scénarios contrastés doivent être considérés, destinés à tenir compte de la variation d'hypothèses sensibles.

Enfin, cette étude a permis de mettre en lumière la nécessité de poursuivre certains travaux, notamment sur la fin de vie des équipements et sur l'empreinte carbone des réseaux à l'international.

1. Introduction

1.1. La montée en puissance de la place du numérique dans le quotidien des français

L'année 1971 voit survenir deux événements majeurs, prémices de la révolution numérique : l'invention du microprocesseur et la mise en réseau d'une vingtaine d'ordinateurs éloignés géographiquement, préfigurant l'essor d'Internet.

Près d'un demi-siècle plus tard, le numérique est présent dans des secteurs d'activité toujours plus nombreux, tant dans les entreprises, l'Administration, que dans la vie privée des ménages.

Chez les ménages le taux d'équipement en terminaux s'est très fortement accru pendant la dernière décennie, comme l'illustrent les données produites par l'INSEE dans son étude « L'économie et la société à l'ère du numérique » de novembre 2019. Entre 2008 et 2017, la part des ménages équipés d'un ordinateur a augmenté de 15 points, passant de 62% en 2008 à 77% en 2017. Durant la même période, la part des ménages équipés d'une tablette tactile est passée de 2% à 42% et celle des ménages équipés en ordinateur portable, netbook ou ultraportable de 48% à 62%. Concernant les téléphones portables de type smartphone, la progression est également importante : 93% des ménages en sont équipés en 2017 contre 85% en 2011.

Le CREDOC quant à lui produit des indicateurs relatifs à l'usage des terminaux numériques² : en 15 ans, internet a intégré le quotidien de la plupart des ménages français. En 2005, seulement 52% des Français déclaraient accéder à internet. En 2019, 88% des Français de 12 ans et plus sont devenus des internautes. L'accès à internet mobile est devenu le mode d'accès dominant, poussé par le développement du smartphone. Aujourd'hui, plus des trois quarts des internautes se connectent tous les jours. Les Français passent ainsi de plus en plus de temps sur Internet en dehors de leur activité professionnelle. D'après l'« Étude de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition », publiée par Santé Publique France en 2017, alors qu'en 2006, 53 % des adultes déclaraient passer 3 heures ou plus devant un écran chaque jour en dehors de toute activité professionnelle, ils étaient 80 % en 2015.

Le numérique occupe également une part de plus en plus importante au sein de l'Administration. Aux côtés de la question de la numérisation des services publics, celle du pilotage et de la transformation du système d'information de l'Etat et celle de « l'Etat plateforme » se sont imposés comme des enjeux clés.

Depuis une vingtaine d'années, les technologies numériques transforment le fonctionnement de l'Administration et la relation au citoyen. Le déploiement de l'administration électronique, des services en ligne et des télé-procédures ont été initiés à la fin des années 1990, notamment par le Programme d'action gouvernemental pour la société de l'information (PAGSI). Aujourd'hui, à travers le plan Action publique 2022, l'Etat affiche pour objectif une dématérialisation de 100% des démarches administratives d'ici 2022.

² Baromètre du Numérique 2019, CREDOC

L'Administration électronique a été rapidement considérée comme un levier de la réforme de l'Administration. Cette politique de numérisation a permis d'offrir aux usagers une offre de service plus performante devenant un vecteur d'amélioration de la relation entre l'Administration et les citoyens. Son développement s'est également inscrit dans une perspective de maîtrise des dépenses publiques. A titre d'exemple, une procédure électronique a un coût de traitement cent fois plus faible que celui d'une procédure papier (cf. L'administration électronique ou l'e-administration, Henri Oberdorff, 2006)

Du côté des entreprises, le numérique est également devenu prégnant. Le chiffre d'affaires du secteur de l'intelligence artificielle devrait être multiplié par 10 entre 2017 (4,8 milliards au niveau mondial) et 2022-2023, d'après les indicateurs de Statista.

La France veille tout particulièrement à être un moteur de ce tournant technologique. D'après les projections de France Digitale et Roland Berger, le secteur de l'intelligence artificielle en France aurait connu la création de 102 nouvelles start-ups en un an, passant de 333 start-ups de l'IA en 2018 à 435 en 2019. Ces jeunes entreprises françaises de l'IA auraient récolté 1 268 millions de dollars en 2019, soit le double des fonds levés en 2018 (567 millions de dollars).

Dans les entreprises traditionnelles, le numérique est également souvent au cœur de la stratégie. Auparavant utilisé comme un moyen au service de la stratégie, il en est devenu une partie intégrante jouant un rôle de catalyseur de la transformation permettant de s'adapter à un nouvel environnement.

Le numérique a également aidé de nombreux secteurs à se réinventer afin de réduire leur empreinte environnementale. Par exemple, les publicités papier de la grande distribution ont peu à peu laissé place à une communication ciblée sur Internet, les bâtiments connectés ont permis de réguler les consommations énergétiques sur les lieux de travail ou encore les applications mobiles apportent des éclairages sur les produits au consommateur pour l'aider à mieux consommer. Mais le sujet de la sobriété énergétique est également devenu un enjeu pour le numérique lui-même.

En effet, qu'il s'agisse des ménages, des entreprises ou des administrations, les conséquences positives du numérique sont notoires, notamment en matière d'augmentation de stock et de création de connaissances, de vitesse de circulation des idées, ou encore de mobilisation active des usagers (économie collaborative, innovation ouverte, clusters, etc.).

Le volume de données numériques échangées sur des terminaux en France doublerait tous les trois ans³. Pour traiter, faire circuler et stocker ces données, de nombreux équipements sont nécessaires, qui sont la réalité physique du digital.

Si l'essor du numérique a permis de nombreux progrès, d'autres voix se font peu à peu entendre à propos de ses externalités négatives : menaces sur l'emploi, sur le droit à la vie privée, effets sur la santé, fracture numérique et empreinte carbone. C'est sur ce dernier point que porte le présent rapport.

³ Source : calcul des auteurs

1.2. Les préoccupations sur l'impact environnemental du numérique confirmées par de récentes études mais peu traduites en matière de politiques publiques

En 2008, 35% des Français considéraient internet et les ordinateurs comme une menace pour l'environnement. Cette proportion a progressé de près de 10 points en 10 ans pour atteindre 44% en 2019⁴, dépassant ainsi la part de ceux qui perçoivent les ordinateurs et internet comme une chance pour l'environnement (38% de la population en 2019, soit une baisse de 15 points par rapport à 2008).

On appelle « pollution numérique » l'ensemble des pollutions liées à la possession ou à l'usage d'un système numérique. En effet, dès leur fabrication, les équipements et réseaux numériques nécessitent d'importantes quantités de matières premières, notamment de métaux. L'extraction de ces ressources et leur transformation en composants électroniques représentent une première source d'impacts environnementaux. Par exemple, entre 40 et 60 métaux différents sont nécessaires à la fabrication d'un téléphone portable. Seulement une vingtaine de ces métaux sont actuellement recyclables et seuls 16% des téléphones font l'objet d'une collecte pour être dépollués. Cet exemple illustre également qu'après la phase d'utilisation, la fin de vie des équipements est, elle aussi génératrice de pollutions. Bien qu'essentiellement invisible et donc difficile à appréhender, la pollution associée au numérique n'en est pas moins mesurable.

A l'échelle mondiale, l'article d'Andrae et Edler (2015)⁵ estime la consommation d'électricité du numérique dans le monde en 2010 (2000 TWh) et propose des projections jusqu'en 2030 (autour de 8000 TWh dans leur scénario central). Les auteurs estiment que la production annuelle de terminaux numériques tels que les smartphones, les « phablettes » (smartphones à grand écran) ou modems, alors récents en 2010, devrait être multipliée par 10 à horizon 2030. En tenant compte des marges d'erreur importantes, ils estiment les rythmes d'évolution de la consommation d'électricité du numérique dans le monde à entre 3% et 13% par an à horizon 2030. Dans l'hypothèse centrale, le taux de croissance annuel composé est estimé à 7%. Tous leurs scénarios prévoient ainsi une hausse du volume de données échangées sur les réseaux plus rapide que celle des gains d'efficacité desdits réseaux. Dans le même temps, Andrae estime dans cet article et confirme dans des travaux récents⁶ d'une part, que la quantité d'énergie primaire devrait évoluer au même rythme que l'électricité produite dans le monde, et d'autre part, que l'intensité carbone de l'énergie primaire ne devrait diminuer que légèrement en passant de 0,061 kgCO₂eq/MJ en 2015 à 0,059 en 2020, puis à 0,055 en 2030. Les émissions de GES imputables au numérique

⁴ « Baromètre du numérique 2019, Enquête sur la diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française en 2019 », ARCEP, Conseil Général de l'Économie et Agence du Numérique

⁵ Andrae et Edler, 2015, « On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030 », Challenges

⁶ Andrae, 2020, « Hypotheses for primary energy use, electricity use and CO2 emissions of global computing and its shares of the total between 2020 and 2030 », WSEAS TRANSACTIONS on POWER SYSTEMS

devraient donc augmenter presque aussi rapidement que la consommation électrique dans le monde selon ce spécialiste.

Toujours à l'échelle mondiale, le rapport du Shift Project de 2018⁷ pointe que le secteur du numérique représente désormais 3,7% des émissions de gaz à effet de serre dans le monde, contre 2,5% 5 ans auparavant. Le bilan environnemental en termes d'émissions de gaz à effet de serre (GES) serait devenu plus lourd que celui du transport aérien. Le rapport met également en avant la très forte croissance des émissions de GES dues au numérique, d'environ 8% par an, tandis qu'en moyenne, les autres secteurs ne progressent « que » de 1% par an, hausse pourtant déjà incompatible avec les objectifs de réduction des émissions visant à limiter le réchauffement climatique à 2°C.

Au niveau français, le Conseil Général de l'Économie, dépendant du Ministère de l'Économie, des Finances, de l'Action et des Comptes publics, a publié en décembre 2019 un rapport intitulé « Réduire la consommation énergétique du numérique ». Les auteurs estiment la consommation énergétique du numérique pour les années 2015 et 2018 et réalisent des projections jusqu'en 2030. Pour l'année 2018, ils estiment à 35 TWh la consommation énergétique liée aux terminaux, réseaux et centres informatiques utilisés en France. Leurs projections centrales, à horizon 2030 sont plutôt optimistes, avec une diminution de 11% en 12 ans : ils estiment que les hausses très fortes d'utilisation des centres informatiques et des réseaux seront plus que compensées par des gains d'efficacité énergétique d'environ 5% par an par composante. Ils indiquent toutefois que la poursuite de la progression des usages vidéo est susceptible de surcompenser ces gains, aboutissant ainsi, non plus à une diminution, mais au contraire à une augmentation de 21% de la consommation.

Plus ou moins alarmistes, les différents travaux existants sur la consommation énergétique et environnementale du numérique soulignent tous la nécessité de politiques publiques visant à infléchir ces consommations, génératrices d'externalités négatives.

Pourtant, il n'existe pas à ce jour en France de politiques publiques applicables qui concerneraient précisément la réduction de l'empreinte carbone du numérique. La politique d'économie circulaire menée en France vise à réduire les déchets numériques et améliorer les performances de réparation des équipements numériques dans le cadre de la filière DEEE. Cette politique n'est pas propre au numérique. Très largement, les mesures existantes s'inscrivent dans des champs d'application couvrant des domaines plus larges que le numérique.

Introduite par la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte, la Stratégie Nationale Bas Carbone, a deux ambitions : atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 et réduire l'empreinte carbone de la consommation des Français. Elle définit également une trajectoire de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). A l'instar de l'ensemble des secteurs

⁷ « Lean ICT : pour une sobriété numérique », The Shift Project, 2018

d'activité, le numérique participe à ces objectifs globaux de réduction d'émission de GES. Toutefois, aucun objectif précis et mesurable n'est établi pour le seul secteur du numérique.

Comme nous le verrons dans le chapitre 2, trois sous-ensembles constituent le numérique : les terminaux, les réseaux et les centres informatiques, souvent appelés data centers.

Concernant les terminaux, les normes européennes liées à une meilleure gestion du cycle de vie du produit, à leur conception, à l'écoconception, au contenu des produits et l'affichage environnemental, à la limitation des substances dangereuses, à l'obsolescence programmée et à la gestion des DEEE (Déchets d'équipements électriques et électroniques) sont applicables. Notons que l'ensemble de ces réglementations couvrent des domaines plus vastes que le numérique et qu'elles fournissent peu d'objectifs chiffrés. Par exemple, s'agissant de l'obsolescence programmée, la mesure indique l'interdiction de mise sur le marché de toute technique qui rend impossible la réparation ou le reconditionnement d'un appareil.

La question de l'énergie consommée par les réseaux n'a pas été normée. Ce sous-ensemble ne fait pas l'objet de mesures particulières.

Enfin, les centres informatiques sont soumis aux règles applicables à l'ensemble des bâtiments du secteur tertiaire. A titre d'exemple, ils doivent appliquer les mesures précisées dans le « décret de rénovation tertiaire ». Ce décret présente une obligation d'amélioration de la performance énergétique du parc tertiaire instaurée par la loi Grenelle II puis repris par la Loi de Transition énergétique et enfin dans la Loi ELAN. Il impose une réduction de la consommation énergétique du parc tertiaire français, à savoir un objectif de réduction des consommations énergétiques (énergie finale) des bâtiments : -40% en 2030, -50% en 2040 et -60% en 2050 par rapport à la consommation de 2010. Ce décret a vocation à couvrir l'ensemble de la consommation des centres informatiques (bâtiment et contenus, c'est-à-dire en l'occurrence les machines qu'ils abritent). Les modalités spécifiques d'application de ce décret sont encore floues, et font l'objet d'un groupe de travail entre le MTES et les représentants du secteur.

Ce très bref résumé, dont on trouvera des détails en annexe 1 suggère que peu a été fait à ce jour en matière de dispositions législatives visant à réduire, sinon contenir, l'empreinte carbone liée au numérique. Les projections d'empreinte carbone aux horizons 2025 et 2040 du chapitre 5 se basent, pour le scénario central, sur une poursuite du cadre législatif actuel, qui ne définit pas de véritable stratégie globale et complète visant à réduire spécifiquement l'empreinte environnementale du numérique sur l'ensemble du cycle de vie des équipements. Ainsi, les projections estiment quelle serait l'empreinte carbone du numérique si aucune disposition législative spécifique ne venait contraindre son évolution.

1.3. Les singularités de la présente étude

La présente étude porte sur les consommations énergétiques et l'empreinte environnementale générées par le numérique en France.

Notons que les usages français du numérique induisent des consommations énergétiques en dehors de nos frontières : c'est notamment le cas pour la phase amont de production et

d'acheminement des équipements, ainsi que pour le stockage des données à l'étranger et les flux internationaux de données stockées à l'étranger vers la France. En effet, 55% du trafic de données vers les utilisateurs en France provient de l'étranger⁸, en particulier des centres informatiques des GAFAM⁹ implantés aux États-Unis, en Irlande, etc. C'est ce que l'on appelle les « fuites de carbone ». Toutes ces consommations hors de France sont prises en compte.

En outre, par rapport aux travaux de décembre 2019 du CGE, le périmètre des terminaux étudié est élargi, comme nous le verrons dans le chapitre suivant.

Enfin, l'horizon 2040 pour lequel des projections sont réalisées permet d'étendre la perspective : que se passerait-il en matière d'émissions carbone liées au numérique si les politiques publiques n'évoluaient pas ?

⁸ Source : calcul des auteurs, à partir des capacités d'interconnexion des principaux fournisseurs d'accès à internet (données ARCEP, 2019) et des capacités d'interconnexion (bande passante) totales dans le monde (McKinsey, 2019)

⁹ Google, Amazon, Facebook, Apple et Microsoft, soit les entreprises Américaines dominant les services numériques dans le monde

2. Le périmètre de l'étude

Les usages numériques s'appuient sur des équipements et infrastructures, qui peuvent être répartis en trois sous-ensembles : les terminaux, les centres informatiques ou data center, et les réseaux.

Les terminaux numériques et les serveurs sont des périphériques réseaux, connectés entre eux par des réseaux. Les terminaux numériques sont ainsi des points d'accès de communication entre l'homme et un ensemble de serveurs, abrités dans des centres informatiques. Schématiquement, les terminaux sont reliés à des centres informatiques, où un serveur se charge de traiter les commandes de l'utilisateur et de renvoyer aux terminaux les informations résultant des traitements. Notons que les terminaux peuvent aussi être reliés entre eux, communiquant par les réseaux, sans passer par les centres informatiques, ce que l'on appelle communication pair-à-pair (peer-to-peer). C'est par exemple le cas de l'utilisation du bluetooth. La communication entre terminaux ou entre terminaux et serveurs peut emprunter différents supports, comme les réseaux mobiles (2G, 3G, 4G et future 5G) ou filaires (câble et wifi).

2.1. Les terminaux numériques

Communiquer par visioconférence, utiliser les réseaux sociaux, faire une recherche en ligne, regarder une vidéo en streaming, jouer en réseau aux jeux vidéo, envoyer et stocker des courriels, utiliser un objet connecté sont autant d'actions qui nécessitent l'utilisation d'un terminal. Ces dix dernières années, les terminaux se sont puissamment diversifiés. L'ordinateur, la tablette et le smartphone constituent le trio de tête mais de nombreux autres terminaux sont également utilisés tels que les box internet, les montres connectées, les écrans, les imprimantes, les consoles de jeu ou encore les casques de réalité virtuelle. Peu à peu, de nouveaux objets du quotidien, hors de la sphère professionnelle et privée des logements s'ouvrent au numérique : c'est notamment le cas des véhicules.

Les 14 terminaux considérés dans cette étude pour l'état des lieux 2019 sont listés ci-dessous :

- Les **smartphones** : ces derniers, aussi appelés « téléphones intelligents », désignent des téléphones mobiles dotés de fonctionnalités évoluées qui s'apparentent à celles d'un ordinateur : navigation sur internet, lecture de vidéos, de musique, de courrier électronique, bureautique légère, etc. Ils sont munis d'un processeur puissant, qui embarque une série de capteurs qui lui permettent de faire fonctionner des applications de navigation assistée ;
- Les **ordinateurs portables** sont des ordinateurs personnels dont le poids et les dimensions limitées permettent un transport facile. Un ordinateur portable est muni des mêmes types de composants qu'un ordinateur fixe classique, mais il intègre un écran, des haut-parleurs et un clavier physique.
- Les **ordinateurs fixes**, parfois appelés ordinateur de bureau (desk computer), sont destinés à être utilisés sur des bureaux ou tout autre endroit fixe, du fait de leurs dimensions, de leur masse et de leur alimentation électrique. L'unité centrale est le plus souvent composée d'un boîtier qui comprend un bloc d'alimentation, une carte mère et

un système d'entrées-sorties. Plusieurs périphériques peuvent y être connectés, dont certains sont listés ci-dessous : un écran, un clavier, une souris, des haut-parleurs, une imprimante, etc. ;

- Les **imprimantes** : ce sont des périphériques d'ordinateurs permettant d'imprimer sur papier des éléments textuels ou graphiques. Les imprimantes se distinguent notamment par leur vitesse d'impression, la résolution, c'est-à-dire la précision d'impression, la mémoire, les consommables, en particulier les cartouches d'encre qu'elles utilisent, l'interface avec l'ordinateur ;
- Les **écrans d'ordinateurs** : ce sont également des périphériques de sortie visuelle et sonore d'ordinateur. Ils sont parfois utilisés en complément des écrans intégrés des ordinateurs portables, comme second écran. Ils se distinguent notamment par leur taille et leur résolution ;
- Les **tablettes**, parfois appelées tablettes tactiles, tablettes électroniques ou tablettes numériques, sont des ordinateurs portables ultraplats qui se présentent sous la forme d'un écran tactile sans clavier. C'est une sorte d'intermédiaire entre l'ordinateur portable et le smartphone ;
- Les **téléviseurs** permettent la transmission d'images sur un écran par câble ou fibre (qui sont des supports physiques) ou par ondes radioélectriques (TNT et satellite) ;
- Les **Box** (internet et TV) : elles désignent les boîtiers de connexion mis à disposition par les fournisseurs d'accès à internet (FAI) afin de bénéficier d'internet par réseau fixe. Les offres des FAI permettent généralement de coupler l'accès à internet, la téléphonie fixe illimitée et l'accès à un bouquet de chaînes télévisées ;
- Les **consoles de jeu de salon** : ce sont des ordinateurs autonomes servant principalement à jouer à des jeux vidéo en ligne ou hors ligne, mais également à regarder des contenus en streaming vidéo¹⁰. Les consoles de salon sont connectées à un écran de télévision, sur lequel se branchent les sorties audio et vidéo ;
- Les **consoles de jeu portables** : à la différence des consoles de salon, les consoles de jeu portables, de petite taille, possèdent leur propre écran et sont de fait autonomes et facilement transportables ;
- Les **casques de réalité virtuelle**, aussi appelés visiocasques, sont des équipements portés sur la tête, qui installent un écran devant chaque œil, accompagnés d'écouteurs. Ils permettent aux personnes qui les portent de plonger dans un monde numérique virtuel. Ils sont souvent associés aux jeux vidéo, mais peuvent également être utilisés dans des contextes professionnels tels que la médecine ;
- Les **enceintes connectées**, parfois appelées haut-parleurs intelligents ou « enceintes intelligentes », sont des haut-parleurs sans fil à commande vocale, qui intègrent un assistant virtuel doté d'une intelligence artificielle avec laquelle l'utilisateur peut interagir par la parole. L'assistant virtuel peut interagir avec les objets qui lui sont connectés (IoT ou IIoT) pour en modifier le fonctionnement.
- Les **écrans publicitaires** ou panneaux d'affichage digitaux présentent des capacités d'affichage et de ciblage enrichies par rapport à l'affichage publicitaire traditionnel. Ces panneaux peuvent être installés en intérieur (aéroports par exemple), ou à l'extérieur.

¹⁰ Le streaming vidéo permet de visionner de manière instantanée des contenus en ligne, sans télécharger de fichier sur le disque dur.

L'exemple emblématique est celui de Times Square à New-York. Depuis, d'importants progrès ont été accomplis, en matière d'interaction avec le passant, certains de ces écrans pouvant modifier leur contenu en fonction de qui les regarde.

- Les **modules de connexion IoT** (internet des objets ou « Internet of Things » en anglais) : miniaturisés et en général invisibles, ils sont intégrés dans l'objet (une ampoule électrique ou une poêle, par exemple) ou l'équipement (un réfrigérateur ou un four, par exemple). Ces modules comportent plusieurs circuits intégrés leur permettant d'interagir avec l'objet ou l'équipement, de traiter des données et de communiquer via une interface filaire ou une interface radio avec une passerelle ou centrale de gestion, elle-même en général connectée à Internet.

2.2. Les centres informatiques

Les centres informatiques (en anglais *data center*) sont des lieux où sont effectués des services de stockage et de traitement de données pour des utilisateurs multiples (entreprises ou consommateurs), utilisateurs auxquels les centres informatiques sont reliés par le réseau numérique. Un centre informatique peut opérer à des échelles réduites, comme celle d'une entreprise et ses serveurs, ou au contraire à l'échelle internationale (ex : recours au Cloud, utilisation des services des GAFAM). Les centres informatiques hébergent des serveurs – ordinateurs réalisant des traitements – ainsi que des baies - disques durs stockant les données.

Selon une étude prospective de Xerfi¹¹ de 2018, la France compterait environ 200 data center d'hébergement et de *cloud computing* en 2020 soit 20 de plus qu'en 2018.

Le développement du big data et de l'intelligence artificielle, le déploiement de l'internet des objets et l'explosion des besoins de connectivité expliquent l'ouverture de ces nouveaux centres qui permettent de démultiplier les capacités de stockage et de calcul. Ils répondent aux besoins des entreprises et des administrations qui souhaitent externaliser leur informatique et migrer vers le cloud afin de réduire les coûts, de gagner en flexibilité et d'améliorer la qualité des services. Les centres informatiques présents en France dans les années à venir peuvent être rangés en deux catégories :

- Les **centres informatiques « classiques »** d'une part, c'est-à-dire des centres informatiques de taille petite à grande qui hébergent des équipements appartenant à des entreprises, en mode privatif (les locaux appartiennent à l'entreprise) ou en colocation (les locaux appartiennent à un hébergeur spécialisé) ;
- Les « **hyperdatacenters** » ou *hyperscale* d'autre part. Ce sont des centres informatiques de très grande taille conçus pour réaliser des économies d'échelle et gérés par des opérateurs de services « cloud ». Absents de France pour l'instant, les premiers hyperdatacenters devraient être pleinement opérationnels dès 2022 sous l'impulsion des grands fournisseurs de contenus et applications tels que les GAFAM.

Au sein la catégorie « classiques », des data centers de type « *edge computing* » devraient émerger. Petits et au plus proches des utilisateurs, comme par exemple sur des sites industriels, ils

¹¹ Les hébergeurs et gestionnaires de data centers à l'horizon 2020, XERFI, septembre 2018

devraient permettre l'accélération de l'internet des objets et de l'internet industriel des objets (IoT et IIoT). Deux évolutions contraires vont donc se produire au sein du parc des data centers, l'une d'accroissement de la taille (et de l'efficacité énergétique), l'autre de la multiplication de sites plus petits. En tout cas, la tendance est clairement à l'augmentation, dans les années à venir, du nombre et de la surface des centres informatiques sur le territoire français.

En plus de ces deux catégories de centres informatiques sur le territoire, des data centers traitent et stockent des données pour des usages français depuis l'étranger. Ils sont majoritairement de grande dimension, de type « hyperdatacenter », afin d'héberger les services dominants du Web, c'est-à-dire notamment ceux des GAFAM et de Netflix. Aujourd'hui, ils restent surtout implantés aux Etats-Unis. Ils peuvent aussi être localisés dans des pays comme l'Irlande et les Pays-Bas, d'où ils desservent l'Europe de l'Ouest.

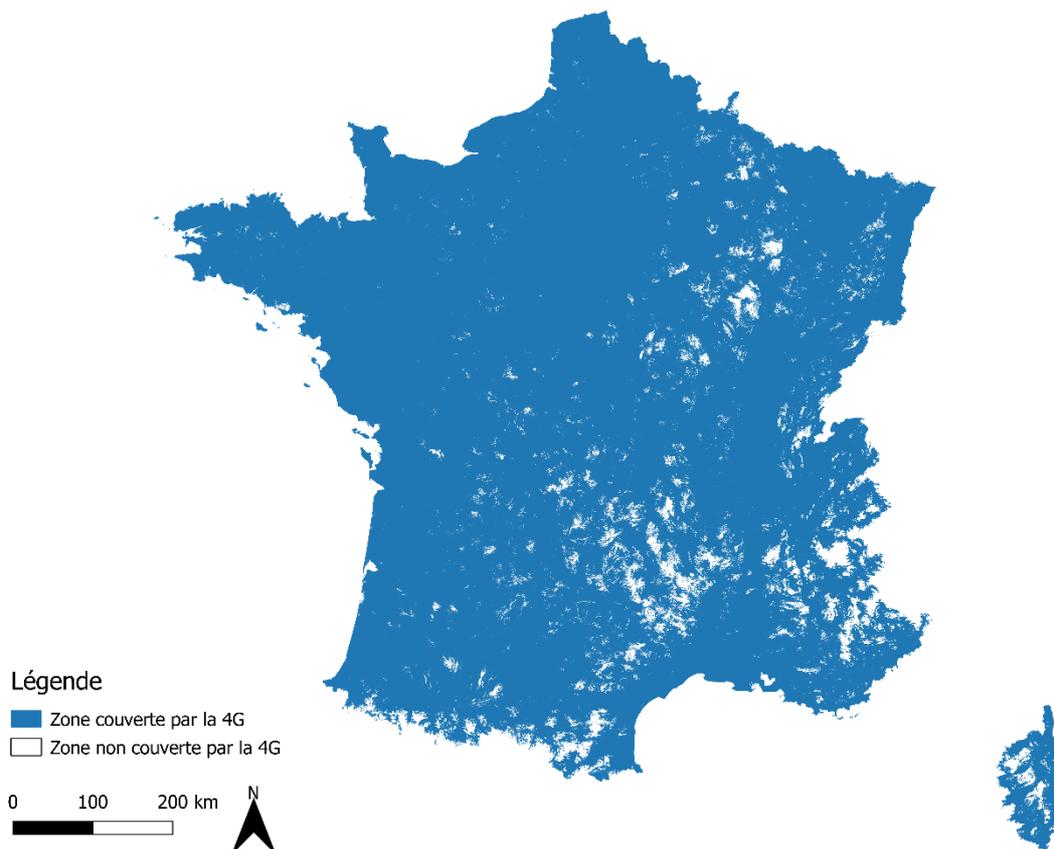
2.3. Les réseaux

Les réseaux sont les canaux de transport des informations numériques. De part et d'autre des réseaux, on trouve les terminaux numériques et les centres informatiques. Les réseaux permettent également les échanges d'informations entre terminaux numériques (communication pair-à-pair).

Les réseaux peuvent être mobiles - c'est le cas de la 2G, de la 3G, de la 4G et des futures 5G et 6G - ou fixes - c'est le cas du filaire ou du wifi. Les canaux de transmission peuvent ainsi être de différents types : paires de cuivre, câble coaxial, fibres optiques ou technologie sans fil.

Les réseaux de télécommunication sont très développés en France. A titre d'exemple, on compte 51 756 antennes 4G fin 2019 (y compris multi-opérateurs, ou 74 136 sites-opérateurs) sur le territoire national. Celles-ci ont permis un trafic de plus de 5 Exaoctets en 2019, 15 fois supérieur au trafic de données mobiles en 3G¹². Le déploiement de la 4G n'est pas pour autant achevé. La carte ci-dessous présente les « zones blanches », qui n'ont aucune couverture 4G sur le territoire métropolitain.

¹² Calcul des auteurs, à partir des données ARCEP et Cisco



Carte 1. Couverture 4G de la France métropolitaine au 4^e trimestre 2019
Source : mission à partir de données de l'Arcep¹

2.4. La phase amont et la phase utilisation

Les empreintes énergétiques et carbone du numérique français ne se limitent pas aux utilisations des terminaux, réseaux et centres informatiques sur le territoire. Ces équipements et infrastructures qui composent le numérique français ont une empreinte énergétique embarquée, c'est-à-dire qu'il a fallu mobiliser de l'énergie pour concevoir, produire et acheminer ce matériel jusqu'aux utilisateurs. Cette dépense d'énergie, communément désignée comme « énergie grise », résulte en émissions de gaz à effet de serre dès lors que des sources d'énergie fossile sont employées directement ou indirectement.

L'analyse du cycle de vie est une méthode d'évaluation environnementale multicritères normalisée (ISO 14040 et 14044) de systèmes. L'énergie et l'empreinte carbone sont parmi les critères évalués. Elle distingue plusieurs étapes dans le cycle de vie des systèmes, dont les premières vont de l'extraction des matériaux jusqu'à la distribution et la vente, en passant notamment par la production des composantes matérielles des systèmes. L'énergie grise est dépensée lors de ces étapes, que l'on réunit ici sous le terme de « phase amont ». Vient ensuite

l'étape d'utilisation du système que l'on désignera comme « phase utilisation ». Enfin, l'étape de gestion de la fin de vie est aussi évaluée dans les analyses du cycle de vie.

Notre évaluation s'appuie sur des analyses du cycle de vie des systèmes du numérique, c'est-à-dire des principaux équipements des trois sous-ensembles comme défini *supra*, pour obtenir des données sur leurs dépenses énergétiques et émissions de GES en phase amont et en phase utilisation. La phase aval de gestion de fin de vie est laissée hors champs, car les ordres de grandeur d'émissions de GES associées apparaissent comme négligeables au regard des émissions des autres phases. L'action pour le climat est loin d'être un enjeu prioritaire en fin de vie ; les questions de l'épuisement des matières premières et de pollution de l'eau se posent avec bien plus de force. De plus, les études à l'échelle mondiale précitées développent d'autres enjeux que le potentiel de réchauffement climatique en phase aval (GreenIT, 2019 et Shift Project, 2018), ou bien laissent également cette phase hors champs (Andrae et Edler, 2015).

La différence entre phase amont et phase utilisation peut aussi se comprendre par analogie financière. Les dépenses d'investissement et d'exploitations sont des flux qui ressemblent aux émissions de GES en phase amont et utilisation respectivement. Les émissions amont n'ont lieu qu'une seule fois en début de cycle, tandis que les émissions d'utilisation dépendent largement de la durée de vie du système. Le choix peut aussi être fait d'amortir les émissions amont sur la durée de vie supposée de l'équipement, comme dans un compte de résultats. Notre évaluation fait le choix d'enregistrer les dépenses énergétiques et émissions de GES lorsqu'elles surviennent – à la manière d'un état des flux de trésorerie.

3. Indicateurs calculés, scénarisation et méthode de collecte des données d'entrée du modèle

Ce chapitre a vocation à définir les indicateurs finaux calculés par le modèle, et dont les valeurs seront présentées dans le chapitre 4 (pour la partie état des lieux) et le chapitre 5 (pour la partie projections). Dans le présent chapitre, la mécanique du modèle et les principales hypothèses et données d'entrée sont également décrites.

3.1. Indicateurs calculés

Plusieurs indicateurs sont calculés : la consommation d'énergie primaire, les tonnes de CO₂ et l'équivalent monétaire des tonnes de CO₂. En outre, bien que ne constituant pas un indicateur environnemental au sens strict du terme, la consommation d'électricité en phase d'utilisation est calculée.

3.1.1. Consommation d'énergie primaire et d'énergie finale

Le premier indicateur calculé, nécessaire à l'estimation de l'empreinte carbone du numérique est l'énergie primaire. L'énergie primaire représente le « potentiel de transformation » (mouvement, chaleur, courant électrique, etc.) de sources d'énergie présentes dans la nature : vent, biomasse, énergie fossile, combustible nucléaire, etc.

Si une éolienne avait un rendement à 100%, alors l'électricité produite (énergie secondaire) serait égale à la force du vent (énergie primaire). Ce rendement théorique n'est jamais atteint, puisqu'il existe des pertes à chaque transformation d'énergie. Une partie de la force du vent est transformée en frictions et donc en chaleur dans l'éolienne, plutôt qu'en électricité. Viennent ensuite les pertes du réseau qui acheminent l'énergie secondaire et la transforment ainsi en énergie finale. Enfin, nos appareils et équipements, y compris numériques, convertissent avec des pertes l'énergie finale en énergie « utile » que nous consommons (ex : chaleur, lumière...).

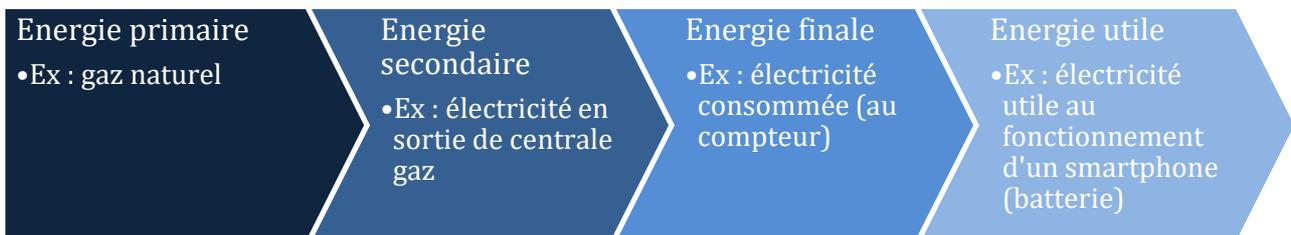


Figure 1. Stades de l'énergie

L'énergie primaire est donc « amont » tandis que l'électricité est une forme d'énergie secondaire, qui s'inscrit dans le schéma vectoriel suivant des énergies en France :

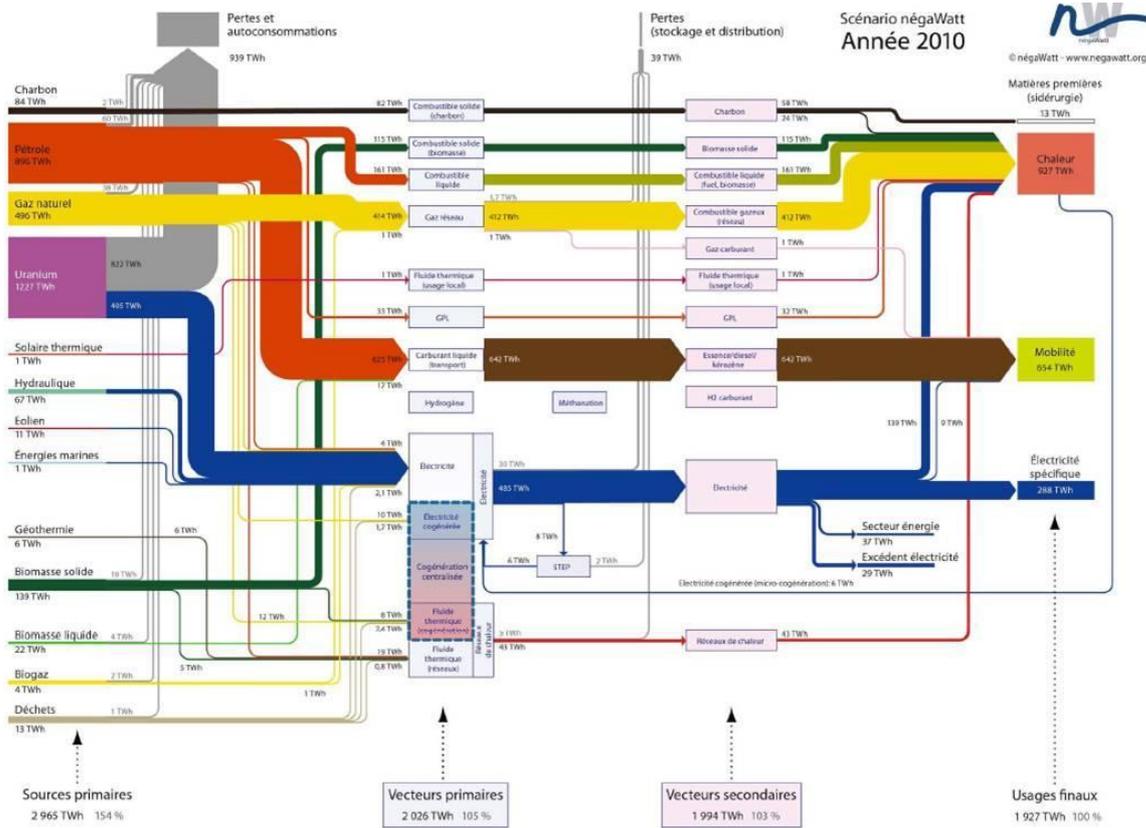


Figure 2. De l'énergie primaire à l'énergie finale
 Source : Négawatt, 2012, « Le scénario Négawatt », présentation de Thierry Salomon

L'énergie employée en phase amont des sous-ensembles numériques a des formes multiples, comme par exemple la combustion de fioul par les cargos dans les phases de transport de composants, et doit donc être exprimée en énergie primaire pour faciliter son estimation totale. Au contraire, l'énergie employée en phase utilisation des sous-ensembles numériques est majoritairement électrique. Un facteur institutionnel de 2,58 (énergie primaire / électricité finale) est utilisé pour convertir les consommations électriques en phase utilisation en énergie, ce qui permet de comparer ou additionner les deux phases. En d'autres termes, une unité d'électricité finale correspond à 2,58 unités d'énergie primaire.

De plus, seule l'énergie primaire constitue un indicateur environnemental¹³.

3.1.2. Les tonnes équivalent de CO₂

Une fois les consommations énergétiques estimées, elles peuvent être traduites en tonnes équivalent de CO₂ (tCO₂eq). Les tonnes équivalent de CO₂, créées par le GIEC, permettent

¹³ Voir par exemple GreenIT, 2019 : « Empreinte environnementale du numérique mondial »

d'agréger en une même unité le potentiel en matière de réchauffement climatique de l'ensemble des gaz à effet de serre. Pour ce faire, un « potentiel de réchauffement global » (PRG) est attribué à chaque gaz à effet de serre ; le PRG est estimé relativement au CO₂, qui sert donc d'étalon pour cette unité.

Par exemple, sur une période de 20 ans, le PRG du méthane est supposé être de 84 ; en d'autres termes, une tonne de méthane « vaut » 84 tonnes de CO₂ en termes d'impact sur le réchauffement climatique.

3.1.3. L'équivalent monétaire du carbone

Cet indicateur permet d'attribuer au carbone produit ou évité une valeur monétaire, puisque ce dernier constitue un coût social.

France Stratégie, au travers du rapport 2019 présidé par Alain Quinet, révisé à la hausse par rapport à 2008 la valeur tutélaire du carbone, également appelée valeur nationale de l'action pour le climat. Cette nouvelle valeur de l'action pour le climat représente la valeur que la collectivité doit donner aux actions à entreprendre permettant d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2050 (zéro émission nette), tel qu'inscrit dans l'Accord de Paris de 2015 et le Plan Climat français de 2017.

L'évolution de valeur peut être ventilée en trois phases :

- Sa valeur en 2018 est identique à celle définie en 2008, soit 54 € par tCO₂eq ;
- Ses valeurs en 2030 et 2040 sont issues de modélisations de la commission, et traduisent le coût des technologies nécessaires à l'atteinte de l'objectif de neutralité carbone. Son évolution est beaucoup plus rapide que celle définie en 2008 ; elle atteint une valeur de 250 € en 2030, contre 110 € fixés par la commission de 2008. Cette augmentation traduit notamment le retard pris, et le chemin qui reste à parcourir, dans l'atteinte des objectifs.
- Son évolution entre 2040 et 2050 suit la « règle d'Hotelling », c'est-à-dire que sa valeur croît au même rythme que le taux d'actualisation socio-économique (4,5%). En d'autres termes, sa valeur n'est pas amoindrie par le jeu de l'actualisation.

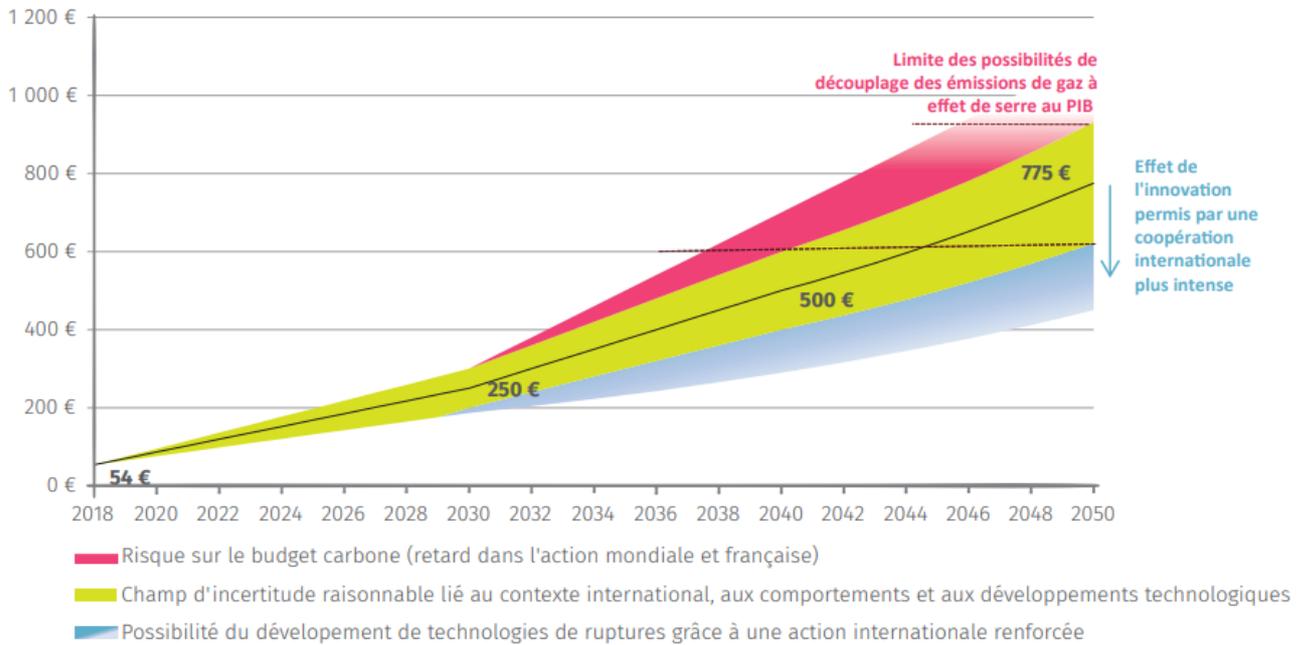


Figure 3. L'évolution de la valeur de l'action pour le climat

Concrètement, la valeur de l'action pour le climat sous-tend que :

- Une tonne de carbone émise constitue une externalité négative qui inflige un coût à la société sans qu'il y ait pourtant de transaction marchande ; ce coût est estimé à 54€ en 2018, 71€ en 2019, 250€ en 2030, 500€ en 2040 et 775€ en 2050 ;
- L'ensemble des actions permettant de réduire les émissions de CO₂ à un coût inférieur à 250 € par tonne à l'horizon 2030 doivent être mises en œuvre afin d'atteindre l'objectif de neutralité carbone ;
- Si ce n'est pas le cas, et que le coût de l'action paraît trop élevé au regard de la valeur tutélaire du carbone, alors il peut être préférable de continuer à innover, et de ne mettre en place l'action qu'une fois qu'elle sera devenue rentable.

Une valeur de 250€ par tonne de CO₂ en 2030 n'indique pas qu'une taxe carbone de 250€ est effectivement instaurée. En revanche, si l'on souhaite internaliser l'externalité négative, une telle taxe pourrait être appliquée aux pollueurs. Cette valeur est un prix fictif, qui donne un cap aux décideurs en position d'arbitrer entre infliger un coût environnemental à la collectivité et investir dans des mesures visant à éviter cette externalité.

3.2. Scénarisation

Les données d'entrée mobilisées pour l'estimation de la consommation énergétique et de l'empreinte carbone du numérique en 2019, ainsi que pour les projections à horizon 2025 et 2040, sont soumises à un certain niveau d'aléas.

Par exemple, une moyenne pondérée des émissions en phase amont des smartphones n'a pas pu être identifiée ni modélisée par la mission. De multiples émissions par modèle de smartphone, très variables, ont toutefois pu être identifiées.

Afin de tenir compte de ces écarts parfois importants, un premier **scénario dit « central »** est modélisé en se basant sur les données de niveau (en 2019) et d'évolution (pour les projections) considérées les plus probables. Deux autres scénarios sont ensuite modélisés :

- Un **scénario variante basse du scénario central**, dit scénario bas, retient, lorsque plusieurs données ont pu être identifiées dans la littérature académique ou institutionnelle, les données de niveau et d'évolution les plus conservatrices, c'est-à-dire les plus favorables en matière d'empreinte carbone. Si seule une donnée « centrale » a été identifiée dans la littérature, une hypothèse de réduction est formulée pour cette variante.
- Un **scénario variante haute du scénario central**, dit scénario haut, retient, lorsque plusieurs données ont pu être identifiées dans la littérature académique ou institutionnelle, les données de niveau et d'évolution les plus élevées, c'est-à-dire les plus pessimistes en matière d'empreinte carbone. Si seule une donnée « centrale » a été identifiée dans la littérature, une hypothèse de hausse est formulée pour cette variante.

Les trois scénarios sont donc différenciés dès 2019, et cette différence a tendance à s'amplifier dans les projections. En effet, des hypothèses distinctes de taux de croissance des paramètres sont appliquées aux différents scénarios de l'état des lieux.

Sauf mention du contraire, les données et hypothèses mentionnées dans ce qui suit font référence au scénario central. L'ensemble des données et hypothèses sont à retrouver en annexe.

3.3. Modélisation, hypothèses structurantes et collecte de données pour l'état de lieux

Cette section décrit le modèle, les hypothèses et données principales utilisés pour l'état des lieux 2019 de l'empreinte carbone du numérique en France.

3.3.1. Paramètres communs aux trois sous-ensembles

Le ratio énergie primaire / électricité

Le facteur énergie primaire / électricité français, de 2,58, est semblable aux facteurs Européens (2,5) et Américain (2,6)¹⁴, qui sont des territoires dans lesquels de l'électricité est consommée du fait des usages français, notamment de centres informatiques.

La **mission retient donc un facteur unique, de 2,58**, et ce, que l'électricité soit consommée sur le territoire national ou non, pour les scénarios haut et central. En scénario bas, une estimation d'un facteur énergie primaire / électricité de 2,49 (audition ADEME, 2020¹⁵) est mobilisée.

¹⁴ EU, 2006 : Energy Services Directive ; EIA, 2020

¹⁵ Valeur calculée à partir du mix électrique français en 2018 et de coefficients de rendement pour le nucléaire (33%), les énergies renouvelables (100%) et le gaz (60%)

Pour mémoire, les équivalents d'unités énergétiques sont utilisés :

- 1 kWh = 3,6 MJ (mégajoules)
- 1 toe (tonne équivalent pétrole) = 11630 kWh

L'intensité carbone de l'électricité

Pour la France, l'intensité carbone de l'électricité retenue par cette mission est de 57,1 grammes d'équivalent CO₂ par kilowattheure (57,1gCO₂eq/kWh), comme indiqué par l'ADEME (2018). Cette donnée est identique, en 2019, en scénarios central, haut et bas.

L'intensité carbone de l'électricité à l'étranger se base, en 2019, pour le scénario haut, sur la moyenne mondiale de l'intensité carbone (519 gCO₂eq/kWh). Pour les scénarios central et bas, l'intensité carbone de l'électricité à l'étranger utilisée est celle des États-Unis (493 gCO₂eq/kWh), où sont situés un nombre important de data centers qui servent la France aujourd'hui.

Pour la phase amont, les multiples formes que prend l'énergie (extraction des matériaux, essences pour les engins, énergie nécessaire à faire fonctionner l'usine, transport jusqu'au lieu de distribution, distribution) sont converties en énergie primaire, pour laquelle un ratio moyen d'intensité carbone a été estimé à **environ 59,4 grammes d'équivalent CO₂ par mégajoule (59,4gCO₂/MJ) en 2019, ou 213,8 grammes d'équivalent CO₂ par kilowattheure (213,8gCO₂eq/kWh),** comme indiqué par Andrae (2020)¹⁶. Cette donnée est identique, en 2019, en scénarios central, haut et bas.

Cette dernière intensité carbone n'est pas vraiment comparable aux précédentes parce qu'elle recouvre des formes d'énergie primaire et secondaire multiples. Il s'agit d'une moyenne mondiale, la plus à même de s'appliquer aux émissions amont qui sont particulièrement diffuses et globalisées.

Les données démographiques

Les données de population et de nombre de ménages proviennent de l'INSEE (2016, qui est l'année du dernier recensement national).

La pyramide des âges au 1^{er} janvier 2018 (INSEE, fin 2017) permet d'estimer la population française âgée de 12 ans ou 16 ans et plus qui, selon le terminal considéré, offre une assiette plus fine pour appliquer des taux d'équipement.

Les données démographiques sont identiques, en 2019, en scénarios central, haut et bas.

¹⁶ Andrae , 2020 « *Hypotheses for primary energy use, electricity use and CO2 emissions of global computing and its shares of the total between 2020 and 2030* » dans WSEAS TRANSACTIONS on POWER SYSTEMS

3.3.2. Terminaux

Concernant les terminaux, nous mobilisons une approche analytique : nous nous interrogeons, pour chaque catégorie de terminal, sur la consommation énergétique en phase amont et en phase utilisation.

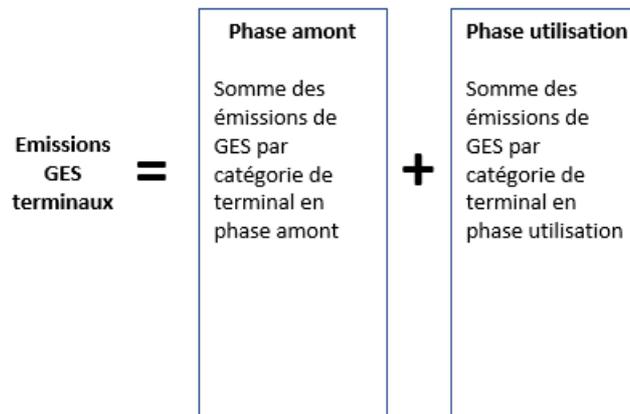


Figure 4. La méthodologie d'estimation de l'empreinte carbone des terminaux

Les données-clés nécessaires à l'estimation de l'empreinte carbone 2019 des terminaux sont décrites ci-dessous.

En phase amont

En phase amont, trois données clés sont nécessaires :

- Le **volume d'achats** : correspond au nombre de ventes, pour chaque catégorie de terminal en France en 2019. Pour les écrans, par exemple, le volume d'achats est estimé à 4 908 919 unités en 2019. Cette estimation est obtenue sous l'hypothèse de 1 écran pour 1 ordinateur fixe et de 0.3 écran pour 1 ordinateur portable.
- L'**énergie primaire** correspond à la quantité d'énergie, pour chaque catégorie de terminal, employée lors de la phase amont du cycle de vie (correspondant notamment aux extractions de matériaux, la production des composantes matérielles des systèmes et la distribution). Pour les écrans, par exemple, l'énergie primaire est estimée à 1 500 MJ par unité à partir notamment d'une étude de l'ADEME (2018)¹⁷.
- Les **émissions amont** : correspond aux émissions, pour chaque catégorie de terminal, lors de la phase amont du cycle de vie. Ces données sont issues d'analyses en cycle de vie par terminal, plus fines que la simple multiplication de la quantité d'énergie primaire par l'intensité carbone moyenne de l'énergie

¹⁷ ADEME. J. Lhotellier, E. Less, E. Bossanne, S. Pesnel, 2018. Modélisation et évaluation ACV de produits de consommation et biens d'équipement – Rapport. 186 pages

primaire. Pour les écrans, par exemple, les émissions amont sont estimées à 248 kgCO₂ par unité¹⁸.

En phase d'utilisation

En phase utilisation, quatre données clés sont nécessaires :

- Le **parc actif** représente le nombre de terminaux, pour chaque catégorie de terminal, utilisés en France en 2019. On note que ce parc actif peut être estimé de deux façons différentes :
 - Soit une donnée fiable existe, estimant directement le nombre de terminaux, auquel cas cette donnée est mobilisée. C'est le cas des téléviseurs, dont le parc actif est estimé à 45 511 064 unités en 2019¹⁹.
 - Si aucune donnée fiable n'existe, une estimation peut être effectuée à partir de :
 - La **durée de vie** et le **volume d'achat** historique du périphérique étudié. C'est par exemple le cas des imprimantes. En mobilisant une durée de vie moyenne de six ans, ainsi que les données de ventes des six dernières années, le parc actif est estimé à 22 981 494 unités.
 - Une hypothèse *ad-hoc* : c'est par exemple le cas des écrans, pour lequel nous posons l'hypothèse, suivant le CGE (2019), d'un écran par ordinateur fixe et de 0,3 écrans par ordinateur portable. Le parc actif des écrans est ainsi estimé à 37 324 278 unités en 2019.
 - Des taux d'équipement et de multi-équipement des ménages ou individus : c'est par exemple le cas des smartphones.
- La **consommation d'électricité annuelle** représente la consommation électrique, en kWh, associée à l'utilisation moyenne, sur un an, pour chaque catégorie de terminal. Pour les écrans d'ordinateurs, celle-ci est estimée à 70 kWh.

La **consommation énergétique primaire** (*CP* ci-dessous), en 2019, pour chaque catégorie de terminal²⁰, est alors égale à :

$$CP_{Terminal_{2019}} = (VolumeAchats_{2019} * EnergiePrimaire) + (ParcActif_{2019} * ConsommationElectriqueAnnuelle * 2,58)$$

L'**empreinte carbone** en 2019 (*EC* ci-dessous), pour chaque catégorie de terminal²¹, est alors égale à :

¹⁸ On note que ces estimations sont directement issues de la littérature. La mission n'a pas estimé les émissions amont en multipliant l'énergie primaire par le ratio de 59,4gCO₂/MJ (voir section 3.2.) Le facteur d'émission moyen sur les 13 terminaux étudiés est légèrement supérieur à 85gCO₂/MJ et présente un écart type de 47. La valeur et la variance élevées pourraient s'expliquer par certains procédés d'extraction des matériaux, en particulier pour les terminaux avec écran qui présentent les facteurs les plus élevés.

¹⁹ Estimation mission à partir du livre blanc de l'ADEME, 2015 ; Insee ; Crédoc ; CSA, 2018

$$EC\ Terminal_{2019} = (VolumeAchats_{2019} * EmissionsAmont) + (ParcActif_{2019} * ConsommationElectriqueAnnuelle * 57,1gCO2eq/kWh)$$

On en déduit par exemple pour les écrans une consommation énergétique de 8.79 TWh et une empreinte carbone de 1 366 597 tCO₂eq.

3.3.3. Réseaux

L'analyse pour les réseaux est segmentée par « *scope* » (ou « champ d'émissions »), qui correspond à la ventilation utilisée par les opérateurs réseaux afin de renseigner leurs émissions de GES :

- Le **scope 1** correspond aux émissions directes des opérateurs, c'est-à-dire à la combustion d'énergie fossile par l'entité étudiée, comme par exemple les émissions de GES des flottes de véhicules des opérateurs réseaux, ou encore leurs groupes électrogènes.
- Le **scope 2** correspond aux émissions indirectes de la consommation énergétique des opérateurs, c'est-à-dire essentiellement la consommation d'électricité des réseaux.
- Le **scope 3** correspond aux autres émissions indirectes des opérateurs, dont par exemple, la fabrication des réseaux, ou leur fin de vie. Notre analyse du scope 3 se limite à la phase amont (fabrication des équipements et construction de l'infrastructure réseau), car trop peu d'informations pertinentes sont accessibles en ce qui concerne la fin de vie.

Les émissions des opérateurs en phase utilisation (scope 1)

Concernant le **scope 1**, nous nous basons directement sur les données issues des rapports annuels des opérateurs réseaux. C'est donc une approche par opérateur, tous types de réseaux (fixes et mobiles) confondus. Par exemple, les émissions de GES du scope 1 de l'opérateur Orange, basé sur la moyenne déclarée des années 2015 à 2018, est estimée à 130 032 tCO₂eq.

L'**empreinte carbone** (EC ci-dessous) du scope 1 en 2019, pour l'ensemble des opérateurs, est alors égale à :

$$EC\ RéseauxScope1_{2019} = SommeEmissionsCarboneOpérateurs_{2019}$$

La **consommation énergétique primaire** du scope 1 n'est pas estimée dans le cadre de cette mission.

Les émissions de la consommation électrique des réseaux en phase utilisation (scope 2)

Concernant le **scope 2**, l'approche est distinguée entre consommation de réseaux domestiques et consommation de réseaux à l'international.

- Concernant les consommations des **réseaux domestiques**, nous mobilisons une approche par type de réseaux, fixe (wifi ou filaire) et mobile (2G, 3G, 4G et 5G). Les données de trafic et de consommation électrique sont estimées tous opérateurs confondus. La consommation électrique des réseaux, et donc les émissions de GES associées aux réseaux, sont supposées être fonction de deux facteurs :
 - Le trafic ou volume de données échangées : il correspond à la quantité de données échangées, pour chaque type de réseau, fixe (wifi ou filaire) et mobile (2G, 3G, 4G et 5G). Pour les données 4G, par exemple, le volume de données échangées est estimé à 5 179 998 téraoctets en 2019 (Arcep, 2020).
 - L'intensité électrique ou efficacité énergétique des réseaux : elle correspond à la consommation électrique des réseaux par volume données échangées. Pour les données 4G, par exemple, l'intensité électrique du réseau est estimée à 0,089 térawatt-heure par Exaoctet ou Exabyte (TWh/EB) en 2019.

La **consommation énergétique primaire** du scope 2 domestique²², en 2019, pour chaque catégorie de réseau, est alors égale à :

$$\begin{aligned}
 CP \text{ RéseauxScope2Domestique}_{2019} &= \text{VolumeDonnéesEchangées}_{2019} * \text{IntensitéElectrique}_{2019} * \\
 & \quad 2,58 \\
 & = \text{ConsommationElectriqueRéseaux}_{2019} * 2,58
 \end{aligned}$$

L'**empreinte carbone** du scope 2 domestique²³, en 2019, pour chaque catégorie de réseau, est alors égale à :

$$EC \text{ RéseauxScope2Domestique}_{2019} = \text{ConsommationElectriqueRéseaux}_{2019} * 57,1gCO2eq/kWh$$

Aussi, on en déduit par exemple pour le réseau 4G une consommation électrique de 0,461 TWh, une énergétique primaire de 1,189 TWh et une empreinte carbone de 26 324 tCO₂eq.

- Les consommations des **réseaux à l'international** sont également estimées, du fait d'un recours important à des données hébergées à l'étranger qui empruntent donc des réseaux à l'international avant de desservir les usagers du numérique en France. Selon les estimations de l'étude, ce trafic international vers ou depuis des terminaux en France représenterait autour de 55% du trafic total en 2019. Notons que ce trafic international est déséquilibré dans le sens où les données entrantes (de l'étranger vers la France) sont 10 fois supérieures aux données sortantes (de la France vers l'étranger) ; un ratio en hausse ces dernières années²⁴. L'estimation de la consommation énergétique des réseaux à l'international a été réalisée en multipliant la part française de la bande passante sous-marine mondiale, par la consommation énergétique des câbles sous-marins. C'est une estimation conservatrice car d'autres composantes de réseaux également situées à l'étranger sont mobilisées, comme par exemple les réseaux depuis les data centers à

²² Le ratio énergie primaire / électricité retenu par cette mission est de 2,58 (cf section 3.1).

²³ L'intensité carbone de l'électricité en France retenue par cette mission est de 57,1 grammes d'équivalent CO₂ par kilowattheure (57,1gCO₂eq/kWh) (cf section 3.2)

²⁴ Arcep, 2019 (B), « Baromètre de l'interconnexion de données en France »

l'étranger jusqu'aux éléments de réseau qui assurent l'interconnexion comme les câbles sous-marins.

La **consommation énergétique primaire** du scope 2 international, en 2019, pour l'ensemble des réseaux à l'international est alors égal à :

$$CP\ RéseauxScope2International_{2019} = PartFrançaiseBandePassanteMondiale_{2019} * EnergiePrimaireCablesSousMarins_{2019}$$

L'**empreinte carbone** du scope 2 international en 2019, pour l'ensemble des réseaux à l'international est alors égal à :

$$EC\ RéseauxScope2International_{2019} = EnergiePrimaireCablesSousMarins_{2019} * 213,8gCO_2/kWh^{25}$$

Cette méthode d'estimation de l'empreinte carbone du scope 2 international indique un résultat faible. Il s'agit d'une première estimation fiable mais conservatrice. La mission a donc préféré ne pas décomposer cette empreinte plus encore entre phase amont et phase utilisation. L'énergie primaire amont et l'énergie liée à l'utilisation des câbles sous-marins sont ainsi regroupées dans le *scope 2* international.

Pour finaliser l'estimation de l'empreinte carbone des réseaux en phase utilisation (scope 2), il est nécessaire de multiplier l'efficacité énergétique des réseaux par le volume de données qui y transitent. Ce volume est appelé **trafic IP utilisateurs**.

Ce trafic de données depuis ou vers les terminaux en France, est simplement égal à la somme du volume de données échangées, estimé pour le scope 2 domestique (voir ci-dessus). Ces données peuvent soit rester sur le territoire national, soit partir vers des réseaux à l'international (c'est alors un trafic « *cloud-user international* »).

S'appuyant sur un rapport du CGE de 2012²⁶, la mission prend en compte un ratio trafic / bande passante de 1,5 ; en d'autres termes, le trafic cloud user international est supposé être de 1,5 fois la bande passante internationale vers la France²⁷, tel que recensé par l'Arcep.

Le **trafic IP utilisateur**, en 2019, est alors égal à :

$$TIP\ Utilisateur_{2019} = SommeVolumeDonnéesEchangées_{2019}$$

Le **trafic IP cloud-user international**, en 2019, est alors égal à :

$$TIP\ UtilisateurInternational_{2019} = BandePassanteInterconnexion_{2019} * 1,5$$

²⁵ L'intensité carbone de l'énergie primaire au niveau mondial retenue par cette mission est de 213,8 grammes d'équivalent CO₂ par kilowattheure (213,8,1gCO₂eq/kWh)

²⁶ Les besoins en bande passante et leur évolution, décembre 2012

²⁷ Ce facteur ne suppose pas que le trafic est supérieur à la capacité de la bande passante française. La capacité actuelle de la bande passante vers la France, de 18,03 Tbit/s pourrait transporter, à charge maximale, 71 EB de données par an. Nous supposons un trafic de 1,53*18,03 = 27.5 EB.

Les émissions des réseaux en phase amont (scope 3 en partie)

Concernant les émissions en phase amont, nous estimons en premier lieu un ratio énergie primaire amont / énergie primaire utilisation de 15% en nous basant sur les données GreenIT (2019). En d'autres termes, nous estimons que pour chaque kWh d'énergie en phase utilisation des réseaux, 0,15 kWh sont nécessaires en phase amont. Aussi, nous estimons la consommation énergétique en phase amont en multipliant simplement le résultat obtenu *supra* par le ratio de 15%.

La **consommation énergétique primaire** de la phase amont (scope 3), en 2019, est alors égale à :

$$CP \text{ RéseauxAmont}_{2019} = CP \text{ RéseauxScope2Domestique}_{2019} * 15\%$$

L'**empreinte carbone** de la phase amont (scope 3)²⁸, en 2019, est alors égale à :

$$EC \text{ RéseauxAmont}_{2019} = CP \text{ RéseauxAmont}_{2019} * 213,8\text{gCO}_2/\text{kWh}$$

La logique d'estimation des émissions de GES des réseaux est reprise de façon schématique ci-dessous.

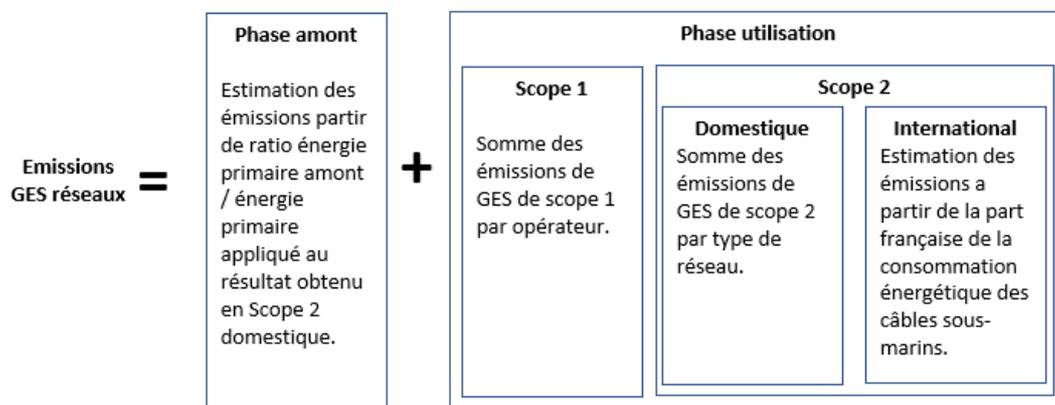


Figure 5. La méthodologie d'estimation de l'empreinte carbone des réseaux

3.3.4. Centres informatiques

En phase utilisation

Afin d'estimer l'énergie primaire et les émissions de GES associées aux centres informatiques en phase utilisation, il convient dans un premier temps d'estimer les flux de données depuis, vers, ou à l'intérieur des centres informatiques.

Schématiquement, l'ensemble des flux de données peuvent être séparés en deux catégories (voir figure 5. ci-dessous) :

- Le **trafic IP utilisateur** est estimé dans la partie « réseaux ». Il correspond au « Visual Networking Index » de la figure 5, et comprend ainsi le trafic non lié aux centres

informatiques (A), c'est-à-dire notamment entre terminaux seulement, ainsi que le trafic entre les data centers et les terminaux des utilisateurs (B).

- Le trafic cloud, ou **trafic IP DC** (pour data center) correspond au « Global Cloud Index » de la figure 5 ci-dessous, et comprend ainsi le trafic entre les data center et les utilisateurs (B), le trafic entre centres informatiques (C) et le trafic à l'intérieur des centres informatiques (D).

Figure 37. Cisco VNI and Global Cloud Index

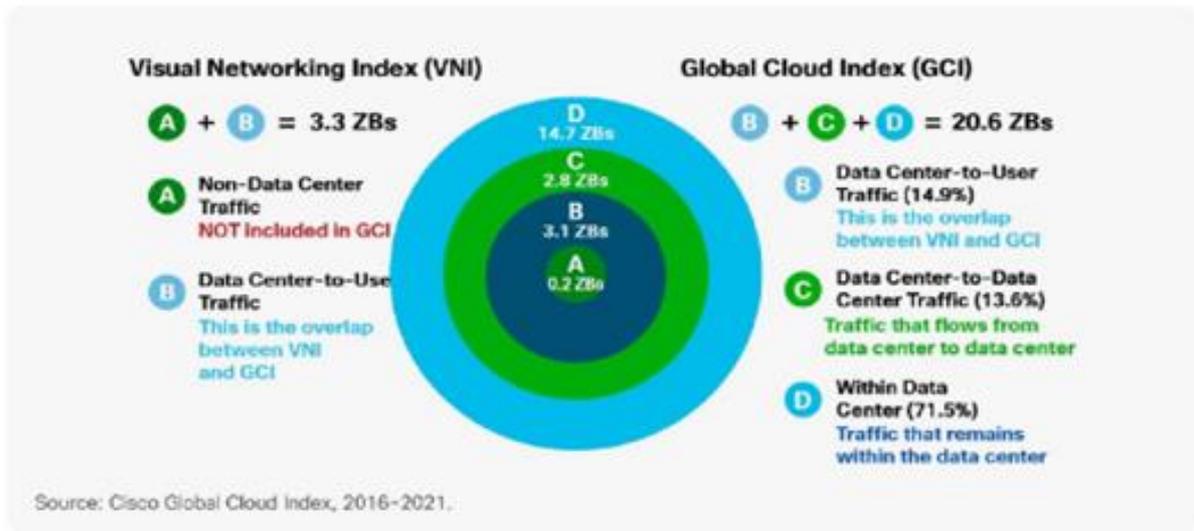


Figure 6. Les différents types de flux de données

Le **trafic IP DC** (DC pour data center) correspond ainsi au trafic de données entre centres informatiques et terminaux (B), mais aussi entre centres informatiques (C) et à l'intérieur des centres informatiques (D). A l'exclusion du trafic entre terminaux seuls (A), qui est négligeable, le trafic IP DC est un sur-ensemble du trafic IP utilisateurs. Ce trafic est directement utilisé pour l'estimation de la consommation d'énergie primaire et des émissions de GES des réseaux domestique.

Un ratio d'environ 0,15, stable dans le temps, est observé entre le trafic IP utilisateur et le trafic IP DC selon les données Cisco VNI et GCI. En d'autres termes, le trafic IP utilisateur représente environ 15% du trafic des centres informatiques. Afin d'estimer le trafic cloud, nous divisons ainsi simplement le trafic IP utilisateur domestique (estimé dans la partie réseaux) par 0,15.

Le **trafic cloud** global attribuable à des utilisateurs français en 2019 est alors égal à :

$$T_{Cloud_{2019}} = TIP_{UtilisateurDomestique_{2019}} / 0.15$$

Une fois le trafic cloud global attribuable à des utilisateurs français estimé, nous répartissons ce trafic en deux catégories :

- Le trafic attribuable aux centres informatiques implantés à l'étranger, pour un utilisateur français. Cela nous permet d'estimer la consommation énergétique, et les émissions de GES, issus de **data centers situés hors du territoire national** ;

- Le trafic attribuable aux centres informatiques implantés en France. Cela nous permet d'estimer la consommation énergétique, et les émissions de GES, issues de **centres informatiques situés en France**.

Concernant les **centres informatiques situés à l'étranger**, la mission estime qu'en 2019, environ 55%²⁹ du trafic des centres informatiques vers nos terminaux provient de l'étranger. L'efficacité énergétique des centres informatiques à l'étranger est estimée par la mission à 0,007 TWh/EB³⁰.

La **consommation énergétique primaire** des centres informatiques situés à l'étranger, pour les utilisateurs français, en 2019, est alors égale à :

$$\begin{aligned} CP_{DataCenterEtranger}_{2019} &= T_{Cloud}_{2019} * 55\% * 0,007 * 2,58^{31} \\ &= CE_{ElectriciteDataCenterEtranger}_{2019} * 2,58 \end{aligned}$$

L'**empreinte carbone** des centres informatiques situés à l'étranger, pour les utilisateurs français, en 2019, est alors égale à :

$$EC_{DataCenterEtranger}_{2019} = CE_{ElectriciteDataCenterEtranger}_{2019} * 493gCO2eq/kWh^{32}$$

Concernant les **centres informatiques situés en France**, la mission estime logiquement qu'en 2019, environ 45% du trafic des centres informatiques vers nos terminaux provient de centres informatiques situés en France. Deux cas de figure peuvent alors se présenter :

- Soit les données sont stockées au sein de **centres informatiques « classiques »**. Dans ce cas de figure, la mission estime l'efficacité énergétique des centres informatiques à 0,0669 TWh/EB³³. Par commodité, les centres informatiques dits *edge computing* entrent dans cette catégorie.
- Soit les données sont stockées au sein de **« hyperdatacenters »** (centres informatiques de très grande taille). L'hypothèse de la mission est que ces centres informatiques ne seront construits qu'en 2021 et pleinement fonctionnels qu'à partir de 2022 ; aussi, seuls les centres informatiques « classiques » sont pris en compte pour l'état des lieux. La prise en compte des hyperdatacenters deviendra importante pour la modélisation des projections à 2025 et 2040 (voir section 3.5).

La **consommation énergétique primaire** des centres informatiques situés en France, pour les utilisateurs français, en 2019, est alors égale à :

$$\begin{aligned} CP_{DataCenterFrance}_{2019} &= T_{Cloud}_{2019} * 45\% * 0,0669 \frac{TWh}{EB} * 2,58 \\ &= CE_{ElectriciteDCFrance}_{2019} * 2,58 \end{aligned}$$

L'**empreinte carbone** des centres informatiques situés en France, pour les utilisateurs français, en 2019, est alors égale à :

²⁹ Trafic IP Cloud-User International / Trafic IP Utilisateur, ou 27/49

³⁰ Efficacité énergétique moyenne des centres informatiques aux Etats-Unis en 2018

³¹ Le ratio énergie primaire / électricité aux Etats Unis, où se situent bon nombre de data centers, est estimé à 2,58 comme en France (voir section 3.4.1)

³² Pour rappel, l'intensité carbone de l'électricité aux Etats-Unis, où se situe bon nombre de data centers, retenue par cette mission, est de 493gCO2eq/kWh (voir section 3.4.1.)

³³ Correspond au ratio entre (i) la consommation des datacenters en France, obtenue par recoupement de 4 études par la mission (RTE 2019 (B), extrapolations Monde, Europe de l'Ouest et Allemagne) et (ii) le trafic data center français domestique et classique (voir annexe).

$$EC\ DataCenterFrance_{2019} = C\ ElectriciteDCFrance_{2019} * 57,1gCO2eq/kWh^{34}$$

En phase amont

La consommation d'énergie primaire et les émissions de GES liées à la phase amont des centres informatiques est estimée de façon identique à la phase amont des réseaux : un ratio énergie primaire amont / énergie primaire utilisation de 15%, basé sur les données GreenIT (2019), est mobilisé.

La **consommation énergétique primaire** de la phase amont (scope 3), en 2019, est alors égale à :

$$CP\ AmontDataCenter_{2019} = CP\ DataCenterFrance_{2019} * 15\%$$

L'**empreinte carbone** de la phase amont (scope 3), en 2019, est alors égale à :

$$EC\ DataCenter_{2019} = CP\ AmontDataCenter_{2019} * 213,8gCO2/kWh^{35}$$

La logique d'estimation des émissions de GES des **centres informatiques** est reprise de façon schématique ci-dessous.

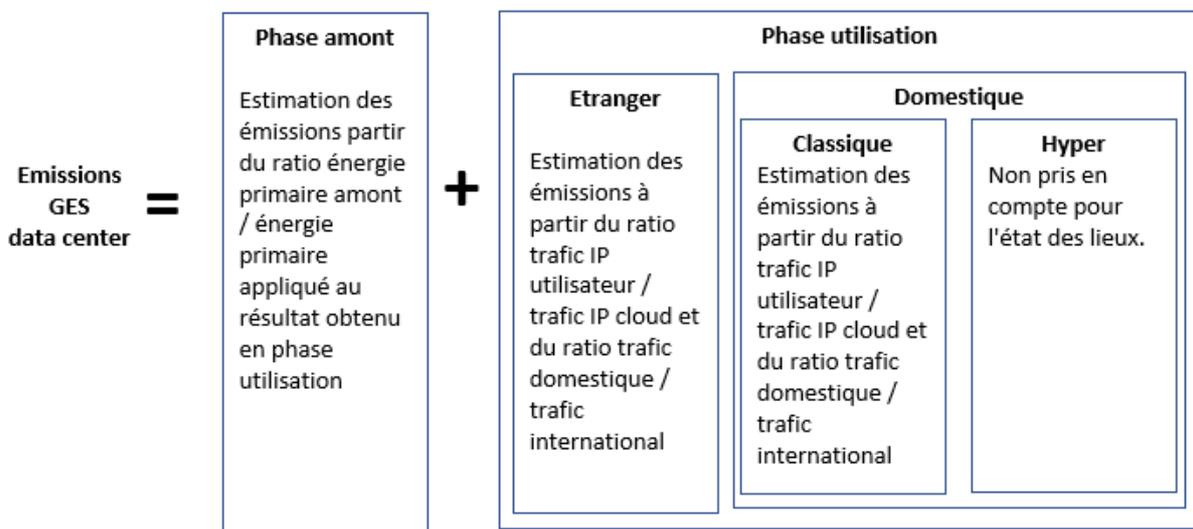


Figure 7. La méthodologie d'estimation des émissions de GES des centres de données

3.4. Modélisation, hypothèses structurantes et collecte de données, pour les projections

³⁴ Pour rappel, l'intensité carbone de l'électricité aux Etats-Unis, où se situe bon nombre de data centers, retenue par cette mission, est de 493gCO2eq/kWh (voir section 4.3.1.)

³⁵ L'intensité carbone de l'énergie primaire au niveau mondial retenue par cette mission est de 213,8 grammes d'équivalent CO2 par kilowattheure (213,8,1gCO2eq/kWh) (cf section 3.2)

Au-delà de l'état des lieux, la mission s'est attachée à estimer l'empreinte carbone du numérique à horizon 2025 et 2040. Dans cette perspective, des hypothèses d'évolution ont dû être formulées sur chacun des paramètres établis pour l'état des lieux, ainsi que pour les paramètres macroéconomiques.

3.4.1. Paramètres communs aux trois sous-ensembles

Ratio énergie primaire / électricité

Selon l'ADEME, auditionnée dans le cadre de cette mission, le ratio énergie primaire / électricité en France de 2,58 devrait diminuer légèrement, à mesure que la part du nucléaire diminuera dans la génération d'électricité en France. En effet, le rendement de conversion des machines thermiques du nucléaire est faible (de l'ordre de 33%). Le ratio énergie primaire / électricité finale atteindrait une valeur de 1,98 en 2040.

Nous retenons cette diminution pour le scénario bas ; pour le scénario haut, nous supposons que le ratio reste stable sur la durée de l'étude. Le scénario central considère une évolution moyenne, comprise entre l'évolution du scénario haut et l'évolution du scénario bas.

L'intensité carbone

Pour rappel, l'intensité carbone de l'électricité retenue par cette mission, est de 57,1gCO₂eq/kWh en France en 2019. La tendance est à la baisse depuis une dizaine d'années.

Selon l'ADEME, auditionnée sur le sujet dans le cadre de cette mission, cette trajectoire devrait s'accélérer à court terme (2022) puis ralentir et se stabiliser autour de 0 à 25gCO₂eq/kWh vers d'ici 2035. Cela serait notamment dû à la fermeture des dernières centrales à charbon sur le territoire.

La mission a estimé qu'une telle trajectoire, consistant à diviser par deux à trois l'intensité carbone en trois ans, représente une hypothèse optimiste. Aussi, cette trajectoire a été modélisée dans le scénario bas ; elle constitue en réalité une hypothèse de rupture. Le scénario haut retient une stabilité de l'intensité carbone française, et le scénario central une évolution moyenne, comprise entre l'évolution du scénario haut et celle du scénario bas. D'autres informations de l'ADEME basées sur des projections de RTE sont venues conforter le scénario central qui prévoit une **stabilisation autour de 40 gCO₂/kWh**.

Tout comme pour le cas français, nous supposons une diminution, en ligne avec les projections de l'AIE (Agence Internationale de l'Énergie), de l'intensité carbone à l'étranger pour le scénario bas. Le scénario haut suppose que cette intensité carbone reste stable ; le scénario central se base sur une évolution moyenne, comprise entre l'évolution du scénario haut et celle du scénario bas.

Concernant la phase amont, la mission s'est basée sur Andrae (2020), et a ainsi retenu une intensité carbone de 59,4gCO₂/MJ en 2019. En se basant sur ce même article académique, la mission suppose une réduction annuelle de -0,07% jusqu'en 2050.

Les données démographiques

Concernant les projections de données démographiques, la mission se base sur les données prospectives fournies par l'INSEE (2016).

3.4.2. Terminaux

Pour les paramètres propres aux terminaux, la logique de projection à horizon 2025 et 2040 est propre à chaque catégorie de terminal, et tient compte, d'une part, des tendances passées, et, d'autre part, d'hypothèses de la mission concernant le rythme d'adoption des technologies émergentes. Pour ce faire, la mission a posé des hypothèses cohérentes et réalistes d'évolution des six paramètres-clés cités de l'état des lieux : le volume d'achats, l'énergie primaire en phase amont, les émissions en phase amont, le parc actif, la durée de vie et la consommation d'énergie annuelle. Le tableau ci-dessous présente le sens d'évolution pour chacun des paramètres à horizons 2025 et 2040 par terminal. Notons que la durée de vie n'est pas toujours mobilisée : elle permet de déduire l'évolution du parc de l'évolution des ventes, ou l'inverse, lorsqu'une de ces deux données n'est pas disponible.

	Volume d'achats	Durée de vie	Energie primaire	Emissions amont	Consommation électrique annuelle	Parc actif
Smartphones	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Ordinateurs portables	→	→	↘	↘	↘	→
Ordinateurs fixes	→	→	↘	↘	↘	→
Ecrans	↗	non-estimé	↗	↗	→	↗
Téléviseurs	↗	→	↗	↗	↘	↗
Box	→	non-estimé	↗	↗	→	→
Tablettes	↗	→	↗	↗	↗	↗
Modules de connexion IOT	↗	non-estimé	↗	↗	↘	↗
Consoles de jeu salon	↗	non-estimé	↗	↗	↘	↗
Consoles de jeu portables	↘	non-estimé	↗	↗	↘	↘
Imprimantes	↘	→	↗	↗	↗	↘
Casques de réalité virtuelle	↗	→	↗	↗	↘	↗
Enceintes connectées	↗	↘	↗	↗	→	↗
Ecrans publicitaires	↗	↘	↗	↗	→	↗

Figure 8. Sens d'évolution des paramètres d'estimation des terminaux

Les taux d'évolution, leurs sources et leur justification sont à retrouver en annexe 3.

3.4.3. Réseaux

L'évolution aux horizons 2025 et 2040 des paramètres propres aux réseaux a été modélisée de la manière suivante :

- Pour les **émissions directes des opérateurs en phase utilisation (scope 1)**, une projection linéaire à partir des données historiques des opérateurs a été effectuée ;
- Pour les **émissions issues des consommations électriques des réseaux en phase utilisation (scope 2)** :
 - Pour les **réseaux domestiques fixes**, la modélisation de la consommation énergétique et des émissions de GES se base, d'une part, sur une hypothèse d'évolution du volume des données échangées, et, d'autre part, sur une hypothèse de gains d'efficacité de l'intensité électrique des réseaux. Par exemple, un taux de croissance annuel de 30% du trafic sur les réseaux WiFi à horizon 2025, ainsi que des gains d'efficacité annuels de leur intensité électrique de 9% jusqu'en 2022, puis de 15% jusque 2025 ont été posés en hypothèse pour refléter l'arrivée de la future norme WiFi 6.
 - Pour les **réseaux domestiques mobiles**, la modélisation de la consommation énergétique et des émissions de GES se base sur des hypothèses d'évolution du nombre de sites par type de réseau (2G/3G/4G/5G), auxquelles sont appliquées des consommations électriques moyennes par type de site. Cette modélisation tient compte, d'une part, du possible arrêt de la 2G en 2025, et, d'autre part, d'une augmentation du trafic en 4G et 5G. Aussi, le nombre de sites opérateurs actifs en 4G et 5G est supposé connaître une croissance linéaire jusqu'à atteindre le nombre de sites autorisés en 2025 (88 936 sites 4G et 42 000 sites 5G)³⁶. Enfin, à partir de 2030 l'approche par site de chaque génération de réseau mobile (2G, 3G, 4G et 5G) est remplacée par une approche basée sur le trafic et l'efficacité de tous les réseaux mobiles confondus. Nous arrêtons ainsi de distinguer les générations mobiles puisqu'il est périlleux d'attribuer des trafics à si long terme, en particulier du fait de l'arrivée possible de la 6G.
 - Pour les **réseaux à l'international**, étant donné le caractère négligeable de cette empreinte carbone des réseaux et la baisse attendue de la part du trafic venant de l'étranger (cf. section suivante, 3.4.4), une série d'hypothèses est posée de telle sorte que la hausse du trafic et les gains d'efficacité se compensent et les émissions de GES restent à peu près constantes sur toute la période.
- La modélisation **de la consommation énergétique et des émissions en phase amont (scope 3)**, se base sur un ratio énergie primaire amont / énergie primaire utilisation de 15% selon GreenIT (2019). Celui-ci est supposé constant à travers le temps, c'est-à-dire que l'énergie nécessaire pour produire et installer les équipements et infrastructures de réseaux évolue au même rythme que leur consommation électrique une fois installés. La modélisation dépend ainsi de la valeur absolue de la consommation énergétique en phase utilisation estimée en phase utilisation (scope 2) (voir point précédent).

³⁶ De 2025 à 2030, en hypothèse centrale, le nombre de sites 5G rejoindrait celui de sites 4G conformément à l'obligation réglementaire des opérateurs. Notons que cela ne permet pas une couverture totale du territoire en 5G, ni même égale à la 4G aujourd'hui du fait de la moindre portée des ondes 5G.

3.4.4. Centres informatiques

En **phase utilisation**, le trafic IP utilisateur est directement issu des modélisations effectuées pour les projections réseaux. Le ratio de 0,15, mobilisé pour estimer le trafic cloud à partir du trafic IP utilisateur (voir section 3.4.3), est supposé rester stable sur la durée de l'étude³⁷.

Comme pour l'état des lieux, le trafic cloud doit ensuite être réparti pour les projections entre :

- Le **trafic attribuable aux data centers situés hors du territoire national** : l'hypothèse posée par la mission est une poursuite des tendances (augmentation) de la proportion de ce trafic (pour mémoire, représentant 55% du trafic en 2019) jusqu'en 2022. A partir de cette date, la proportion du trafic attribuable à des data centers situés à l'étranger se réduirait de 5% par an. Cette inflexion, qui est un parti pris de la présente étude, cherche à refléter deux tendances émergentes. D'une part, des hyperdatacenters vont être mis en service en France prochainement (hypothèse centrale en 2022). Ils vont permettre d'héberger à moindre coût (car moindre consommation énergétique) des volumes de données importants pour des usages français tels que le stockage *cloud* des données d'entreprises ou l'accès au contenu des GAFAM. D'autre part, de petits centres informatiques vont s'établir sur le territoire au plus près des usages qui nécessitent une connexion rapide, comme par exemples l'IoT et l'IIoT. Chacune des deux tendances contribuera à réduire la part d'hébergement et de calcul en centres informatiques situés à l'étranger.
- Le **trafic attribuable aux data centers « classiques » situés en France** : l'hypothèse posée par la mission est une baisse de la part relative de ce trafic représentant environ 45% du trafic en 2019 sur la durée de l'étude. Jusqu'en 2022, la baisse s'explique par la hausse tendancielle du trafic attribuable aux data centers situés à l'étranger. Ensuite et jusque 2040, la mise en service d'hyperdatacenters en France explique la part décroissante des data centers « classiques » situés en France³⁸.
- Le **trafic attribuable aux hyperdatacenters situés en France** : l'hypothèse posée par la mission est qu'ils deviendront l'origine ou la destination d'un trafic égal à la proportion restante du trafic cloud total une fois calculées les parts attribuables aux data centers à l'étrangers et aux « classiques » ou *edge* en France. Son trafic est donc nul jusqu'en 2022 ; les data centers situés à l'étranger et les data center classiques situés en France représentent l'ensemble du trafic cloud. A partir de 2022, le trafic attribuable aux data centers situés hors du territoire national commence à décroître ; en miroir, le trafic attribuable aux hyperdatacenters commence à croître. En d'autres termes, de façon schématique, le trafic « perdu » par les data centers situés hors du territoire national et les data centers classiques en France est reporté vers les hyperdatacenters situés en France.

³⁷ Il est resté quasiment stable les cinq dernières années selon les données Cisco GCI (2018) et Cisco VNI (2017)

³⁸ De 7%, puis 5% puis 3% par an en scénario central.

Comme dans l'état des lieux 2019, les projections des consommations énergétiques des trois types de data centers sont réalisées en appliquant un facteur d'efficacité énergétique, dont les rythmes d'évolutions sont estimés par poursuite de tendance, en suivant deux logiques. La première est que la loi de Moore ralentit, c'est-à-dire que les gains d'efficacité énergétique ralentissent sur le long terme. La deuxième est que l'émergence du *edge computing* devrait contribuer à ralentir les gains d'efficacité énergétique des centres informatiques classiques. Les hypothèses centrales posées dans l'étude sont les suivantes :

- Les gains d'efficacité énergétique des data centers situés hors du territoire national ralentissent progressivement pour passer de 20% par an à 18% par an à partir de 2026 du fait d'un ralentissement attendu de la loi de Moore
- Les gains d'efficacité énergétique des data centers « classiques » sur le territoire national ralentissent progressivement pour passer de 17% en 2019 à 12% par an en 2040.
- Les gains d'efficacité énergétique des hyperdatacenters sur le territoire national ralentissent progressivement comme les data centers à l'étranger, ils passent 20% par an à 18% à partir de 2026.

Tout comme les réseaux, **la consommation énergétique et les émissions en phase amont des centres informatiques** se basent sur le ratio énergie primaire amont / énergie primaire utilisation de 15%, supposé constant à travers le temps.

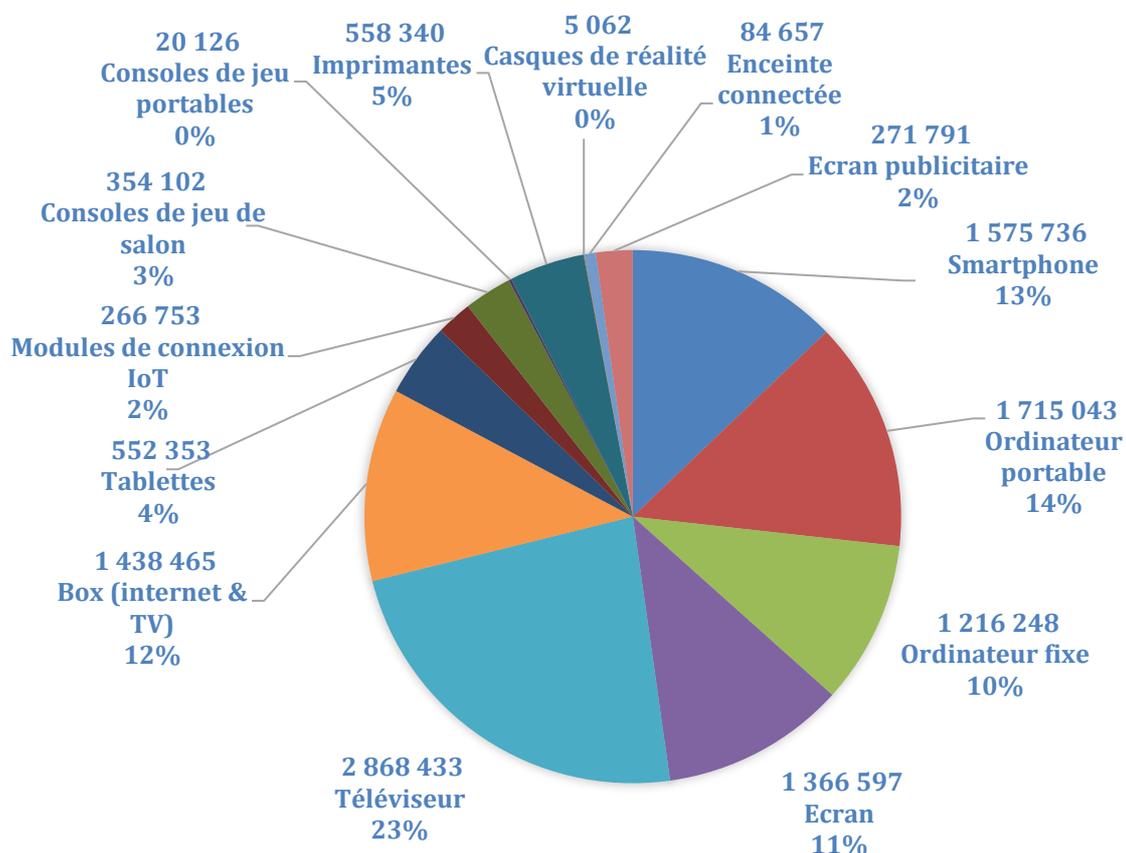
4. Empreinte carbone du numérique : un état des lieux pour 2019

Cette section présente et analyse les résultats de la modélisation effectuée par la mission pour l'état des lieux de l'empreinte carbone du numérique en France. Seuls les résultats issus de la modélisation du scénario central sont présentés.

4.1. Les terminaux

Les quatorze catégories de terminaux étudiés ont consommé, en 2019, en phase amont et en phase utilisation, 102,9 TWh d'énergie primaire. Cette consommation énergétique a généré l'émission d'environ 12 millions de tCO₂eq (MtCO₂eq), soit l'équivalent du bilan carbone annuel total de plus d'un million de français³⁹.

Ce sont les téléviseurs qui, en France, émettent le plus de carbone parmi les terminaux, avec près du quart des émissions totales liées aux terminaux numériques (graphique 1). On relèvera également que le regroupement des ordinateurs portables, ordinateurs fixes, écrans et imprimantes représentent à eux quatre 40% des gaz à effet de serre des terminaux numériques.



Graphique 1. Émissions de gaz à effet de serre des 14 terminaux de l'étude, phase amont et phase utilisation, en valeur absolue et en valeur relative

³⁹ Indicateur gouvernemental de 11,2 tCO₂eq en 2018, qui inclut les émissions embarquées des importations, MTEs (2020)

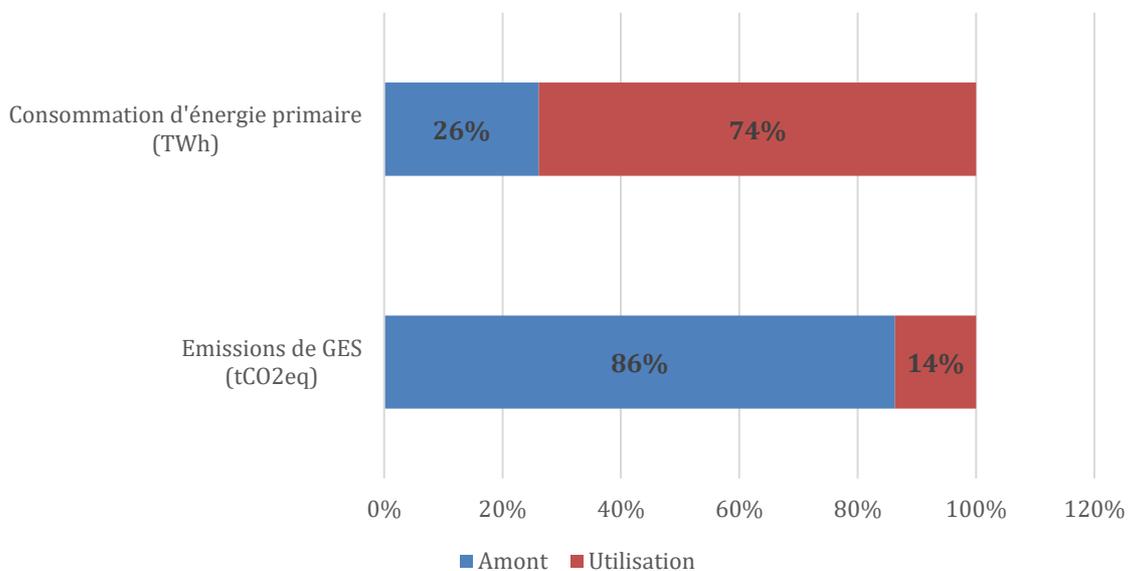
4.1.1. Ventilation entre la phase amont et la phase utilisation

L'énergie primaire dépensée en phase amont pour les terminaux utilisés en France est estimée à 26,9 TWh, soit à peine un peu plus d'un tiers de l'énergie primaire mobilisée par les terminaux en phase utilisation⁴⁰.

Lorsque ces consommations énergétiques sont traduites en émissions de gaz à effet de serre, on observe que la phase amont engendre 10,6 MtCO₂eq, soit plus de 6 fois plus qu'en phase utilisation qui génère environ 1,7 MtCO₂eq.

Cette différence s'explique notamment par des opérations en phase amont gourmandes en énergie fossile (en particulier l'extraction de matériaux), et par le recours très majoritaire à l'importation des terminaux, qui sont fabriqués dans des pays d'Asie du Sud-Est où l'intensité carbone de l'électricité est nettement plus importante qu'en France, puis qui nécessitent un long transport.

Le graphique ci-dessous propose une illustration graphique de ce phénomène. Il souligne que c'est la phase utilisation qui est la plus consommatrice d'énergie primaire (74% d'énergie primaire consommée en phase utilisation) et que les proportions sont inversées dès lors que l'indicateur GES est utilisé : la phase amont émet plus de 86% des GES issus des terminaux (graphique 2).



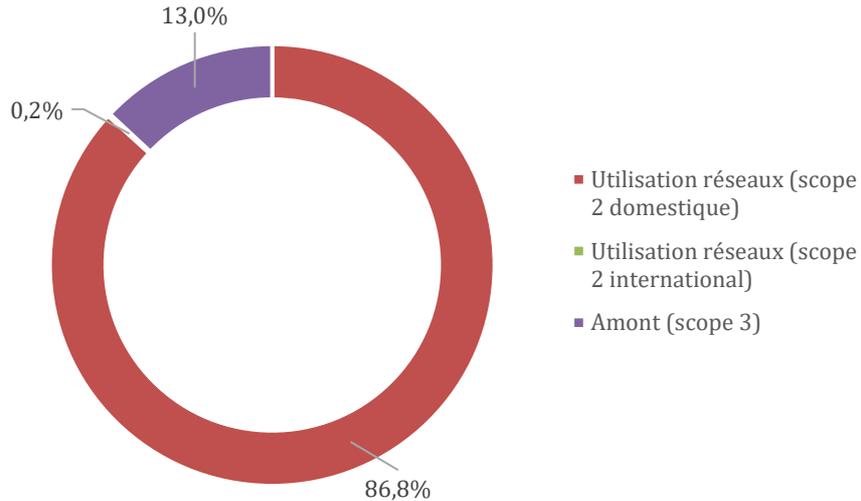
Graphique 2. Consommation d'énergie primaire et émissions de gaz à effet de serre des 14 terminaux de l'étude, distingués entre phase amont et phase utilisation, en valeur relative

Ces résultats donnent des ordres de grandeur cohérents avec les résultats de l'étude CGE 2019.

⁴⁰ La phase utilisation des terminaux a consommé 29,46 TWh d'électricité finale, soit, 76 TWh d'énergie primaire (29,46 x 2,58)

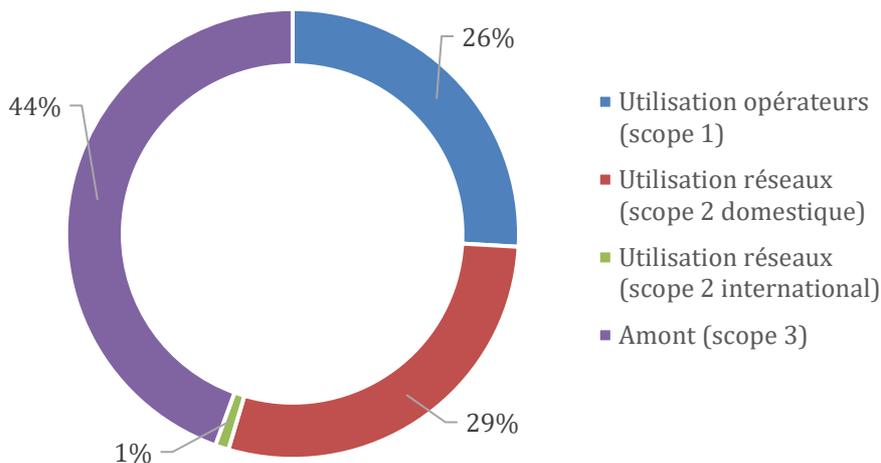
4.2. Les réseaux

Au total, les réseaux ont consommé 11,1 TWh d'énergie primaire, phase amont (scope 3) et phase utilisation (scopes 1 et 2) confondues, et émis environ 0,7 MtCO₂eq en 2019.



Graphique 3. Consommation d'énergie primaire des réseaux, distinguée par phase amont/utilisation, en valeur relative

Les émissions scope 1 des opérateurs, c'est-à-dire leurs autoconsommations d'énergie fossile, n'ont pas été traduites en énergie primaire.



Graphique 4. Émissions de gaz à effet de serre des réseaux, distinguées par phase amont et utilisation, en valeur relative

4.2.1 Phase utilisation

En phase utilisation, les réseaux ont consommé 9,7 TWh d'énergie primaire, et émis 0,4 MtCO₂eq en 2019. Tout comme pour les terminaux, la phase utilisation des réseaux émet peu de GES relativement à ce qu'elle ne consomme d'énergie primaire. En phase utilisation (scope 1 et scope 2 domestique et international), les réseaux consomment 87% de l'énergie primaire totale (graphique 3), ce qui représente 56% des gaz à effet de serre attribuables aux réseaux. Cette différence est d'autant plus remarquable que la consommation d'énergie primaire du scope 1 n'a pas été estimée.

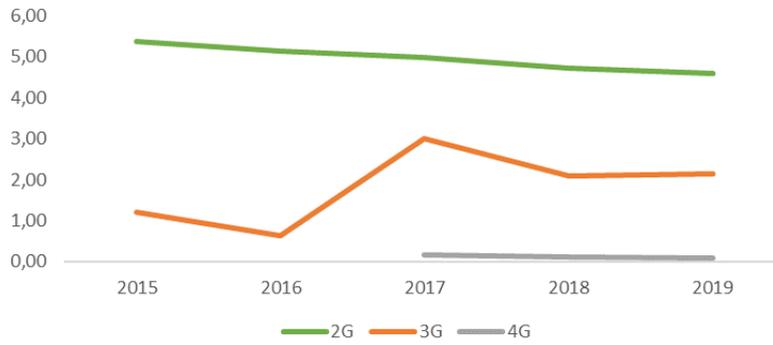
De façon surprenante, les **émissions directes des opérateurs réseaux** (scope 1) représentent plus d'un quart des GES totales des réseaux (26%) et plus de la moitié des émissions de GES de la phase utilisation, soit près de 0,2 MtCO₂eq (graphique 4).

S'agissant désormais précisément de l'empreinte carbone liée à l'utilisation directe des réseaux (scope 2), celle-ci est liée d'une part au volume de données échangées et d'autre part à l'efficacité électrique des réseaux.

Le **volume de données échangées** sur les réseaux (France et part française du réseau international) est estimé à près de 50 Exaoctets en 2019. Le rythme de croissance est élevé puisque le trafic double tous les trois ans environ en France. Les réseaux fixes portent la majorité du trafic de données (près de 90% du trafic), mais la croissance des données mobiles a été la plus rapide ces dernières années avec l'essor de la 4G.

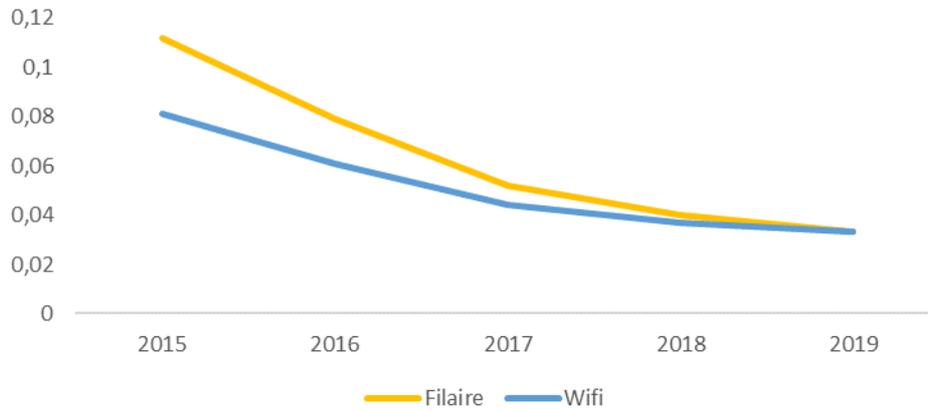
Les émissions liées à l'utilisation des **réseaux domestiques** (scope 2 domestique) représentent environ 0,2 MtCO₂eq et une consommation de 3,7 TWh d'électricité en 2019, soit 9,65 TWh d'énergie primaire. C'est seulement 0,8% de la consommation finale d'électricité en France en 2019⁴¹. En effet, malgré la hausse rapide du volume de données échangées, la consommation d'électricité des réseaux en France est demeurée quasiment constante sur la période 2015 à 2019. Cela s'explique par les gains d'efficacité des réseaux. D'une part, les nouvelles générations de réseaux mobiles, qui ont supplanté les anciennes, présentent une efficacité électrique nettement améliorée : en 2019, la mission estime une efficacité électrique de la 2G de 4,60 TWh/EB, contre 2,14 TWh/EB pour la 3G et 0,09 TWh/EB pour la 4G. D'autre part, une réduction constante et importante de la consommation électrique par TWh des réseaux fixes : l'efficacité électrique des réseaux Wifi a ainsi été divisée par 2,5 entre 2015 et 2019 (passant de 0,081 TWh/EB à 0,033 TWh/EB), et celle des réseaux filaires par plus de 3 (passant de 0,112 TWh/EB à 0,033 TWh/EB).

⁴¹ Parmi 447,7 TWh selon un calcul des auteurs à partir de Rte 2019 (A) et Enedis 2019

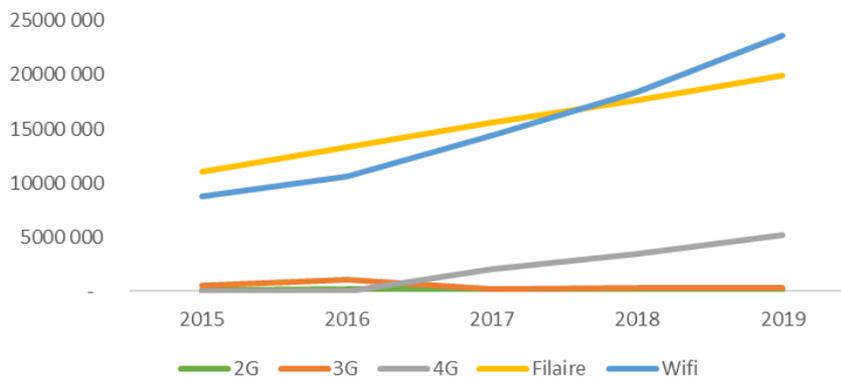


Graphique 5. Efficacité électrique (TWh/EB) des réseaux mobiles, par type de réseau mobile, entre 2015 et 2019

La détérioration d'efficacité électrique de la 3G entre 2016 et 2017 (graphique 5) s'explique par une baisse de trafic sur cette génération de réseau mobile, supplantée par la 4G. Or les réseaux mobiles anciens en particulier ont une part importante de leur consommation électrique qui est fixe. Ainsi la consommation électrique des réseaux n'est pas proportionnelle au trafic de données.

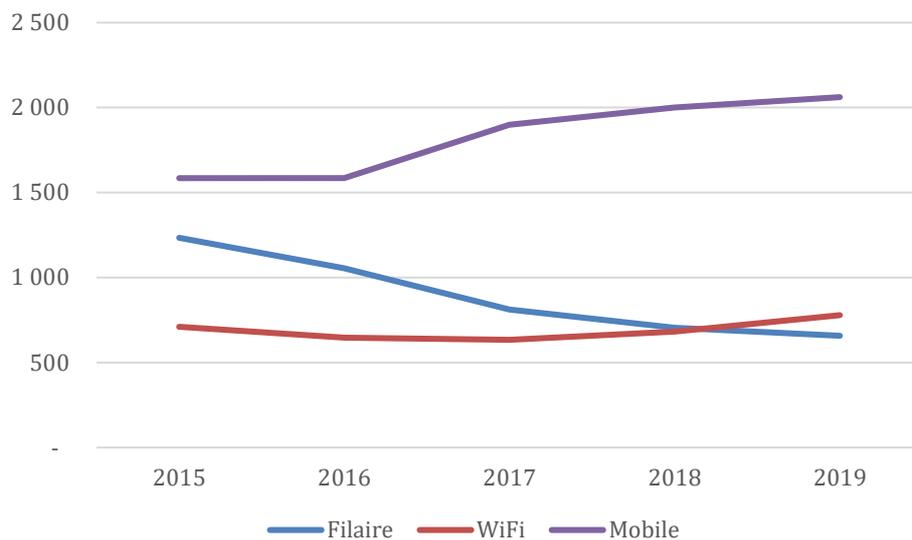


Graphique 6. Efficacité électrique (TWh/EB) des réseaux fixes, par type de réseau fixe, entre 2015 et 2019



Graphique 7. Volumes de données échangées (Téraoctets), par type de réseau, entre 2015 et 2019

Les gains d'efficacité énergétique représentés dans le graphique 6 n'impliquent pas nécessairement une baisse de consommation électrique. Une hausse de la demande peut compenser les gains d'efficacité, or les gains d'efficacité peuvent stimuler la demande en augmentant la performance des réseaux. Meilleur est le débit, plus les utilisateurs consomment de données numériques. Les gains d'efficacité peuvent ainsi contribuer à une hausse de la consommation en valeur absolue. C'est l'« effet rebond ». D'après les échanges de la mission avec M Combaz, l'effet rebond est à l'œuvre avec les réseaux mobiles (portés par la 5G) et peut-être également le réseau fixe WiFi dont les consommations électriques ont augmenté entre 2016 et 2019 (graphique 8) malgré des gains d'efficacité énergétique importants sur la même période.



Graphique 8. Consommation d'électricité en fonctionnement des réseaux français par technologie (GWh)

En d'autres termes, cet effet correspond à une augmentation de la demande qui fait suite à des gains d'efficacité énergétique, à tel point qu'elle supprime les potentiels gains de consommation énergétique et *in fine* de gains environnementaux.

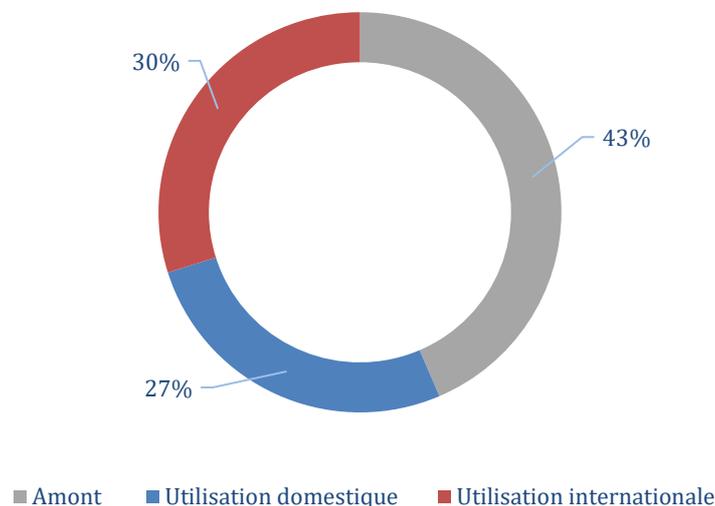
Les **réseaux internationaux** ont consommé 0,02 TWh d'énergie primaire, et 6 766 tCO₂eq. C'est donc une part marginale de la consommation énergétique (0,2%) et des émissions (1,75%) attribuables aux réseaux. Cette part, très faible, est sûrement sous-évaluée : elle comporte seulement la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre liées à la part française de l'utilisation des câbles sous-marins, et omet ainsi l'équipement et la consommation des câbles souterrains, ainsi que l'équipement et la consommation nécessaire à l'acheminement des données depuis les centres informatiques jusqu'aux câbles sous-marins.

4.2.2 Phase amont

En phase amont, les réseaux ont consommé 1,4 TWh d'énergie primaire, et émis 0,3 MtCO₂eq en 2019. La phase amont représente 13% de la consommation d'énergie primaire et 44% des émissions de gaz à effet de serre attribuables aux réseaux.

4.3. Les centres informatiques

Les centres informatiques utilisés par des entreprises et individus résidant en France en 2019 ont consommé environ 33,5 TWh d'énergie primaire et émis 2,1 MtCO₂eq. L'énergie primaire est surtout consommée sous forme d'électricité en phase utilisation en France, tandis que les gaz à effet de serre sont surtout émis à l'étranger.



Graphique 9. Émissions de GES des centres informatiques par phase et localisation en 2019 (tCO₂eq)

A la différence des terminaux et à l'instar des réseaux, les centres informatiques émettent légèrement plus de gaz à effet de serre en phase utilisation qu'en phase amont. Nous estimons cette répartition à 57% et 43% respectivement, comme présenté dans le graphique ci-dessus.

Enfin, une estimation de l'empreinte carbone des centres informatiques qui se limiterait à la phase utilisation sur le territoire (27%, graphique 9) ignorerait les trois quarts des émissions de gaz à effet de serre imputables aux usages français de centres informatiques.

4.3.1 Phase utilisation

Les consommations énergétiques liées à la phase utilisation des centres informatiques ont notamment été étudiées à travers les trafics de données qu'ils génèrent ou reçoivent. Les centres informatiques qui hébergent des données et exercent des calculs pour le marché français (ex : services de stockage *cloud*, vidéo et autres contenus en ligne) sont aujourd'hui majoritairement

(en volume de données traitées) situés à l'étranger. Ils seraient à l'origine d'un trafic IP DC (cf. définition dans la partie 3.3.4) ou « cloud » de 182 Exaoctets (EB) en 2019 contre 150 EB pour les centres informatiques installés en France (soit un ratio 55-45).

Les **centres informatiques à l'étranger** auraient une **efficacité énergétique dix fois supérieure** en moyenne à ceux installés en France, parce que les premiers sont surtout des *hyper datacenters* optimisés tandis que les centres informatiques installés en France comprennent une part significative de petits sites hébergeant des serveurs d'entreprise. Cependant, **l'intensité carbone de l'électricité en France est presque dix fois inférieure** à celle retenue pour l'étranger, soit celle des États-Unis⁴². Par conséquent, la répartition des émissions de GES due à l'utilisation des data centers entre la France et l'étranger est à peu près équivalente à la répartition du trafic de données IP DC. Les centres informatiques sur le territoire émettraient ainsi légèrement moins de GES que les centres informatiques installés à l'étranger servant aux Français.

La prédominance des centres informatiques à l'étranger s'explique notamment par la dominance des fournisseurs de contenu et d'applications Américains, tels les GAFAM et Netflix (Arcep, 2019⁴³). Ces entreprises hébergent jusqu'à présent leurs services aux États-Unis ou à défaut dans des pays Européens comme l'Irlande et les Pays-Bas pour servir entre autres le marché français. Le graphique ci-dessous illustre cela puisque 4 entreprises américaines sont à l'origine de plus de la moitié de trafic en interconnexion de la France, c'est-à-dire entre opérateurs réseaux français et étrangers.

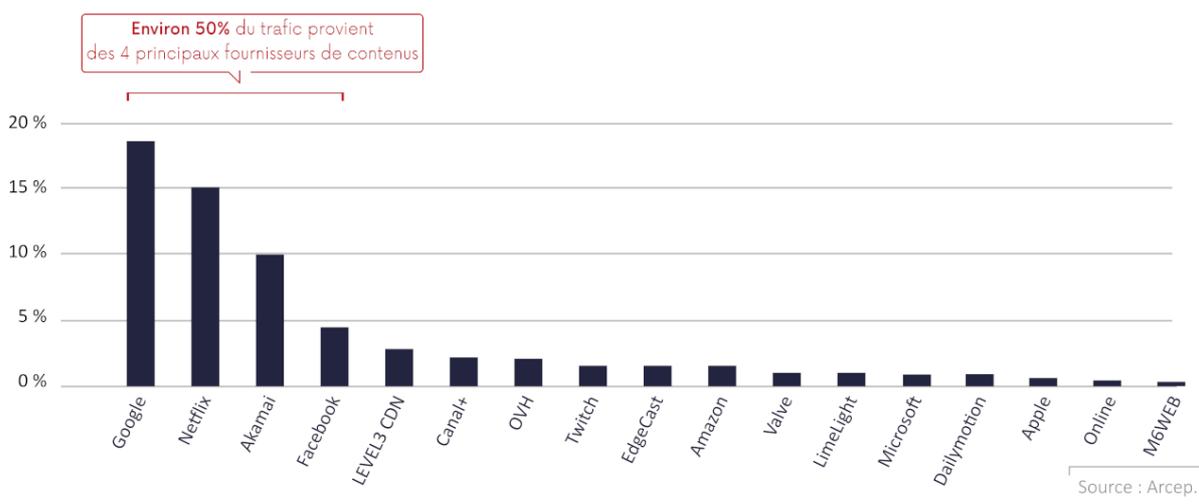


Figure 9. Décomposition du trafic en France selon l'origine au premier semestre 2018, Arcep (2019)

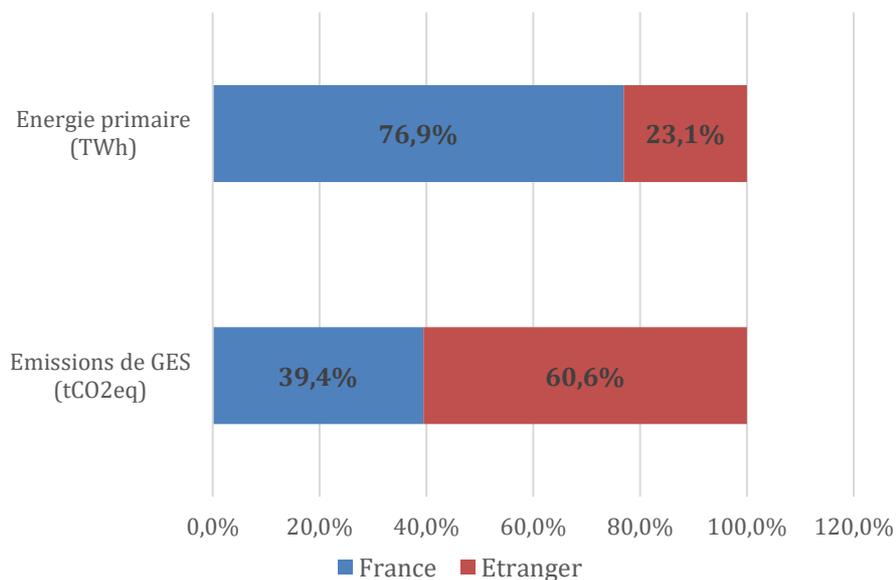
⁴² 493 gCO₂éq par KWh selon le Shift Project (2019)

⁴³ Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse, « BAROMETRE DE L'INTERCONNEXION DE DONNEES EN FRANCE », juin 2019

4.3.2. Phase amont

La phase amont des usages français de centres informatiques représentait environ 4,4 TWh de consommation énergétique primaire et près d'un million de tCO₂eq d'émissions de GES en 2019. Comme pour les réseaux, l'hypothèse centrale est que l'énergie primaire en phase en utilisation est proportionnelle (15%) à celle déployée en phase utilisation. Cette approche par des ratios mondiaux, plutôt qu'une approche analytique par composante des centres informatiques, évalue mieux l'ensemble du périmètre considéré, mais elle ne permet que difficilement de ventiler les résultats, par exemple selon le lieu d'émission des GES. Pour ce faire, la mission a estimé qu'un tiers des empreintes énergétiques et carbone de la fabrication de centres informatiques en France avaient lieu sur le territoire⁴⁴ ; la fabrication des équipements informatiques qui les composent aurait lieu principalement à l'étranger et contribuerait aux deux tiers restants. Les empreintes énergétiques et carbone des centres informatiques situés à l'étranger sont présumées entièrement étrangères.

Sur la base de ces hypothèses fortes, le modèle permet de déterminer la part d'énergie primaire consommée et de GES émise en France et la part émise à l'étranger pour les centres informatiques. Il indique que les trois quarts de l'énergie primaire et 40% des émissions de GES attribuables aux centres informatiques pour les usages du numérique en France (phase amont et utilisation) ont lieu sur le territoire national (graphique 10). La consommation d'électricité des serveurs en phase utilisation est la principale responsable des empreintes énergétique et carbone domestiques. Les émissions à l'étranger résultent à peu près pour moitié du carbone embarqué dans les équipements des centres informatiques installés en France, qui sont le plus souvent importés, et pour seconde moitié des émissions amont et utilisation des centres informatiques sis à l'étranger qui desservent des utilisateurs en France.



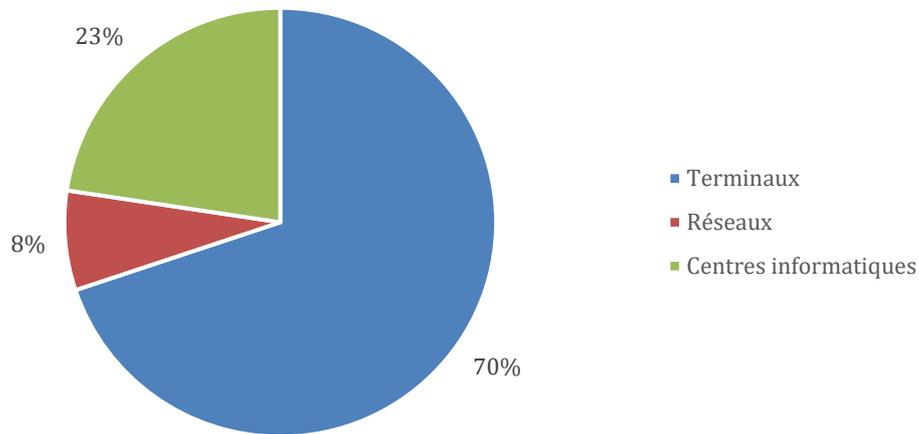
Graphique 10. Localisation des émissions de GES émises et de l'énergie primaire consommée en 2019 par les centres informatiques

⁴⁴ Cette hypothèse permet de tenir compte de l'empreinte carbone liée à la construction des bâtiments hébergeant les centres informatiques français.

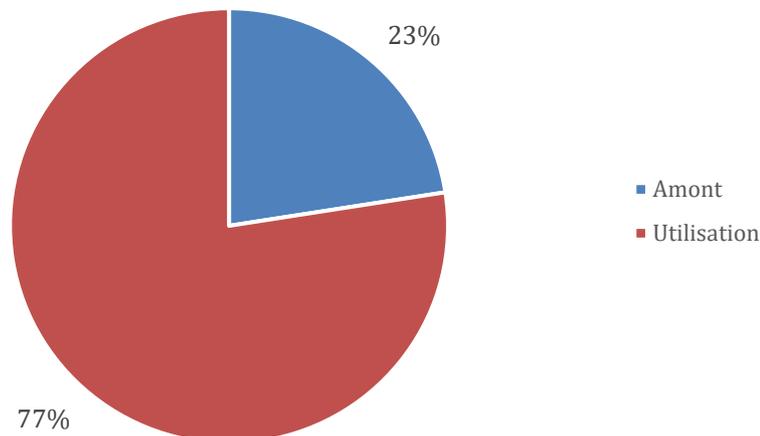
4.4. Données agrégées du numérique en France en 2019

4.4.1. Consommation d'énergie primaire, d'électricité et émissions de gaz à effet de serre du numérique en 2019

La mission estime que **le secteur du numérique en France a consommé au total, y compris par ses importations, 148 TWh d'énergie primaire en 2019**. Les terminaux représentent la grande majorité de cette consommation d'énergie (70%), suivis par les centres informatiques (23%) et les réseaux (8%). On note par ailleurs que la phase utilisation est la plus énergivore, représentant plus des trois-quarts de la consommation d'énergie primaire (graphique 12).



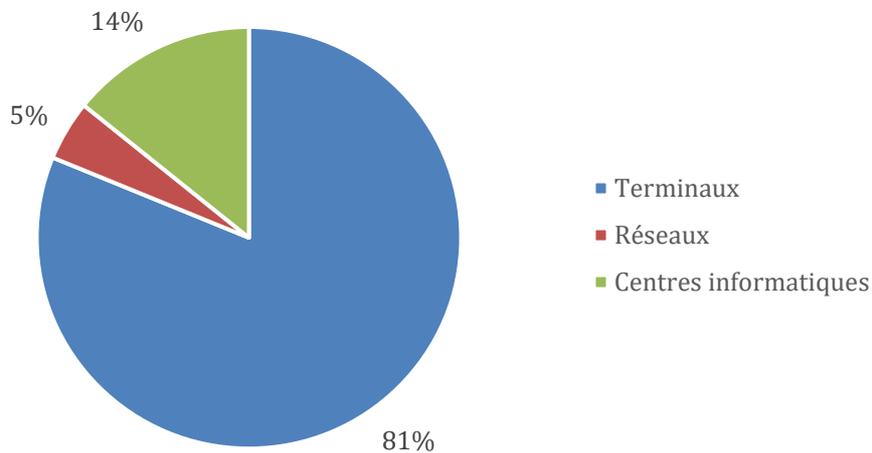
Graphique 11. Consommation d'énergie primaire du numérique, par sous-ensemble, valeur relative



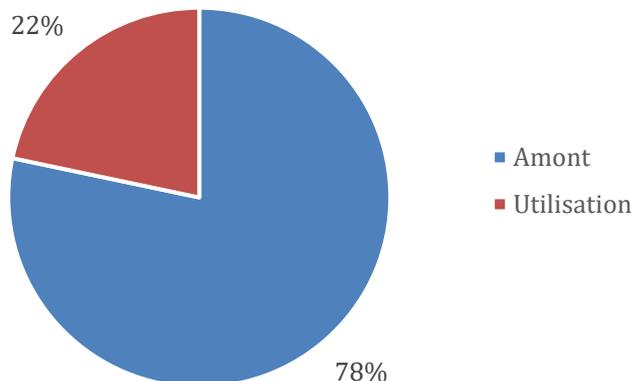
Graphique 12. Consommation d'énergie primaire du numérique, par phase, valeur relative

Le numérique représenterait déjà 9,6% de la consommation d'électricité finale en France et 8,8% de la puissance électrique installée sur le territoire.

Les émissions de gaz à effet de serre du secteur du numérique sont estimées par cette mission à environ 15 MtCO₂eq en 2019. Les terminaux sont les plus émetteurs de gaz à effet de serre (81%), suivis des centres informatiques (14%) et des réseaux (5%), comme l'indique le graphique 13. Cette fois, la phase amont est bien plus émettrice de gaz à effet de serre (78%) que la phase utilisation (22%) (graphique 14). Cette différence avec l'approche en termes d'énergie primaire s'explique principalement par le fait que les équipements soient majoritairement issus d'importations de pays d'Asie, où l'intensité carbone de l'électricité est plus importante qu'en France. Par ailleurs, la fabrication des équipements est très consommatrice d'énergie fossile (extraction de minéraux notamment).

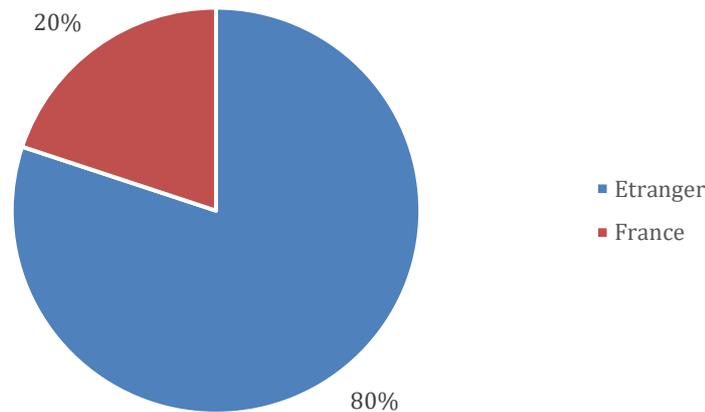


Graphique 13. Émissions de gaz à effet de serre du numérique, par sous-ensemble, valeur relative



Graphique 14. Émissions de gaz à effet de serre du numérique, par phase, valeur relative

Cette répartition des émissions de GES entre la phase amont et la phase utilisation (78-22) est sensiblement identique à la répartition des émissions de GES en France et à l'étranger (80-20). En effet, la plupart des équipements sont produits à l'étranger. Le léger décalage s'explique notamment par le fait que les émissions de GES produites à l'étranger par les centres informatiques en phase utilisation (640 000 tonnes), sont plus importantes que les émissions de GES produites en France par les centres informatiques en phase amont (275 000 tonnes).



Graphique 15. Localisation des émissions de gaz à effet de serre du numérique, en valeur relative

4.4.2. Comparaison avec les résultats du CGE

Un rapport du Conseil Général à l'Économie (CGE) publié en décembre 2019 a estimé l'empreinte carbone du numérique français à 11 millions de tCO₂éq en 2018. L'écart de 4 millions de tonnes avec l'estimation de la présente étude s'explique principalement par des différences de champ d'étude :

- La présente étude a estimé les émissions en phase amont des réseaux et centres informatiques, ce que n'avait pas fait le CGE
- La présente étude a estimé les émissions des réseaux et centres informatiques installés à l'étranger mais qui servent les consommations françaises de services numériques, ce que n'avait pas fait le CGE
- La présente étude a inclus des terminaux que n'avait pas pris en compte le CGE : consoles de jeu de salon et portables, enceintes connectées, casques de réalité virtuelle et modules de connexion IoT
- La présente étude n'a pas inclus certaines composantes des émissions *scope 3* des opérateurs, comme les déplacements entre le domicile et le lieu de travail des salariés des opérateurs télécoms avec leur propre véhicule, pris en compte par le CGE

Le champ d'étude de la mission est donc globalement plus large que celui du CGE, qui a eu une approche plus analytique et, hormis les émissions amont des terminaux, centrée sur le territoire

français. La mission s’est cependant appuyée autant que possible sur le travail du CGE et a auditionné ses rapporteurs.

Une autre différence significative entre les deux études concerne l’intensité carbone de l’électricité consommée en France. Le CGE a utilisé une valeur de 81 gCO₂/kWh issue de la base carbone ADEME 2014⁴⁵, alors que l’intensité carbone de l’électricité française utilisée dans le présent rapport est de 57,1 gCO₂/kWh, issue de la base carbone ADEME 2018⁴⁶. Cette valeur plus haute augmente l’estimation du CGE par rapport à celle de cette étude. Elle compense en partie l’écart entre les deux estimations.

4.4.3 Le numérique en France par rapport au numérique à l’étranger en 2019

Le tableau ci-après reporte trois estimations de l’empreinte énergétique et carbone du numérique à l’échelle mondiale en 2019.

Empreinte environnementale du numérique dans le monde en 2019	Andrae (expected, 2015)	Shift Project (expected updated, 2018)	GreenIT (2019)
Energie primaire (TWh)	5 523	6 700	6 800
Electricité (TWh)	2 700	2 000	1 300
Emissions de GES (MtCO ₂ éq)	1 173	2 100	1 400

Tableau 1. Récapitulatif des résultats des empreintes énergétique et carbone du numérique d’autres travaux, à l’échelle mondiale en 2019

On relève en premier lieu que les estimations peuvent varier selon les auteurs ; ces variations peuvent notamment s’expliquer par des différences d’assiette, de méthode et des marges d’erreur dans les calculs.

Une moyenne des résultats des trois études au périmètre monde est retenue (tableau 2) pour estimer la contribution de la France à cette empreinte mondiale. La part française dans le monde, pour chaque indicateur selon les résultats de la présente étude, est indiquée dans le tableau ci-dessous :

Estimation en 2019	Monde	France	Part de la France dans le monde
Énergie primaire (TWh)	6 341	143	2,26%
Électricité (TWh)	1 956	44	2,25%
Émissions de GES (MtCO ₂ éq)	1 543	15	0,97%
PIB nominal (\$MdsUS)	99 500	2 640	2,65%
Population	7,6 Mds	67 M	0,88%

Tableau 2. Empreintes énergétique et carbone du numérique Français dans le monde en 2019

⁴⁵ Cette valeur intègre, au-delà de la production d’électricité, la phase amont des combustibles ainsi que les transports et la distribution d’électricité

⁴⁶ Cette valeur n’intègre pas la phase amont des combustibles, mais elle est plus récente

Rapportées au niveau de richesse, les émissions de GES du numérique français sont relativement faibles à l'échelle mondiale puisque inférieures à la part du PIB français dans le monde estimée à **2,7% selon le PIB nominal**⁴⁷. La faible intensité carbone de l'électricité consommée en France en est la première explication.

La part également relativement faible des usages français dans la consommation d'électricité mondiale du numérique pourrait s'expliquer par des réseaux télécoms performants, par des terminaux en circulation plutôt récents et soumis aux normes européennes donc plus faiblement consommateurs d'électricité, ou encore par des marges d'erreur ou biais d'étude. Les estimations mondiales sur l'indicateur électrique semblent les moins précises.

Rapportées au nombre d'habitants cependant, les émissions de GES du numérique sont relativement élevées avec **1,1 fois la moyenne mondiale par habitant des émissions de GES du numérique**. Surtout, les usages numériques des Français sont bien supérieurs à la moyenne mondiale selon les indicateurs énergétiques avec **2,7 fois la consommation d'énergie primaire** toutes phases confondues et **2,6 fois la consommation d'électricité** en utilisation.

4.4.4 Le numérique parmi d'autres secteurs en France en 2019

En 2019, les émissions de gaz à effet de serre des français liées au numérique estimées dans cette étude (15 MtCO₂eq) représentent 226kg de CO₂ par Français en moyenne. Cette empreinte carbone est à rapprocher de l'empreinte carbone totale des français, qui s'établissait en 2018 à 11,2 tCO₂eq par personne⁴⁸. Cette empreinte carbone totale intègre les « fuites de carbone » et le « carbone embarqué », c'est-à-dire la différence entre les émissions importées et exportées.

Aussi, selon les estimations de cette mission, qui tiennent également compte du carbone embarqué, **les usages du numérique représentent aujourd'hui environ 2% de l'empreinte carbone des Français** en 2019.

Sans les fuites de carbone, les émissions sur le territoire national s'élèvent à seulement 6 tCO₂eq par habitant environ en 2019. Seules les émissions domestiques du numérique (2,6 millions de tCO₂eq) peuvent être comparées à un bilan carbone selon ce périmètre resserré (appelé périmètre Kyoto ou encore inventaire national, cf. explications partie 5.4.3), ce qui représente moins d'un pourcent (0,6%) des émissions sur le territoire français.

La comparaison par secteur est moins aisée en raison de difficultés d'attribution par secteur. L'empreinte carbone du numérique apparaît par exemple très proche de celle de l'informatique,

⁴⁷ La France représente 2,65% du PIB mondial nominal (\$2 640 milliards en France sur \$99 500 milliards de produit intérieur brut nominal selon l'OCDE, « *Prévisions du PIB réel à long-terme issues de : Perspectives macroéconomiques à long terme : scénario de référence, No. 95* » en 2014) et 2,2% à parité de pouvoir d'achat selon Statista. Les produits qui composent le numérique sont « globalisés », c'est-à-dire qu'ils sont relativement standardisés et produits de la même manière et au même endroit pour l'ensemble de la planète : en Asie du Sud-Est. Le PIB nominal est donc la meilleure unité pour définir la proportion attendue des différentes empreintes du numérique français à l'échelle mondiale.

⁴⁸ Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (2020) « *Stratégie française pour l'énergie et le climat : Programmation Pluriannuelle de l'Énergie 2019-23 et 2024-28* ».

de l'électronique et des équipements électriques dans son ensemble⁴⁹. Le nombre d'équipements considérés dans cette étude est plus restreint que l'assiette de calcul du MTES (2020), mais le périmètre est élargi vers les empreintes des réseaux et des centres informatiques ; la comparaison n'est donc pas possible.

Cependant, l'empreinte carbone du numérique peut être comparée à celle de secteurs avec lesquels il y a peu de risque de chevauchement. L'empreinte carbone du numérique serait ainsi du même ordre que celle de la chimie et pharmacie, ou encore que celle des services de transport terrestre. Elle serait légèrement inférieure au service de transport aérien, mais supérieure à l'empreinte carbone des textiles consommés en France. La comparaison avec le secteur des services de transport aérien est particulièrement justifiée car on y retrouve une empreinte carbone du même ordre de grandeur, une ventilation selon le lieu d'émission autour de 20% en France et 80% à l'étranger également, et enfin la même tendance à la hausse.

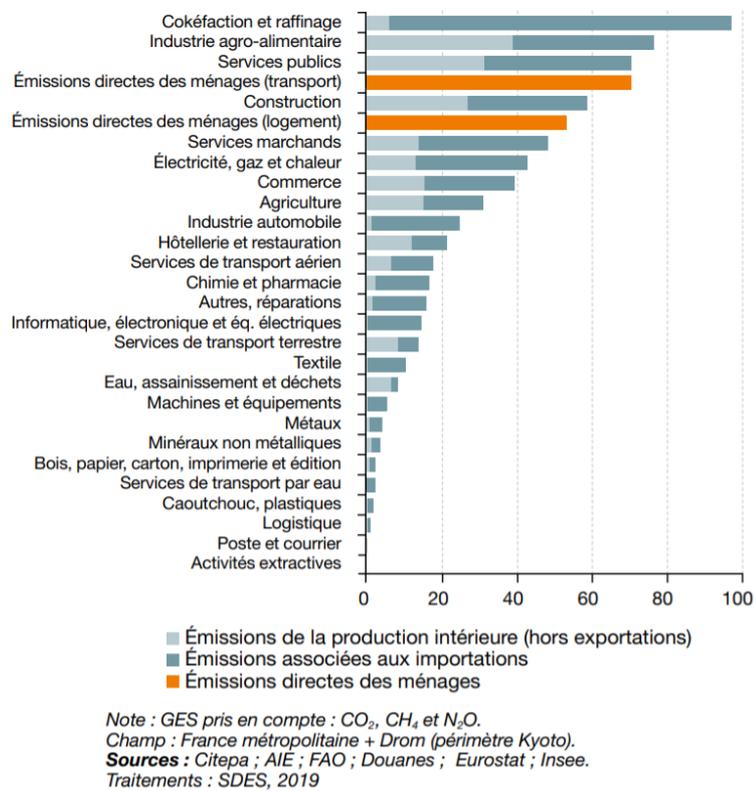


Figure 10. Décomposition de l'empreinte carbone des français en 2018, MTES (2020) en MtCO₂eq

⁴⁹ Ibid.

4.4.5. Le coût carbone du numérique et la pertinence de l'investissement pour sa neutralisation

Une valeur de l'action pour le climat est définie par France Stratégie⁵⁰, qui la présente comme suit :

« L'ambition française est d'éliminer les émissions de gaz à effet de serre sur le sol national à l'horizon 2050.

[...] Cette ambition doit s'incarner dans des changements de comportement, des investissements publics et privés, et plus généralement dans un ensemble d'actions publiques et privées. Il faut agir sur un front large, mais il faut aussi agir dans le bon ordre, fixer des priorités, concentrer les moyens sur les actions utiles, arbitrer entre le déploiement rapide de technologies matures et l'anticipation de nouvelles solutions permises par les innovations en cours, accompagner les transitions industrielles et sociales.

Donner une valeur monétaire à l'action pour le climat, c'est reconnaître la valeur de l'action par rapport à la non-action, c'est signaler que les activités humaines doivent intégrer, « internaliser » les bénéfices collectifs que procure la réduction des émissions de gaz à effet de serre. C'est se donner une référence pour sélectionner et hiérarchiser les actions utiles à la collectivité.

La lutte contre le changement climatique et les bénéfices qu'elle procure pour la collectivité ne sont pas spontanément pris en compte dans les calculs de rentabilité financière des acteurs publics et privés. La valeur de l'action pour le climat – ou valeur tutélaire du carbone – vient combler cette défaillance de marché : elle donne une mesure du chemin qui reste à parcourir – et exprime en conséquence la valeur que la société doit accorder aux actions publiques et privées de décarbonation permettant d'arriver au bout du chemin. Ce sont les deux faces d'une même pièce. »

En 2019, la valeur de l'action pour le climat définie ci-dessus, s'élève à 71 € par tCO₂eq. En d'autres termes, une tonne de carbone émise inflige à la société un coût de 71€. Il devient donc collectivement rentable d'investir jusqu'à 71€ pour éviter une tonne de carbone. Pour les actions permettant d'éviter une tonne de carbone dont le coût socio-économique dépasse 71 €, il est préférable d'investir dans la recherche et l'innovation, afin de réduire le coût de l'action et permettre une mise en œuvre ultérieure, collectivement rentable.

Cette valeur a été appliquée à l'empreinte carbone du secteur du numérique : les 15 millions de tCO₂eq émises par le numérique en France en 2019 ont représenté une externalité négative de plus d'un milliard d'euros.

En matière de politiques publiques et au regard des engagements pour le climat, cela signifie que des mesures visant à éviter cette empreinte carbone permettraient d'éviter un coût social de plus d'un milliard d'euros. En miroir, on peut estimer qu'il aurait été opportun pour la France, pour atteindre la neutralité carbone du secteur numérique, de prendre des mesures qui auraient pu avoir un coût socio-économique d'1 milliard d'euros. Le coût socio-économique d'une mesure signifie que la mesure peut avoir un impact économique négatif (par exemple une mesure ayant un impact sur la productivité des entreprises) ou un impact social négatif (par exemple, la limitation du nombre d'heures de téléchargement de vidéos est susceptible d'avoir un impact

⁵⁰ La valeur de l'action pour le climat – une valeur tutélaire du carbone pour évaluer les investissements et les politiques publiques. Rapport de la commission présidée par Alain Quinet, février 2019

Juin 2020

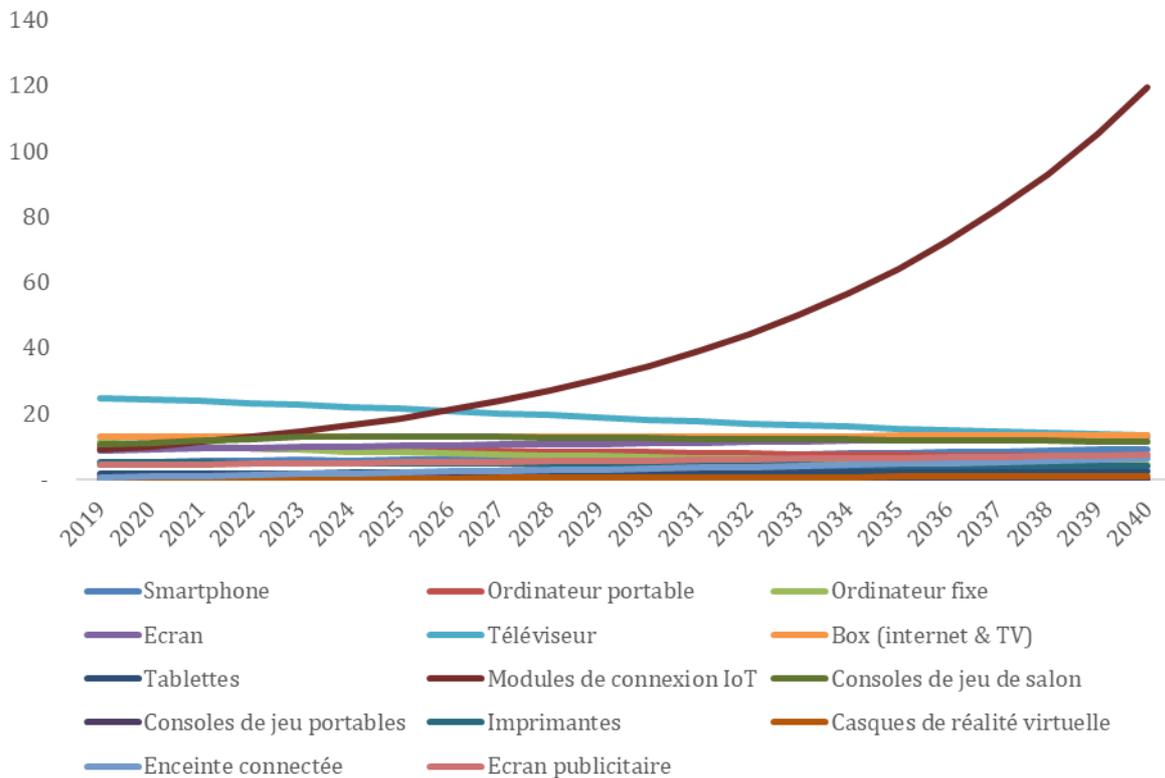
négalif en termes de bien-être). Si le coût de ces mesures est égal 1 milliard d'euros au plus, mais qu'elles permettent d'éviter 15 millions de TCO₂eq, alors ce sont de « bonnes » mesures, si tant est que ces mesures ne génèrent pas une hausse des émissions par d'autres secteurs. Les mesures peuvent concerner des taxes, des mécanismes incitatifs, des quotas, etc.

5. Empreinte carbone du numérique : projections aux horizons 2025 et 2040

5.1. Projections pour les terminaux

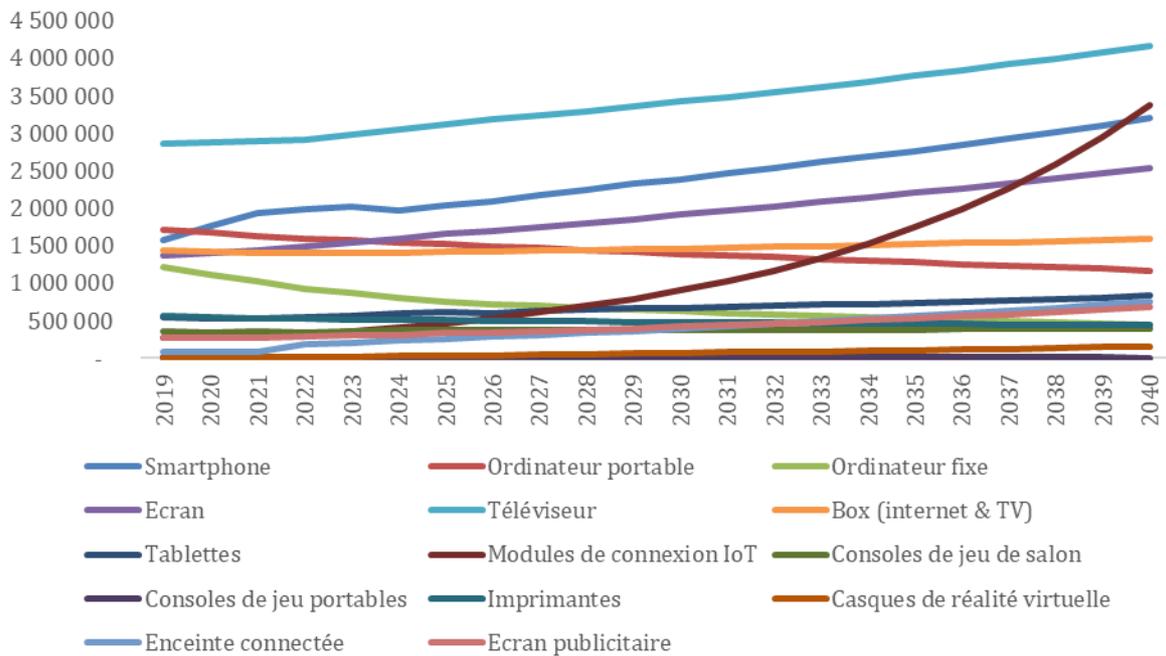
A l’horizon 2025, la mission évalue que les terminaux émettront, en borne centrale, environ 13 millions de tCO₂eq ; en 2040, les émissions atteindraient 20 millions de tCO₂eq. Pour rappel, la mission a évalué que les terminaux ont émis 12,3 millions de tCO₂eq en 2019.

Le graphique 16 met en évidence les modules de connexion IoT, qui voient leur consommation d’énergie primaire s’accroître fortement sur l’ensemble de la période. En 2019, leur contribution à la consommation totale d’énergie primaire des terminaux est mineure : 8,6%. Toutefois, la mission estime qu’en 2025, leur part sera presque multipliée par deux (16,3%) puis presque par 7 (56,1%) en 2040. Principaux consommateurs d’énergie primaire en 2019, les téléviseurs voient leur consommation décroître à l’horizon 2040 du fait de la baisse unitaire de la consommation électrique. Ils passent de 24,8 TWh consommés en 2019 à 21,6 TWh en 2025 et 13,4 TWh en 2040, en valeur absolue comme en valeur relative.



Graphique 16. Projection à l’horizon 2040 de la consommation d’énergie primaire des 14 terminaux de l’étude, phase amont et phase utilisation confondues

Contrairement à la consommation d'énergie primaire, la contribution des terminaux aux émissions de gaz à effet de serre est plus différenciée (graphique 17). En 2019, les trois principaux émetteurs étaient les téléviseurs, les ordinateurs portables et les smartphones. La mission estime qu'en 2025 les principaux émetteurs seront les téléviseurs, les smartphones et les écrans. A la fin de la période d'analyse, en 2040, nous estimons que les téléviseurs, du fait de l'accroissement de la taille des écrans, les modules de connexion IoT, du fait de leur volumétrie, et les smartphones, du fait de leur sophistication croissante, seront les terminaux les plus émetteurs.



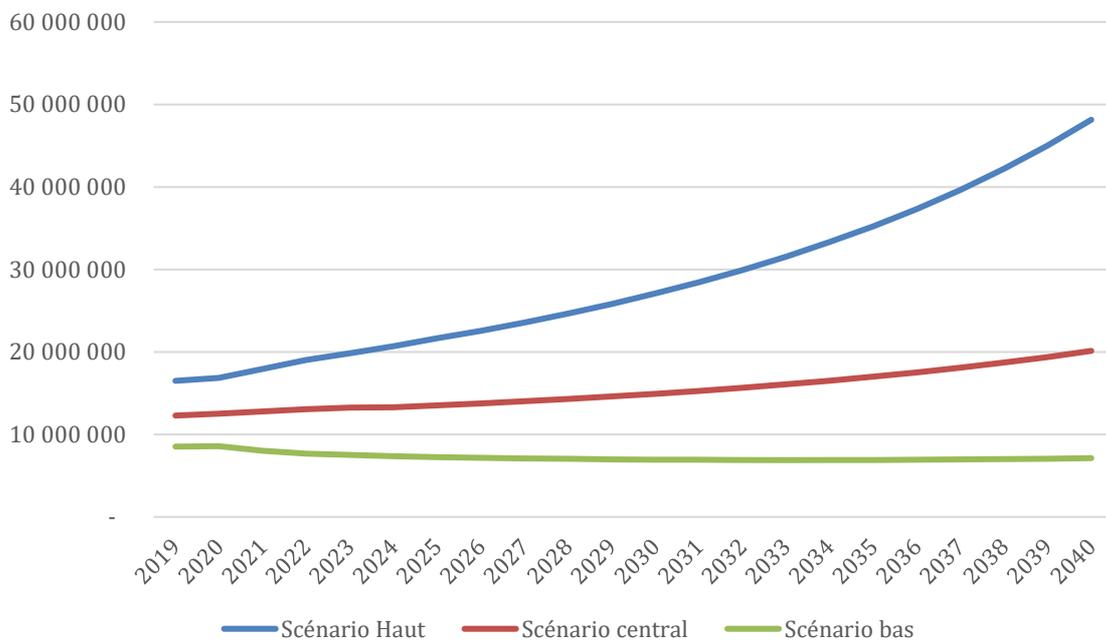
Graphique 17. Projection à l'horizon 2040 des émissions de gaz à effet de serre des 14 terminaux de l'étude, phase amont et phase utilisation confondues

Comme dans le cas des énergies primaires consommées, une importante croissance des émissions de gaz à effet de serre des modules de connexion IoT est observée : les émissions de GES seront multipliées par 12 à l'horizon 2040. L'émergence de cette catégorie s'explique par le développement des objets et machines connectés, dont les usages résidentiels et en entreprise se multiplient. En 2019, la mission estime que la France comptait 250 millions modules de connexion IoT, soit environ 4 modules par français. En 2030, nous estimons que le parc sera de 1,7 milliards, soit environ 25 modules par français.

De 2021 à 2023, afin de tenir compte de l'arrivée de la 5G, une hypothèse d'augmentation des ventes de smartphones a été établie, conduisant à ne pas poursuivre la tendance historique observée. De cette manière, la modélisation prévoit le probable renouvellement précoce du parc de smartphones provoqué par la commercialisation des premiers abonnements mobiles 5G prévus en 2021. Un tel phénomène avait été observé lors de l'arrivée de la 4G. Ce choix explique la forme particulière de la courbe des émissions de GES des smartphones entre 2019 et 2025.

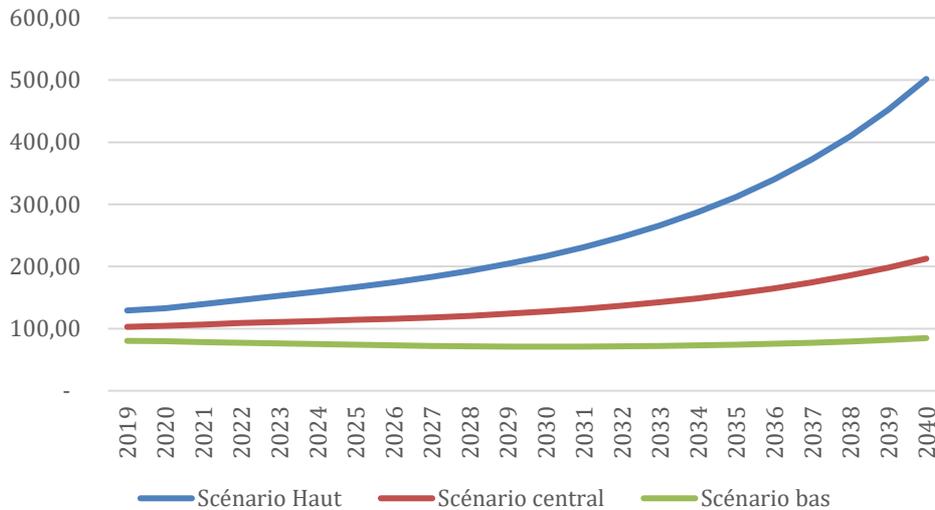
A l’horizon 2040, seuls quatre terminaux connaissent une décroissance de leurs émissions de GES : les ordinateurs fixes et portables, les consoles de jeux portables et les imprimantes. Cela peut s’expliquer par la combinaison de plusieurs phénomènes : les gains d’efficacité d’une part, et la poursuite de la baisse du taux d’équipement d’autre part, qui affecte le parc et les ventes anticipés pour ces quatre terminaux.

En fonction des scénarios, les résultats sont très contrastés (graphique 18) : le scénario haut estime que les émissions de GES des terminaux devraient atteindre entre 48 millions de tCO₂eq en 2040, tandis que le scénario bas les estime à 7,1 millions de tCO₂eq la même année. Les hypothèses les plus structurantes qui expliquent cet écart sont notamment le développement important des modules de connexion IoT, avec en scénario haut une forte hausse des ventes (+14% par an) et en scénario bas un développement plus limité (+10% par an), et le facteur d’intensité carbone de l’électricité différencié dans les scénarios (cf. partie 3.4.1).



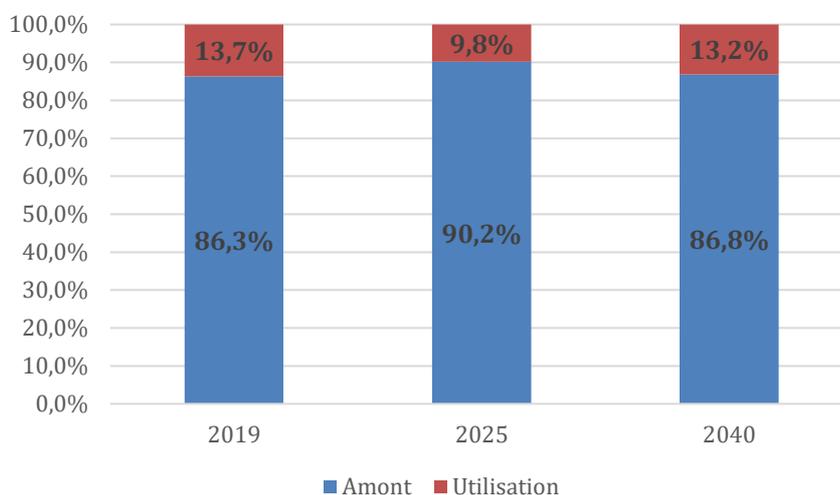
Graphique 18. Comparaison à l’horizon 2040 des émissions de gaz à effet de serre des terminaux selon le scénario

Quant aux consommations d’énergie primaire des terminaux, elles sont estimées à 502 TWh en 2040 dans le scénario haut et à 84,8 TWh la même année dans le scénario bas (graphique 19).



Graphique 19. Comparaison à l'horizon 2040 des consommations d'énergie primaire des terminaux selon le scénario

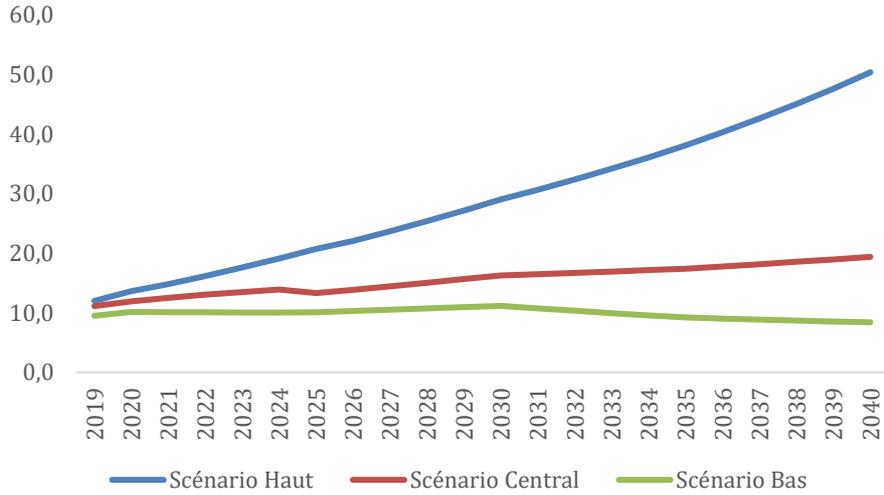
S'agissant enfin de la répartition entre phase amont et phase utilisation, les écarts devraient dans un premier temps se creuser : rappelons qu'en 2019, la part des émissions de GES des terminaux en phase utilisation (13,7%) est inférieure à celle en phase amont (86,3%). Les projections à horizon 2025 indiquent que la part des émissions amont va progresser pour atteindre 90,2% des émissions totales (10,6 MtCO₂eq) et celle des émissions en phase utilisation va régresser pour atteindre 9,8% (1,3 MtCO₂eq) en 2025. Les émissions amont vont donc progresser à un rythme plus soutenu que les émissions utilisation. En phase utilisation, les terminaux vont profiter de l'importante diminution de l'intensité carbone de l'électricité française. En phase amont, les émissions de GES, liées notamment à la production et à la distribution, ne connaîtront pas d'inflexion généralisée. D'après les résultats du modèle, cette tendance ne devrait pas se poursuivre au-delà de 2025 dans le scénario central du fait de l'envol de la consommation électrique des modules IoT. Les émissions amont et utilisation devraient représenter respectivement 86,8% (17,1 MtCO₂eq) et 13,2% (2,6 MtCO₂eq) en 2040.



Graphique 20. Répartition des émissions de gaz à effet de serre selon les phases Amont et Aval à l'horizon 2025 et 2040

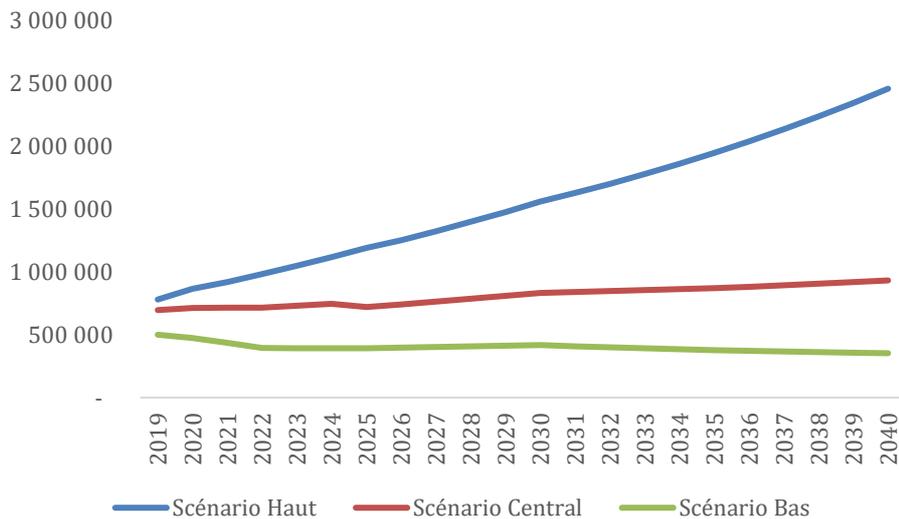
5.2. Projections pour les réseaux

De 11,1 TWh en 2019, la consommation d'énergie primaire des réseaux en France pourrait passer, en scénario central à 13,3 TWh en 2025, et 19,4 TWh en 2040. Les émissions de GES des réseaux augmenteraient lentement, de 746 milliers de tCO₂eq en 2025 à 932 milliers de tCO₂eq en 2040, contre 696 milliers de tCO₂eq en 2019.



Graphique 21. Comparaison à l'horizon 2040 de la consommation d'énergie primaire des réseaux, en TWh, différenciée par scénario

Tout comme pour les terminaux, ces résultats sont fortement variables en fonction des scénarios : en scénario bas, les réseaux pourraient émettre environ 350 milliers de tCO₂eq en 2040 ; en scénario haut, 2,5 millions de tCO₂eq, soit un rapport de 1 à 7.

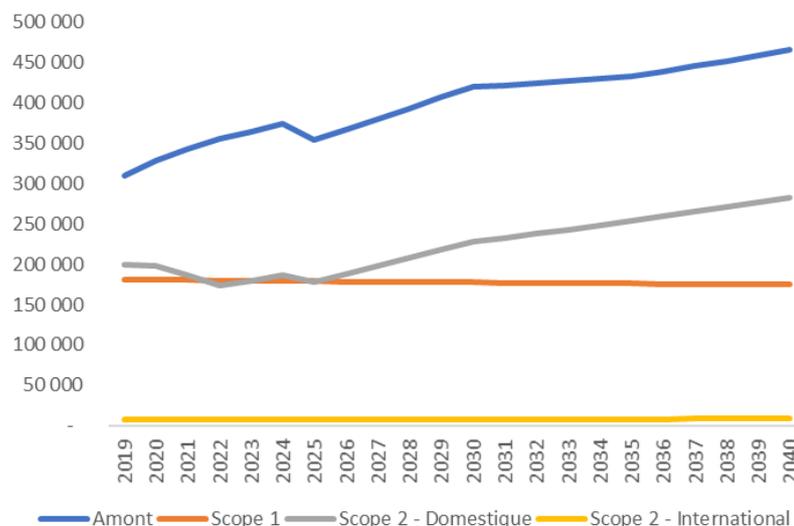


Graphique 22. Comparaison à l'horizon 2040 des émissions de gaz à effet de serre des réseaux, en tCO₂eq, différenciés par scénario

On relève que deux tendances se distinguent à l'analyse de la croissance des émissions de gaz à effet de serre des réseaux à horizon 2040 en fonction des scopes considérés (graphique 23). Pour rappel, les scopes 1 et 2 – domestique et international correspondent à la phase utilisation.

D'une part, les émissions liées au scope 1 (émissions directes des opérateurs réseaux) et au scope 2 international sont pratiquement constantes, quel que soit le scénario choisi.

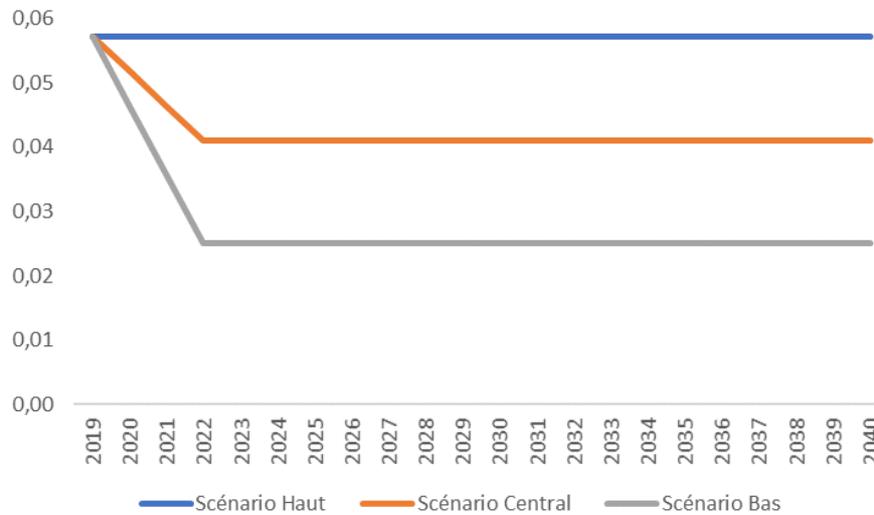
D'autre part, les émissions de gaz à effet de serre liées au scope 2 domestique (correspondant, pour rappel, à l'utilisation des réseaux domestiques) augmenteraient en scénario central d'environ 40 % d'ici à 2040 ; en scénario haut, de plus de 300%. En scénario bas, ces émissions se réduiraient de moitié à l'horizon 2040, dont une chute importante entre 2019 et 2022. Les estimations d'émissions de gaz à effet de serre de la phase amont étant fonction du scope 2 domestique, celles-ci suivent une trajectoire similaire. Des éléments d'explication sont détaillés dans les paragraphes suivants.



Graphique 23. Comparaison à l'horizon 2040 des émissions de gaz à effet de serre des réseaux, en tCO2eq, par scope, scénario central

Pour rappel, les émissions de gaz à effet de serre du scope 2 domestique sont calculées comme le produit :

- d'une part, de l'intensité carbone de l'électricité en France ;
- d'autre part, de la consommation électrique des réseaux. La consommation électrique des réseaux est elle-même fonction de l'efficacité énergétique des réseaux et du volume de données échangées (pour les réseaux fixes sur l'ensemble de la période, pour les réseaux mobiles de 2031 à 2040), et du nombre de sites opérateurs et de la consommation énergétique par site (pour les réseaux mobiles jusque 2030).



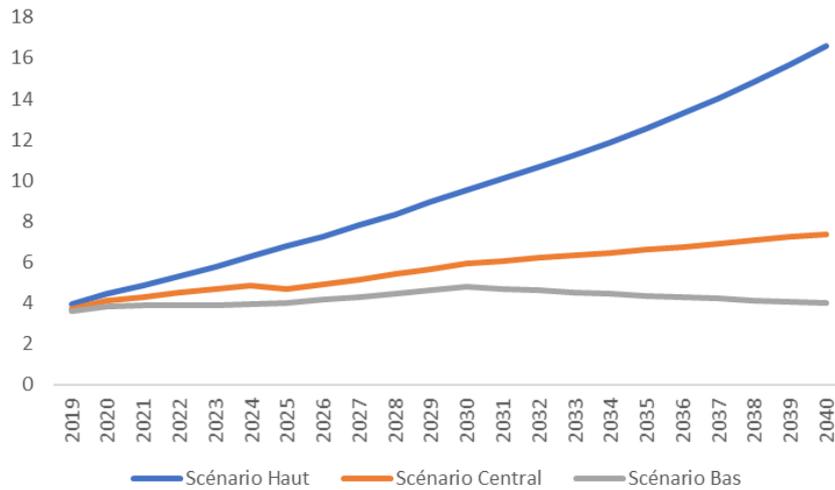
Graphique 24. Intensité carbone de l'électricité, en kgCO₂eq/kWh, par scénario

En scénario bas, une réduction importante de l'intensité carbone de l'électricité entre 2019 et 2022 (soit une hypothèse de réduction des émissions de gaz à effet de serre à consommation électrique constante), couplée à des gains importants d'efficacité énergétique des réseaux (pour les réseaux filaires) et une quasi-stabilité de la consommation énergétique par site (pour les réseaux mobiles)⁵¹, suffisent à contrebalancer une évolution conservatrice du volume de données échangées (pour les réseaux filaires) et du nombre de sites opérateurs (pour les réseaux mobiles).

En scénario haut, les réseaux fixes connaissent des gains d'efficacité énergétique plus faibles et une augmentation plus importante du volume de données échangées. Les réseaux mobiles connaissent une augmentation de la consommation énergétique par site, un désengagement plus lent des sites de 2 et 3G, et une mise en service plus rapide des sites de 4G et 5G. Aussi, l'augmentation de la consommation électrique y est bien plus importante qu'en scénario bas. Couplée à une constance de l'intensité carbone de l'électricité jusqu'en 2040, les émissions de gaz à effet de serre augmentent rapidement.

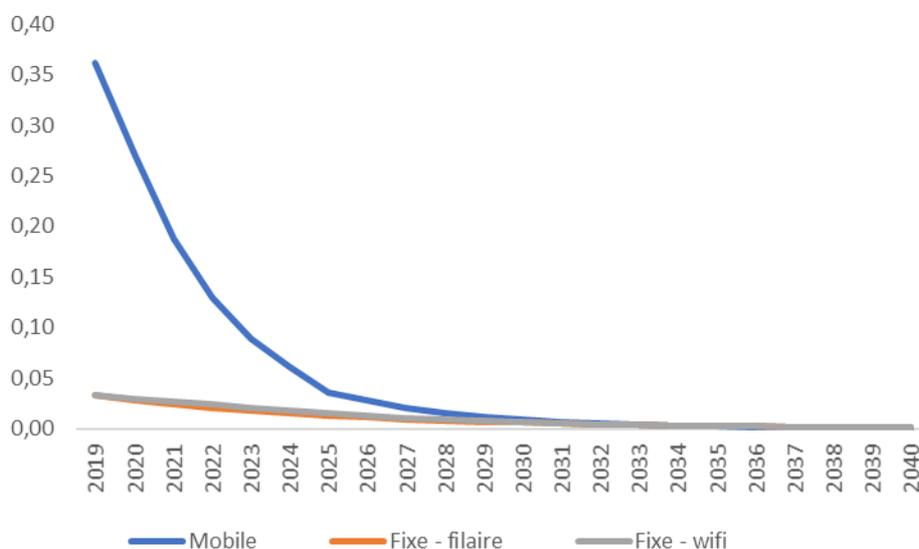
Le scénario central modélise une évolution à mi-chemin entre le scénario haut et le scénario bas. Une réduction de l'intensité carbone en début de période (2019-2022) ne suffit pas à contrebalancer une consommation électrique plus rapide qu'en scénario bas ; les émissions de gaz à effet de serre augmentent (graphique 25).

⁵¹ Gains de l'ordre de 10% à 15% annuels pour les réseaux fixes, stabilité de la consommation énergétique par site pour les réseaux mobiles



Graphique 25. Consommation électrique des réseaux, en TWh, par scénario

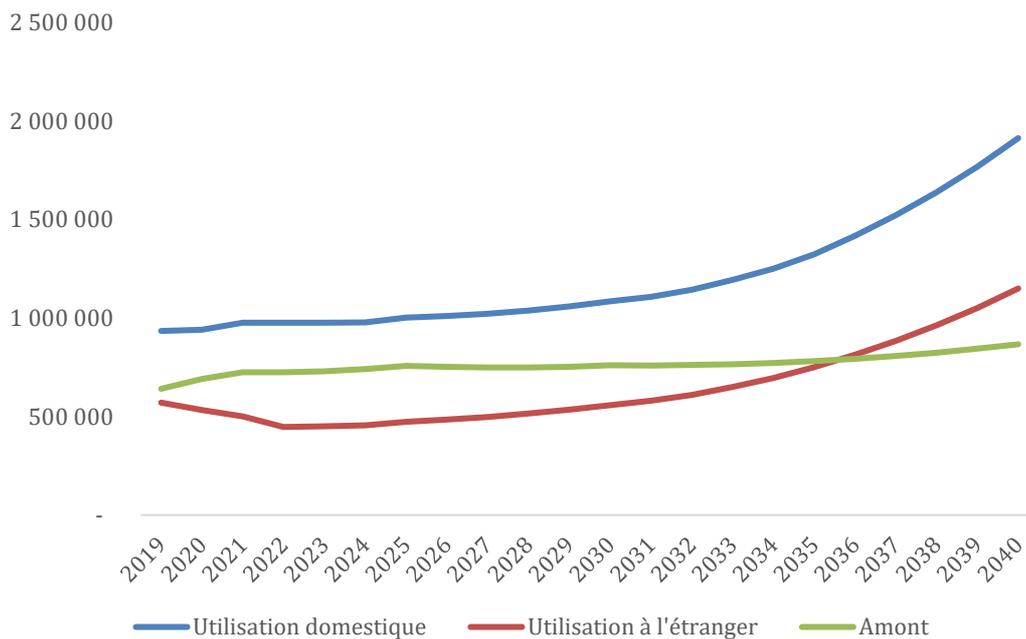
La mission a également modélisé des projections d'efficacité électrique des réseaux, par type de réseau (fixe/mobile). Il est projeté que le réseau mobile dans son ensemble (tous types de réseaux confondus - 2G, 3G, 4G et 5G) connaîtra une amélioration rapide de son efficacité énergétique, passant, en hypothèse centrale, de 0,361 TWh/EB en 2019 à 0,036 TWh/EB en 2025 et 0,0008 TWh/EB en 2040. Les réseaux mobiles deviendraient ainsi énergétiquement plus efficaces que les réseaux fixes, filaire ou Wifi, à horizon 2034 (graphique 26). Les réseaux fixes connaîtraient en effet une décroissance plus lente : de 0,033 TWh/EB en 2019 (filaire et Wifi), leur efficacité devrait augmenter à 0,013 TWh/EB (filaire) et 0,015 TWh/EB (Wifi) en 2025, puis 0,0014 (filaire) et 0,0013 (Wifi) en 2040. Ces évolutions sont susceptibles d'être différentes en fonction du rythme et de l'extension du remplacement des lignes ADSL par la fibre optique.



Graphique 26. Efficacité électrique (TWh/EB) des réseaux fixes, par type de réseau fixe, entre 2019 et 2040

5.3. Projections pour les centres informatiques

En hypothèse centrale, les émissions de GES passeront dans le scénario central de 2,1 millions de tCO₂eq en 2019 à 2,2 millions de tonnes en 2025, et enfin 3,9 millions de tCO₂eq en 2040, dont principalement en phase utilisation sur le territoire (graphique 27)



Graphique 27. Projection des émissions de gaz à effet de serre des centres informatiques pour un usage français selon la localisation (tCO₂eq)

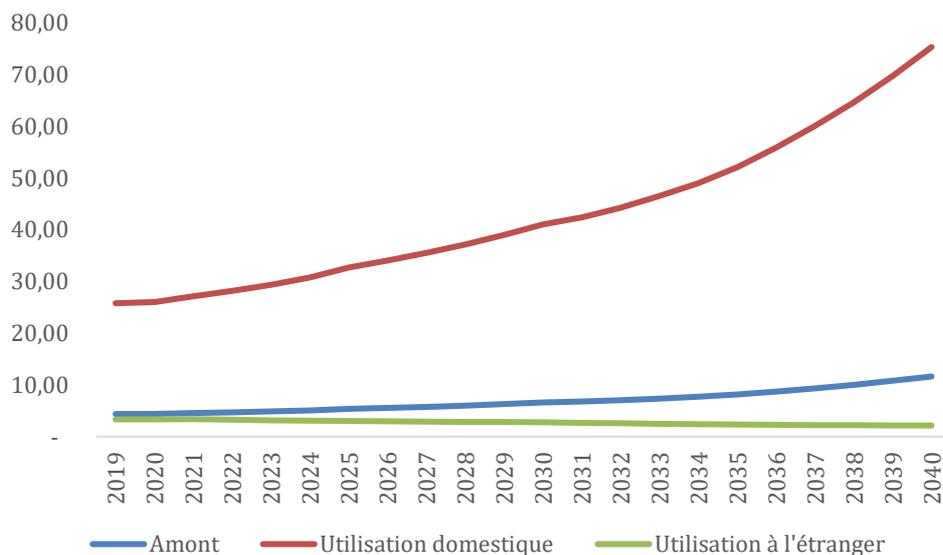
Une « relocalisation » des centres informatiques en France est modélisée dans cette étude. Les émissions en phase utilisation domestiques devraient dépasser les émissions à l'étranger à partir de 2025 (graphique 29). Il s'agit d'une inflexion de tendance et donc d'un parti pris important. Cette hypothèse s'appuie sur plusieurs dires d'experts (dont Hugues Ferreboeuf, co-auteur de la présente étude) qui évoquent plusieurs raisons sous-jacentes :

- La hausse exponentielle du trafic de données en général, et en interconnexion (transfrontalier) en particulier, fait peser un risque de saturation des réseaux et donc de dégradation des services hébergés à l'étranger ;
- L'émergence d'usages du numérique qui demandent et demanderont une connexion toujours plus rapide (ex : jeux en ligne, stockage et travail en simultané sur le *cloud*, etc.) fait aussi porter un risque de détérioration (latence) des services sans hébergement plus proche des utilisateurs ;
- La saturation des réseaux numériques et électriques où sont situés les grands centres informatiques à l'étranger (ex : États-Unis, Irlande, Pays-Bas) ;

- Les prix attractifs de l'électricité en France, renforcés par des taxes réduites⁵² et encore d'autres atouts concurrentiels, par exemple climatiques⁵³.

Rappelons enfin que les émissions amont des centres informatiques sont globalement générées à l'étranger puisque la plupart des équipements sont produits à l'étranger, mais qu'une part de ces émissions, probablement significative, est domestique (ex : construction des bâtiments des centres informatiques). La mission n'est pas parvenue à ventiler ces émissions selon leur lieu d'origine avec suffisamment de fiabilité. Il s'agit d'un axe d'amélioration.

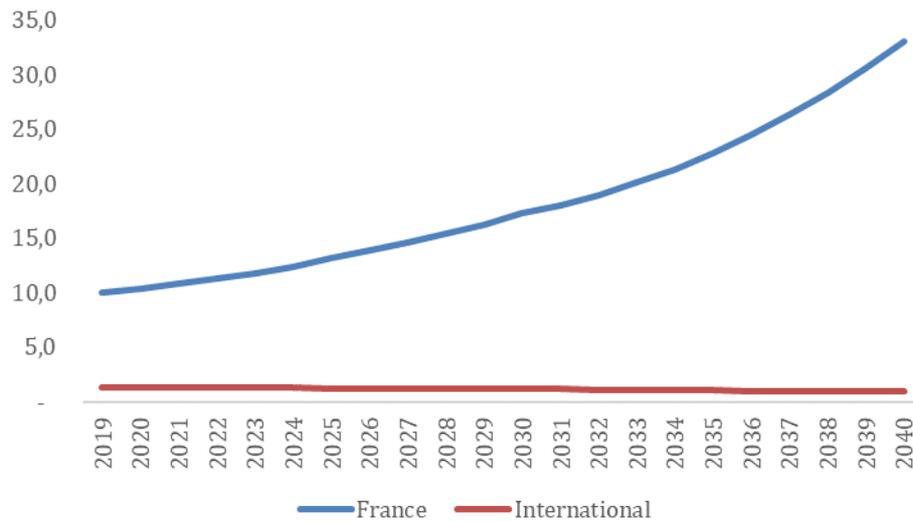
L'étude anticipe une forte hausse de l'énergie primaire consommée par les centres informatiques en France, à un rythme de croissance annuelle moyen de 4% jusque 2025 puis 6% (graphique 28). Cela s'explique par les « relocalisations » présentées ci-dessus avec la mise en service d'hyperdatacenters, ainsi que par la demande croissante de capacités de stockage et de puissance de calcul des Français et entreprises françaises. Dans le scénario central, la demande de stockage et de calcul auprès de centres informatiques « classiques » devrait croître d'environ 21% par an sur l'ensemble de la période, et celle auprès d'hyperdatacenters de 35% par an. Les gains d'efficacité desdits centres informatiques ne devraient pas être suffisants pour compenser la hausse de la demande. Ils devraient même ralentir (cf. section 3.4.4) du fait de limites technologiques et de la tendance vers l'*edge computing* (définition section 2.2). Ainsi, leur **consommation électrique devrait être multipliée par trois en vingt ans** et passer de 10 à plus de 30 TWh (graphique 29).



Graphique 28. Projection à 2040 de l'énergie primaire consommée par les centres informatiques pour les usages français du numérique selon la localisation

⁵² « La France demain première terre d'accueil de datacenters en Europe ? », Christophe Auffray le 6 mars 2019, ZDNet

⁵³ « France, the ideal destination to set up your data center and host your data », France Data Center et Gimélec



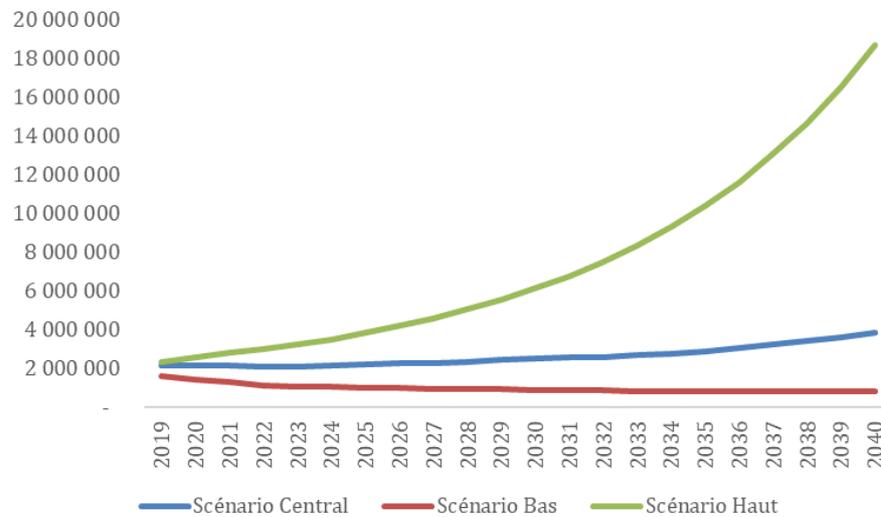
Graphique 29. Projection de la consommation électrique des centres informatiques installés en France

Les scénarios haut et bas sont peu plausibles en ce qui concerne les centres informatiques. Il s'agit véritablement de bornes hautes et basses qui encadrent de multiples incertitudes, y compris celles sur les évolutions de l'intensité carbone de l'électricité en France et à l'étranger. Ces paramètres sont particulièrement sensibles et le choix, par exemple, de modéliser en scénario haut une intensité carbone constante en France au niveau de 2018 (57,1 gCO₂éq/kWh d'électricité finale) explique en partie les variations importantes entre scénarios. De la même manière, une baisse des émissions dues à ce sous-ensemble apparaît certes possible, mais peu vraisemblable. Elle requiert la conjonction de trois évolutions favorables :

- Une baisse rapide et forte de l'intensité carbone de l'électricité en France (ex : 25 gCO₂éq/kWh dès 2022, soit une intensité carbone divisée par deux) et, dans une moindre mesure, à l'étranger
- Des gains d'efficacité énergétique qui ralentissent peu
- Une hausse de la demande plus faible qu'anticipé

Le scénario bas permet ainsi d'énoncer que si tous ces paramètres étaient réunis, on pourrait s'attendre à une baisse relativement forte des émissions jusque 2025 (-7% par an), puis faible à long-terme (-1% par an) pour une diminution nette de près d'un million de tonnes pour les centres informatiques.

Les projections centrales, à politiques publiques constantes, pointent quant à elles, vers une hausse significative des émissions de GES liées aux usages français des centres informatiques



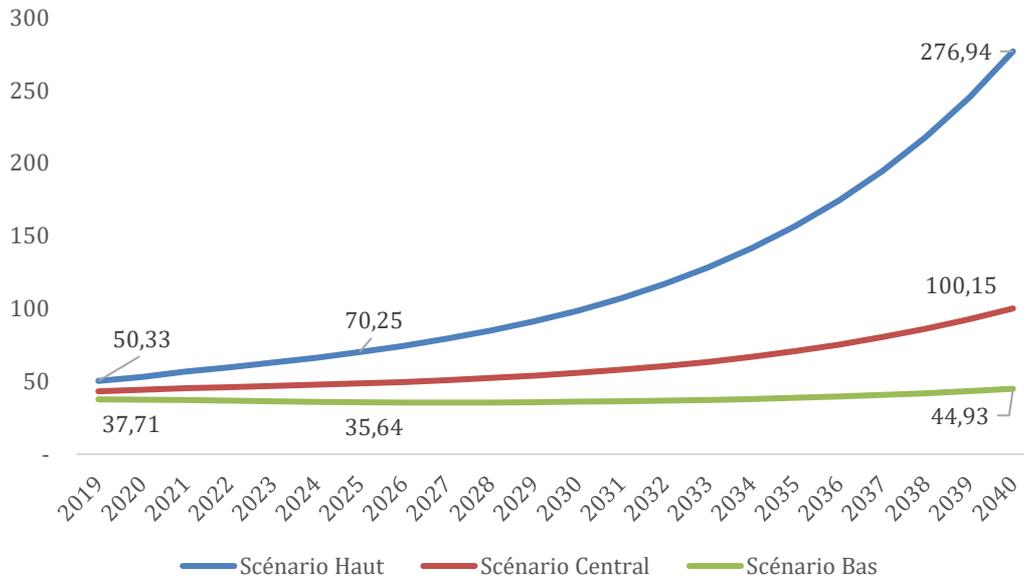
Graphique 30. Projections des émissions totales des centres informatiques par scénario

5.4 Projections agrégées du numérique en France aux horizons 2025 et 2040

5.4.1. Projections de la consommation d'énergie primaire, d'électricité et émissions de gaz à effet de serre du numérique à horizon 2025 et 2040

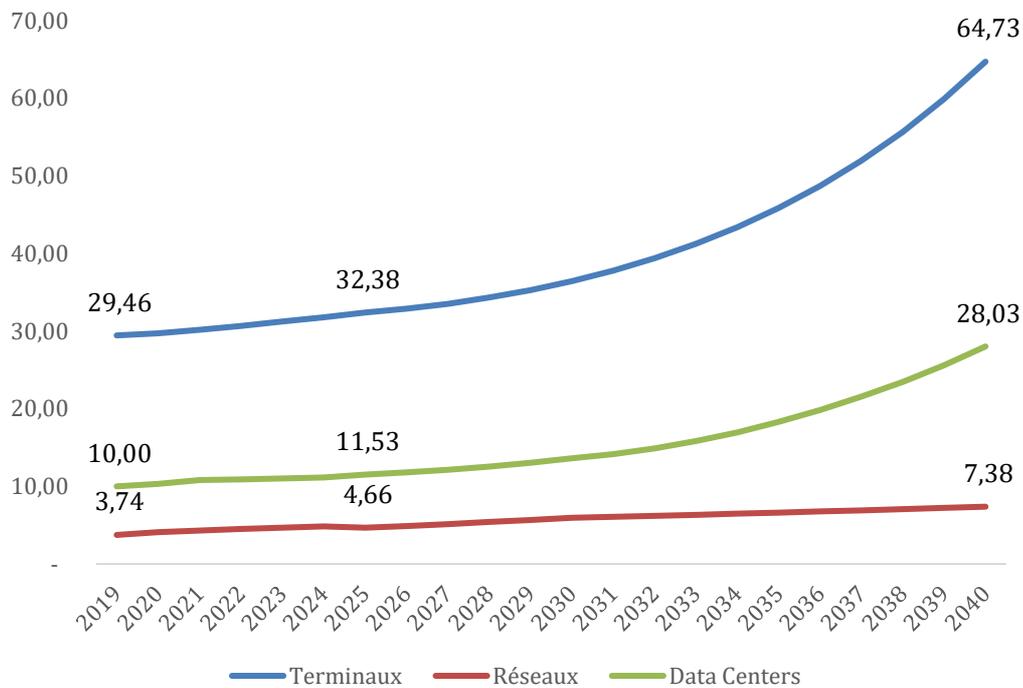
De 148 TWh en 2019, la mission estime, en scénario central, que la consommation d'énergie primaire du secteur du numérique pourrait augmenter à 165 TWh en 2025, et à 311 TWh en 2040. Selon les estimations du scénario haut, la consommation d'énergie primaire pourrait atteindre 891 TWh en 2040 ; en scénario bas, 124 TWh.

Ces différences marquées entre scénarios concernant la consommation d'énergie primaire se retrouvent s'agissant de la consommation d'électricité en phase utilisation, et donc sur le territoire français. Depuis une consommation totale comprise entre 38 (scénario bas) et 50 (scénario haut) TWh d'électricité finale en 2019, l'intervalle de confiance s'élargit pour atteindre entre 36 et 70 TWh en 2025, puis enfin entre 45 et 277 TWh en 2040.



Graphique 31. Consommation d'électricité du numérique en France en phase utilisation, en TWh, par scénario

La marge d'erreur est importante dès l'horizon 2025 du fait notamment des incertitudes concernant les centres informatiques : remplacement en proportion moins important qu'anticipé des data centers classiques par des hyperdatacenters en France, ou ralentissement de leurs gains d'efficacité énergétique plus fort que prévu. Toujours à moyen terme et à politiques publiques constantes, la consommation électrique des réseaux devrait augmenter. C'est la tendance dans tous les scénarios, du fait notamment de la mise en service prochaine de la 5G, qui est une couche de réseau mobile supplémentaire. La principale incertitude concerne ainsi les ambitions et le rythme de couverture du territoire en 5G. Quant aux terminaux, la principale incertitude concerne l'émergence des objets connectés, autrement dit à quel point le numérique ne connectera plus seulement les personnes entre elles, mais aussi les machines et objets entre eux.



Graphique 32. Consommation d'électricité du numérique en scénario central, en TWh, par sous-ensemble

Ces incertitudes se prolongent dans les projections à long-terme. Les objets connectés, en particulier, pourraient faire croître considérablement la consommation d'électricité pour le numérique en France. Les centres informatiques présentent également un risque fort de croissance de leur consommation électrique sur le territoire, qui pourrait être multipliée par 10 en 20 ans pour atteindre plus de 100 TWh. Le scénario haut prévoit la conjonction de la relocalisation des data centers en France, l'émergence et la généralisation des data centers dits *edge computing* (pour accompagner l'IoT), un ralentissement plutôt marqué des gains d'efficacité énergétique, et enfin un trafic de données en hausse tendancielle. Certes pessimiste, il reste plausible à politiques publiques constantes.

La consommation d'électricité par le numérique sur le territoire national à moyen et long-termes est donc largement estimée à la hausse dans le présent rapport. Pourtant, toutes les projections de RTE à horizon 2035 tendent vers une baisse de la consommation électrique résultant du numérique dans les secteurs résidentiel (-40%) et tertiaire (-30%) qui passerait de 42 TWh en 2019 à 30 TWh environ en 2035⁵⁴.

Dans le même ordre d'idée, la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE)⁵⁵ ne mentionne pas les usages du numérique comme possiblement facteurs de hausse de consommation électrique ; le numérique y est décrit uniquement comme un « outil » ou une « transition ». Bien que la PPE soit basée sur le scénario AMS (« Avec Mesures Supplémentaires ») du MTES (elle

⁵⁴ « Bilan Prévisionnel de l'équilibre offre-demande d'électricité en France », RTE, 2017

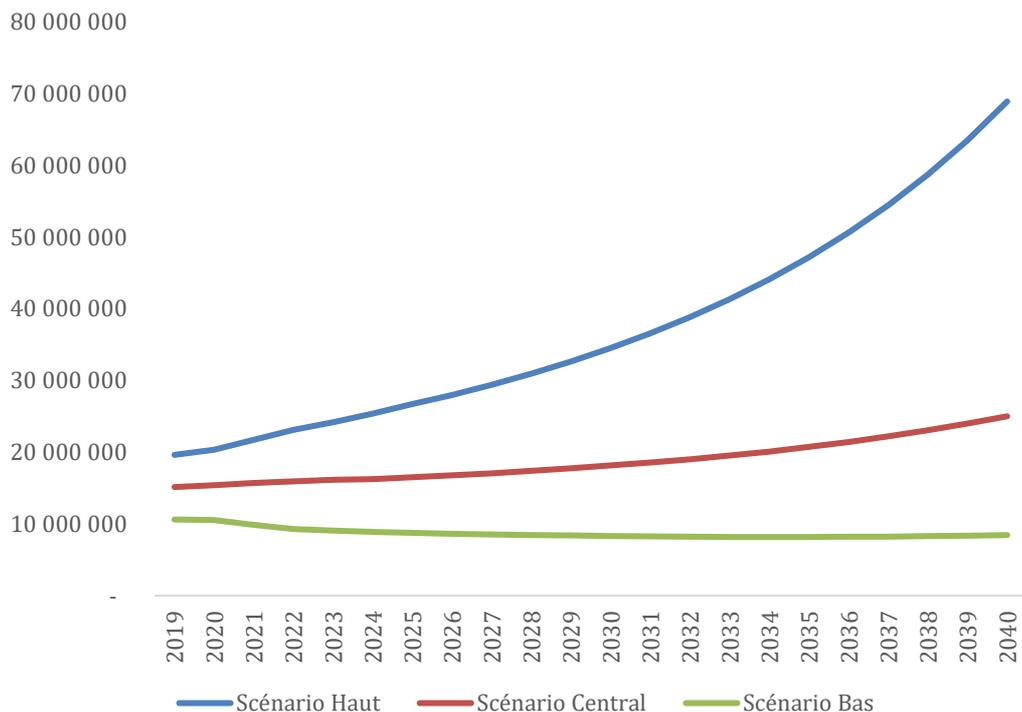
⁵⁵ Stratégie Nationale Bas Carbone - Programmation Pluriannuelle de l'Énergie 2019-2023 & 2024-2028, Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (2020), 400 pages

n'est donc pas à politiques publiques constantes), aucune politique publique nationale n'a, à notre connaissance (cf. Annexe 2), été annoncée pour contraindre ou inciter la consommation électrique du numérique à la baisse.

Seule la dernière Stratégie Nationale Bas Carbone pointe un défi lié au numérique, par exemple sur l'orientation E-C 1 « mieux maîtriser le contenu carbone des produits importés » qui indique qu'« une attention particulière devra être portée aux enjeux de consommation d'énergie et de matière, de recyclabilité et de réparabilité des équipements numériques »⁵⁶.

Globalement, il apparaît que **le défi que pose au mix électrique français une hausse tendancielle forte de la consommation électrique du numérique à moyen- et long-termes n'est peut-être pas identifié à sa juste mesure.**

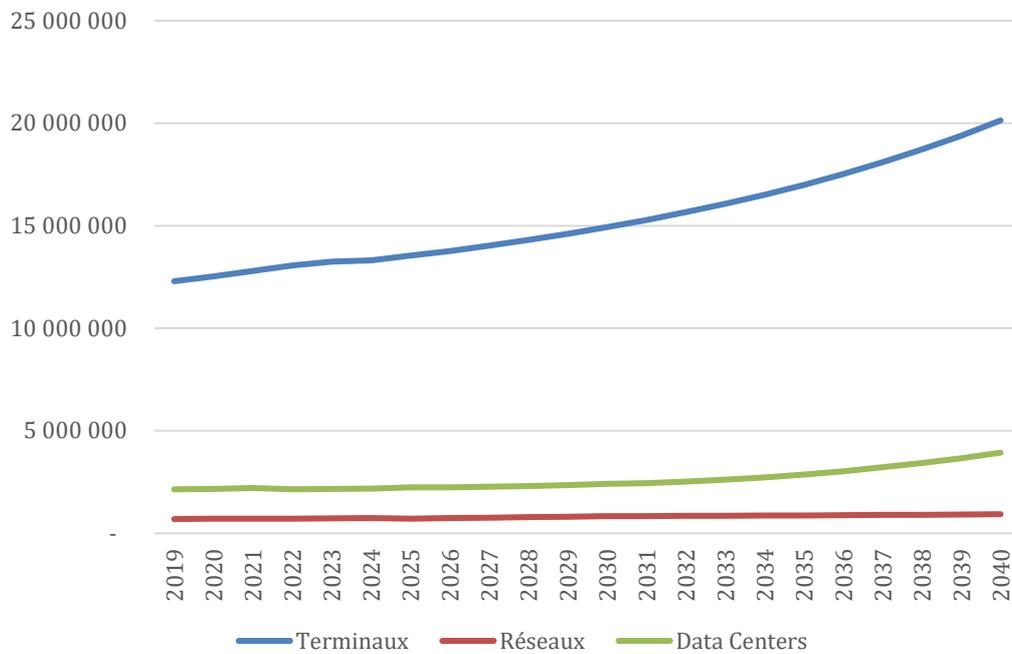
Les émissions de gaz à effet de serre suivraient une trajectoire similaire. **Elles atteindraient, en scénario central, 25 millions de tCO₂eq en 2040, contre 16,5 millions de tCO₂eq en 2025 et 15 millions de tCO₂eq en 2019.** En scénario haut, la mission estime que les émissions de gaz à effet de serre pourraient plus que tripler d'ici à 2040, atteignant 69 millions de tCO₂eq, contre 20 millions de tCO₂eq en 2019. En scénario bas, les émissions diminueraient légèrement, de 10 millions de tCO₂eq en 2019 à 8 millions de tCO₂eq en 2040 (graphique 33).



Graphique 33. Émissions de GES du numérique, en tCO₂eq, par scénario

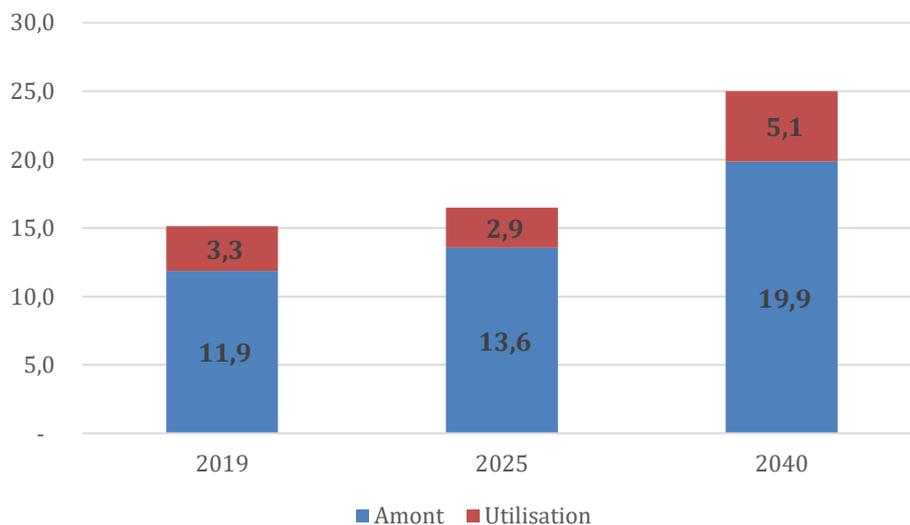
Les émissions de GES du numérique continueraient d'être très largement portées par les terminaux (graphique 34).

⁵⁶ Stratégie Nationale Bas Carbone révisée complète, p.57, Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (mars 2020)



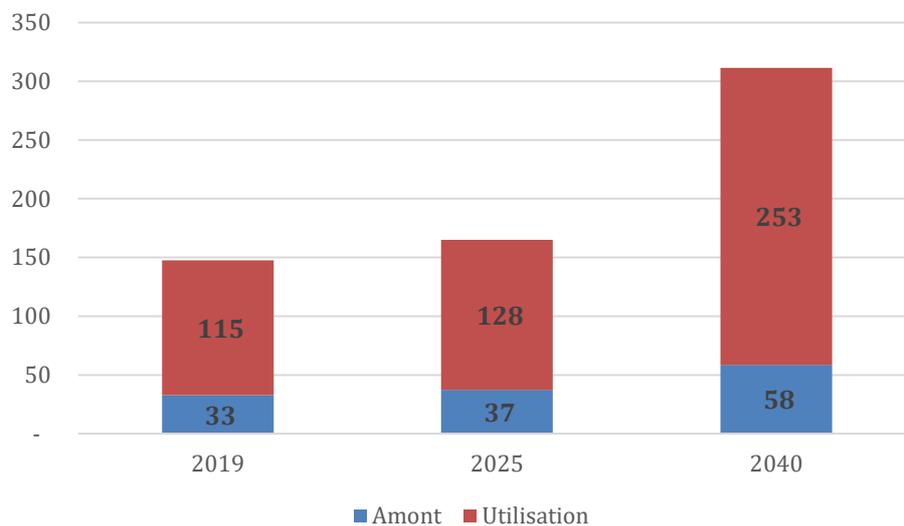
Graphique 34. Émissions de GES du numérique en scénario central, en tCO2eq, par type de sous-ensemble

Sur l'ensemble de la période étudiée, les émissions de gaz à effet de serre du numérique français se situent principalement en phase amont. En 2019, 78% des émissions de GES étaient générées en phase amont, soit 11,9 MtCO₂eq. En 2025 et 2040, la mission estime que la part des émissions de GES émises en phase amont va progresser pour atteindre respectivement 82% et 79% des émissions totales, soit environ 13,6 et 19,9 MtCO₂eq. Ce phénomène peut en partie s'expliquer par la forte baisse de l'intensité carbone de l'électricité française envisagée à l'horizon 2040, qui réduit l'empreinte carbone en phase utilisation et augmente relativement la part représentée par la phase amont.



Graphique 35. Emissions de GES du numérique en scénario central, en millions de tCO2eq, en phase Amont et Utilisation

Comme précédemment évoqué dans le chapitre 4, la ventilation entre la phase amont et utilisation de la consommation d'énergie primaire est radicalement différente de celle des émissions de gaz à effet de serre. Sur l'ensemble de la période, la phase utilisation est la plus consommatrice. En 2019, les terminaux, les réseaux et les centres de données ont consommé 115 TWh en phase utilisation, soit environ 78% de l'énergie primaire totale consommée. Sur l'ensemble de la période, cette ventilation tend à se confirmer. En 2025 et en 2040, la phase utilisation devrait concerner respectivement 77,4% et 81,2% de l'énergie primaire totale consommée, soit environ 128 et 253 TWh (cf. Graphique 36).



Graphique 36. Énergie primaire consommée par le numérique en scénario central en TWh, en phases Amont et Utilisation

5.4.2. Projections du numérique en France par rapport au numérique mondial aux horizons 2025 et 2040

Les mêmes études de l'empreinte carbone du numérique à l'échelle mondiale sont mobilisées pour les projections que pour l'état des lieux. Elles affichent les indicateurs de résultats consolidés suivants pour 2025.

Empreinte environnementale du numérique dans le monde en 2025	Andrae (expected, 2015)	Shift Project (expected updated, 2018)	GreenIT (2019)
Energie primaire (TWh)	12 000	12 300	10 300
Electricité (TWh)	4 350	3 800	2 300
Emissions de GES (% du total mondial)	4%	7,5%	5,5%
Emissions de GES (MtCO ₂ éq)	2 500	2 200	2 200

Tableau 3. Empreintes énergétique et carbone du numérique dans le monde à l'horizon 2025

La moyenne des trois études est retenue pour estimer les indicateurs à l'échelle mondiale. Selon le scénario central, nos estimations n'augmentent pas aussi vite que les niveaux mondiaux. Les parts françaises du numérique en matière d'énergie primaire, de consommation d'électricité et d'émission de GES se réduisent, et cela plus vite que la part dans le PIB mondial (tableau 4).

Projections en 2025	Monde	France	Part de la France dans le monde	Rappel de 2019
Énergie primaire (TWh)	11 300	168	1,49%	2,26%
Électricité (TWh)	4 075	52	1,26%	2,25%
Émissions de GES (MtCO ₂ éq)	2 350	16	0,68%	0,97%
PIB nominal (\$MdsUS)	119 707	2 876	2,40%	2,65%

Tableau 4. Empreintes énergétique et carbone du numérique Français par rapport au reste du monde à l'horizon 2025

Ces baisses en valeurs relatives ne remettent pas en cause le résultat de l'évaluation en valeurs absolues, qui fait état de projections en hausse des empreintes énergétiques et carbone du numérique français.

De telles comparaisons ne sont pas possible en 2040 car une seule étude a réalisé des projections à cette échéance⁵⁷, et cela sans projeter de scénario central. La littérature doit encore être enrichie pour poursuivre l'analyse croisée des évolutions mondiales et françaises de l'empreinte carbone du numérique.

5.4.3. Projections du poids du numérique dans le bilan carbone français aux horizons 2025 et 2040 et valeur de l'action pour le climat

Il existe deux définitions principales du bilan carbone français. La première s'intéresse aux émissions sur le territoire national. Son périmètre a été défini par le protocole de Kyoto en 1995. Il s'agit de la définition la plus proche des prérogatives des États. Selon cette définition, la France a émis 441 millions de tonnes équivalent CO₂ (hors secteur des terres et des forêts) en 2019, en baisse d'environ 1 % par rapport à 2018⁵⁸ (environ 4 Mt d'émissions en moins). Les émissions ainsi calculées sont de 6,6 tCO₂éq par habitant en moyenne.

⁵⁷ Blekhir et Elmeligi (2018), « Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & Recommendations »

⁵⁸ « Nouvelle baisse des émissions de gaz à effet de serre de la France en 2019 », MTES le 4 juin 2020 <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/nouvelle-baisse-des-emissions-gaz-effet-serre-france-en-2019>

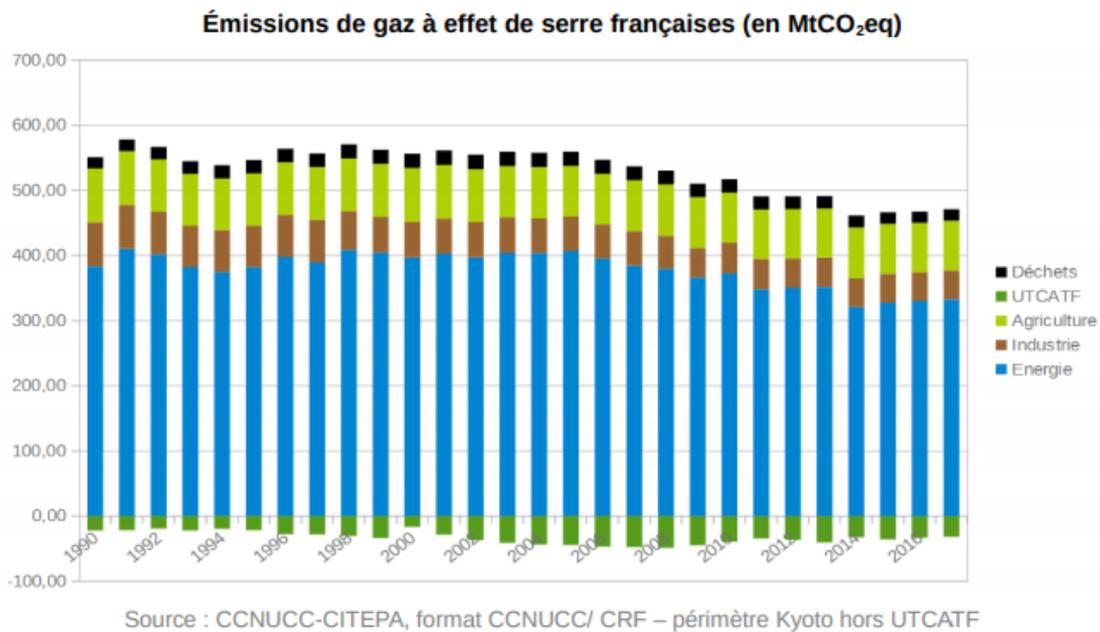


Figure 11. Emissions de GES de la France selon le périmètre Kyoto

La deuxième définition consiste à attribuer aux Français, entreprises françaises et collectivités les émissions résultant de leurs consommations. Les émissions des exportations sont déduites tandis que s’ajoutent celles associées aux importations. Il en résulte une estimation largement supérieure à la définition précédente : autour de 750 millions de tonnes de CO₂eq soit 11,2 tCO₂eq par habitant en 2018. C’est cette approche qui a été retenue pour l’étude puisqu’une ambition majeure est de distinguer les parts domestiques et étrangères de l’empreinte carbone du numérique par sous-ensemble.

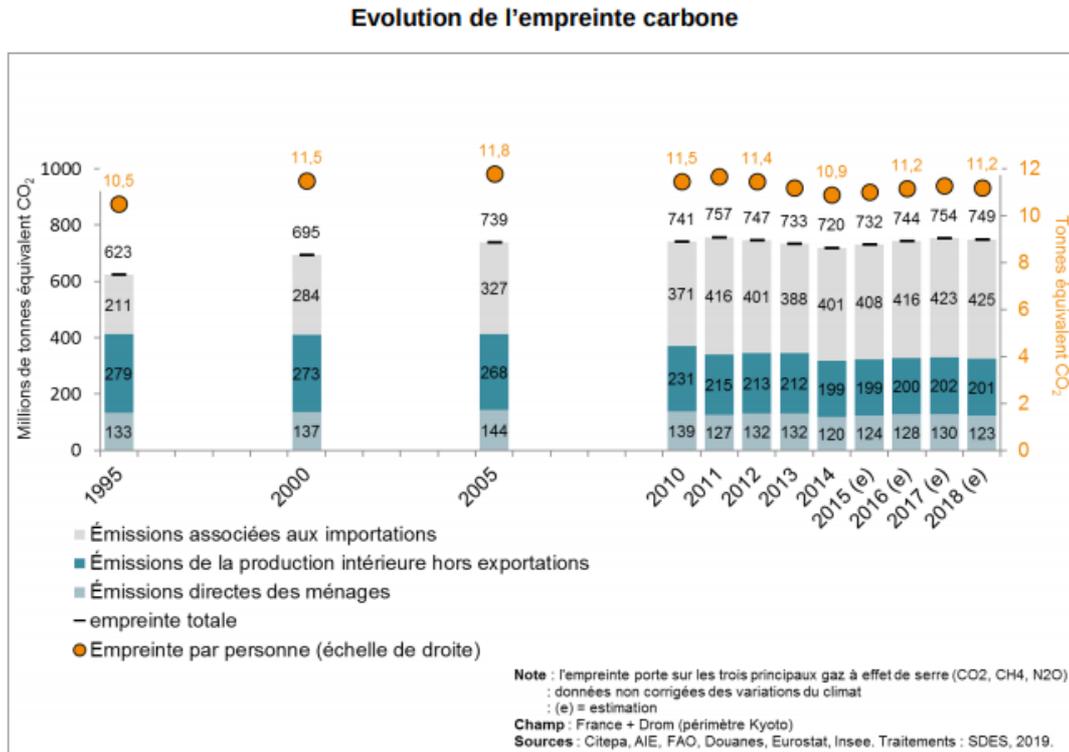


Figure 12. Empreinte carbone des Français selon leurs consommations (MTES & CiTEPA, 2020)

Les résultats de cette étude ne peuvent être correctement comparés qu'aux estimations françaises de l'empreinte carbone selon la consommation (2^{ème} définition), or les engagements de la France lors de l'Accord de Paris en 2015 et les projections de la Stratégie Nationale Bas Carbone se basent sur la première définition. Il n'est donc pas aisé d'estimer la part du numérique dans le bilan carbone français à moyen- et long-terme. Cependant, **si l'on accepte le principe que l'empreinte carbone des consommations des Français devrait suivre la même trajectoire que le bilan carbone du territoire français pour lutter contre le réchauffement climatique, c'est-à-dire aussi atteindre l'objectif de zéro-émissions-nettes d'ici 2050, alors l'évolution carbone du numérique apparaît comme un défi majeur.**

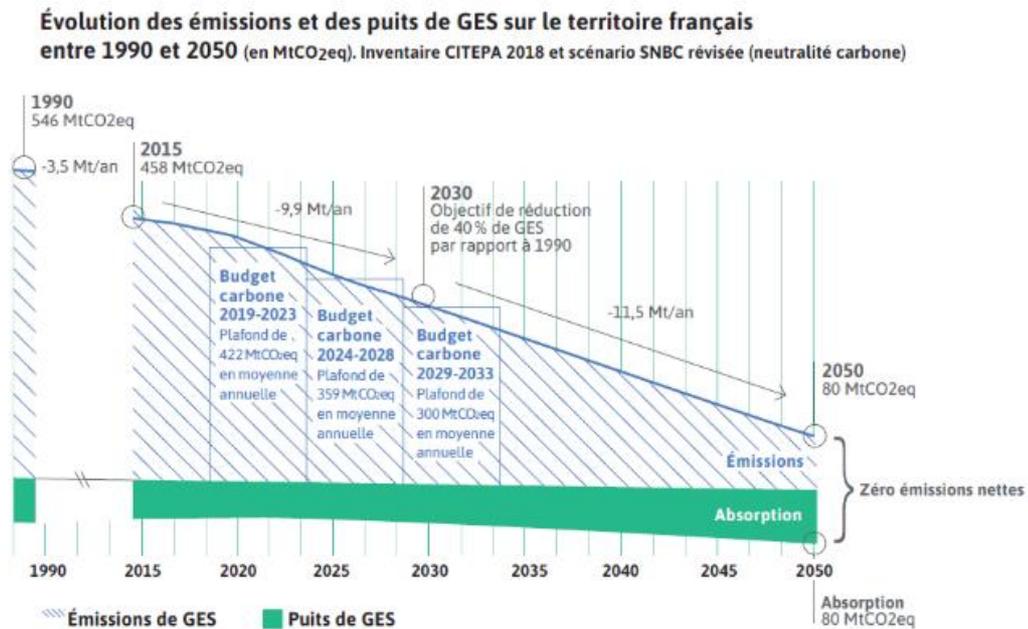


Figure 13. Trajectoire cible des émissions de GES de la France (périmètre Kyoto) selon l'Accord de Paris, MTES

Si l'on applique les taux d'évolution du bilan carbone du territoire français à l'empreinte carbone des consommations des Français jusque 2040, alors l'empreinte devrait passer de 750 MtCO₂ en 2019 à environ 650 MtCO₂ en 2025, puis à 370 MtCO₂ en 2040. Selon le scénario central de la présente étude, l'empreinte carbone du numérique, si elle n'est pas contrainte par des politiques publiques, devrait donc augmenter : alors qu'elle représentait 2% de l'empreinte carbone des Français en 2019, elle devrait atteindre 2,5% en 2025 et 6,7% en 2040.

5.4.4. Le coût carbone du numérique et la pertinence de l'investissement pour sa neutralisation

En revenant à un raisonnement en valeur absolue de l'empreinte carbone du numérique à l'horizon 2040, les 25 millions de tonnes équivalent CO₂ infligeraient un coût social de l'ordre de 12 milliards d'euros. Les politiques publiques visant à éviter cette empreinte carbone permettraient d'éviter ce coût social.

On relève que ce coût social est largement croissant par rapport au coût social estimé pour l'année 2019, en raison d'une part de l'augmentation de l'empreinte carbone et d'autre part de l'augmentation de la valeur du carbone (500€ par tCO₂eq en 2040 vs. 71€ par tCO₂eq en 2019). Il apparaît dès lors que plus les politiques publiques tarderont à intervenir sur ce champ, plus le coût de cette externalité environnementale sera important.

Les coûts environnementaux liés au numérique sont bien entendu à mettre en regard des bénéfices sociétaux permis par ce secteur (hausse de la productivité, possibilité de développer les rencontres en visioconférence et d'éviter des déplacements, etc.). Toutefois, pour atteindre l'objectif cible de neutralité carbone à l'horizon 2050, il apparaît justifié de prendre des mesures

Juin 2020

visant à éviter ce coût social, en veillant à ce que ces dernières ne relancent pas à la hausse les émissions de carbone des autres secteurs.

Conclusion

Selon les estimations de cette mission, le secteur du numérique aurait émis, en 2019, environ 15 millions de tonnes de CO₂ équivalent (15 MtCO₂eq), soit 226 kgCO₂eq par Français, ou 2% de l’empreinte carbone des consommations des Français. Ainsi, en France, l’impact du numérique sur le réchauffement climatique serait supérieur à celui du textile, inférieur à celui des services de transport aériens et du même ordre de grandeur que celui de la chimie et la pharmacie.

La répartition des émissions de gaz à effet de serre du numérique par sous-ensemble et par phase de cycle de vie est très hétérogène.

Par sous-ensemble, d’abord, la mission s’est attachée à distinguer les émissions issues des terminaux, des centres informatiques et des réseaux (fixes - filaire et wifi - et mobiles - 2G, 3G, 4G, futures 5G et 6G). Les quatorze terminaux⁵⁹ analysés par la mission sont responsables d’une grande partie (environ 80%) des gaz à effet de serre du secteur. Les 20% d’émissions restants sont partagés entre les centres informatiques (15%) et les réseaux (5%).

Par phase de cycle de vie, ensuite, la mission a distingué les émissions issues de la phase amont, correspondant aux premières étapes du cycle de vie des équipements (de l’extraction des matériaux jusqu’à la distribution et la vente, en passant notamment par la production des composants matérielles des systèmes) des émissions issues de la phase utilisation. Si la phase amont est moins énergivore, elle est nettement plus émettrice de gaz à effet de serre (près de 80% du total) que la phase utilisation. Cette différence découle d’opérations en phase amont gourmandes en énergie fossile (par exemple l’extraction de minéraux), ainsi que par le recours très majoritaire à l’importation des terminaux. Les terminaux sont en effet principalement fabriqués dans des pays d’Asie, où l’intensité carbone de l’électricité est nettement plus importante qu’en France, et qui nécessitent un long transport afin de parvenir à l’utilisateur.

La mission s’est également attachée à estimer la valeur monétaire de l’empreinte carbone du numérique. Cette valeur s’appuie sur la valeur tutélaire du carbone, autrement appelée valeur de l’action pour le climat, qui s’élève en 2019 à 71 € par tCO₂eq. Appliquée à l’empreinte carbone du numérique en 2019, on estime que l’externalité environnementale négative atteint plus d’un milliard d’euros. En d’autres termes, il est plus avantageux d’investir dans des actions et politiques publiques dont le coût peut s’élever à un milliard d’euros pour éviter ces 15 millions de tonnes de carbone plutôt que de subir et faire subir cette externalité.

Toujours selon les estimations de cette mission, à horizon 2025, l’empreinte carbone du numérique resterait quasiment stable, passant à environ 16 MtCO₂eq. Cette stabilité relative traduit deux phénomènes opposés. Les usages augmentent, ce qui, *ceteris paribus*, devrait conduire à une hausse de l’empreinte carbone du secteur. Mais, d’une part, une réduction attendue relativement forte et rapide de l’intensité carbone de l’électricité entre 2019 et 2022 (audition ADEME), et d’autre part d’importants gains d’efficacité, seraient suffisants pour limiter l’impact lié à la hausse des usages.

⁵⁹ Les smartphones, les ordinateurs portables, les ordinateurs fixes, les imprimantes, les écrans d’ordinateur, les tablettes, les téléviseurs, les box et décodeurs, les consoles de jeu de salon, les consoles de jeu portables, les casques de réalité virtuelle, les enceintes connectées, les écrans publicitaires et les modules de connexion IoT.

En revanche d'ici à 2040, la mission estime que de l'empreinte carbone du numérique connaîtra une augmentation d'environ 60%, atteignant 25 MtCO₂eq. Elle représenterait autour de 7% de l'empreinte carbone totale des Français, estimée par la mission selon une trajectoire parallèle à celle des émissions sur le territoire national définie dans la Stratégie Nationale Bas Carbone.

Cette augmentation des émissions de gaz à effet de serre issues du numérique est notamment portée par les terminaux et les centres informatiques ; les émissions dues aux réseaux restent relativement stables à horizon 2040.

Concernant les terminaux, des projections d'usages toujours croissants, notamment des modules de connexion « *Internet of Things* » (IoT), couplées à une stabilité de l'intensité carbone de l'énergie à partir de 2022, débouchent sur une augmentation de l'empreinte carbone.

L'augmentation de l'empreinte carbone des centres informatiques reflète une hypothèse structurante de l'étude : la mise en service à moyen terme de nouveaux centres informatiques en France remplacerait peu à peu et en proportion les centres informatiques majoritairement situés aujourd'hui à l'étranger. Ces centres informatiques, quand ils sont de taille « classique » ou *edge computing* pour accompagner l'explosion de l'IoT, seraient moins efficaces que leurs équivalents nord-américains en termes énergétiques ; les « *hyperdatacenter* » français se rapprocheraient, eux, en termes d'efficacité énergétique, de leurs équivalents nord-américains.

Il résulte de la hausse substantielle de l'empreinte carbone liée au numérique, combinée à la hausse de la valeur tutélaire du carbone (500 € par tCO₂eq en 2040), que l'externalité environnementale négative due au numérique s'élèverait, pour l'année 2040, à 12 milliards d'euros. En cumulé sur la période 2019 à 2040, l'externalité représenterait un coût social de plus de 110 milliards d'euros. Si l'externalité devait être internalisée par acteurs (opérateurs ou consommateurs, selon le principe du pollueur payeur par exemple), il apparaîtrait rapidement plus rentable d'adopter des changements de comportements et d'investir dans des solutions permettant d'éviter ces émissions de carbone plutôt que de payer le coût social associé à l'empreinte négative du numérique.

Si cette étude a permis d'estimer l'empreinte carbone numérique en France sur un périmètre large et un horizon temporel long, plusieurs pistes d'améliorations peuvent être suggérées afin d'améliorer la précision et l'exhaustivité des études ultérieures.

En premier lieu, pour les futurs travaux de recherche, trois pistes d'amélioration sont notables. Premièrement, **une meilleure qualification des investissements** nécessaires à la phase amont des réseaux et data center permettrait de remplacer l'approche « *top-down* » par une approche analytique plus fine. Deuxièmement, **un travail d'analyse sur l'empreinte carbone des réseaux internationaux**, ici limité aux réseaux sous-marins, est nécessaire à l'exhaustivité de l'analyse de l'empreinte carbone des réseaux. Enfin, des travaux de recherche portant sur **l'empreinte carbone de la fin de vie** des équipements du numérique seraient précieux ; ils permettraient d'appréhender l'empreinte carbone du numérique par cycle de vie complet (amont-utilisation-fin de vie).

En second lieu, et de façon plus opérationnelle, la mission suggère la création d'une **base de données centralisée de l'empreinte carbone des différents terminaux en phase utilisation, ou, a minima, de leur consommation énergétique moyenne**. Cette base de données, existante pour

la phase amont sous la forme de la base carbone de l'ADEME, permettrait de fiabiliser et rendre plus efficace l'estimation des émissions de gaz à effet de serre des terminaux. Elle pourrait également rendre publiques les données de parcs et de ventes, très difficilement accessibles, ce qui explique une part non négligeable de la sensibilité des résultats aux différents scénarios. Par ailleurs, la mission note qu'**un reporting plus complet, homogène et transparent de l'empreinte carbone par l'ensemble des opérateurs réseaux aurait permis une amélioration de la fiabilité des estimations d'émissions de gaz à effet de serre des réseaux. Cette exigence de transparence devrait d'ailleurs également s'appliquer aux opérateurs de data centers (hébergeurs, fournisseurs de services cloud) pour lesquels il est très difficile de trouver des données publiques.**

Table des illustrations

Figures

Figure 1. Stades de l'énergie	22
Figure 2. De l'énergie primaire à l'énergie finale	23
Figure 3. L'évolution de la valeur de l'action pour le climat	25
Figure 4. La méthodologie d'estimation de l'empreinte carbone des terminaux	28
Figure 5. La méthodologie d'estimation de l'empreinte carbone des réseaux.....	33
Figure 6. Les différents types de flux de données	34
Figure 7. La méthodologie d'estimation des émissions de GES des centres de données	36
Figure 8. Sens d'évolution des paramètres d'estimation des terminaux.....	38
Figure 9. Décomposition du trafic en France selon l'origine au premier semestre 2018,	49
Figure 10. Décomposition de l'empreinte carbone des français en 2018, MTES (2020) ...	56
Figure 11. Emissions de GES de la France selon le périmètre Kyoto.....	77
Figure 12. Empreinte carbone des Français selon leurs consommations	78
Figure 13. Trajectoire cible des émissions de GES de la France (périmètre Kyoto).....	79

Tableaux

Tableau 1. Récapitulatif des résultats des empreintes énergétique et carbone du numérique	54
Tableau 2. Empreintes énergétique et carbone du numérique Français	54
Tableau 3. Empreintes énergétique et carbone du numérique	76
Tableau 4. Empreintes énergétique et carbone du numérique Français	76

Graphiques

Graphique 1. Emissions de gaz à effet de serre des 14 terminaux de l'étude, phase amont et phase utilisation, en valeur absolue et en valeur relative.....	42
Graphique 2. Consommation d'énergie primaire et émissions de gaz à effet de serre des 14 terminaux.....	43
Graphique 3. Consommation d'énergie primaire des réseaux,.....	44
Graphique 4. Emissions de gaz à effet de serre des réseaux,.....	44
Graphique 5. Efficacité électrique (TWh/EB) des réseaux mobiles,.....	46
Graphique 6. Efficacité électrique (TWh/EB) des réseaux fixes,.....	46
Graphique 7. Volumes de données échangées (Téraoctets),.....	46
Graphique 8. Consommation d'électricité en fonctionnement des réseaux français.....	47
Graphique 9. Emissions de GES des centres informatiques par phase	48
Graphique 10. Localisation des émissions de GES émises et de l'énergie primaire	50
Graphique 11. Consommation d'énergie primaire du numérique, par sous-ensemble, .	51
Graphique 12. Consommation d'énergie primaire du numérique, par phase, valeur relative.....	51
Graphique 13. Emissions de gaz à effet de serre du numérique, par sous-ensemble,	52
Graphique 14. Emissions de gaz à effet de serre du numérique,	52
Graphique 15. Localisation des émissions de gaz à effet de serre du numérique,	53
Graphique 16. Projection à l'horizon 2040 de la consommation d'énergie primaire	59

Graphique 17. Projection à l’horizon 2040 des émissions de gaz à effet de serre des 14 terminaux.....	60
Graphique 18. Comparaison à l’horizon 2040 des émissions de gaz à effet de serre des terminaux.....	61
Graphique 19. Comparaison à l’horizon 2040 des consommations d’énergie primaire ..	62
Graphique 20. Répartition des émissions de gaz à effet de serre	62
Graphique 21. Comparaison à l’horizon 2040 de la consommation d’énergie primaire .	63
Graphique 22. Comparaison à l’horizon 2040 des émissions de gaz à effet de serre	63
Graphique 23. Comparaison à l’horizon 2040 des émissions de gaz à effet de serre des réseaux,	64
Graphique 24. Intensité carbone de l’électricité, en kgCO ₂ eq/kWh, par scénario	65
Graphique 25. Consommation électrique des réseaux, en TWh, par scénario	66
Graphique 26. Efficacité électrique (TWh/EB) des réseaux fixes,.....	66
Graphique 27. Projection des émissions de gaz à effet de serre des centres informatiques	67
Graphique 28. Projection à 2040 de l’énergie primaire consommée par les centres informatiques	68
Graphique 29. Projection de la consommation électrique des centres informatiques installés	69
Graphique 30. Projections des émissions totales des centres informatiques par scénario	70
Graphique 31. Consommation d’électricité du numérique en France en phase utilisation,	71
Graphique 32. Consommation d’électricité du numérique en scénario central,	72
Graphique 33. Émissions de GES du numérique, en tCO ₂ eq, par scénario	73
Graphique 34. Émissions de GES du numérique en scénario central, en tCO ₂ eq,	74
Graphique 35. Emissions de GES du numérique en scénario central,.....	74
Graphique 36. Énergie primaire consommée par le numérique en scénario central,	75

Annexes

Annexe 1 – Bibliographie

Auteur	Année de publication	Titre
ADEME	2015	Livre Blanc - consommation énergétique des équipements informatiques en milieu professionnel
ADEME	2017	MODÉLISATION ET ÉVALUATION DU POIDS CARBONE DE PRODUITS DE CONSOMMATION ET BIENS D'ÉQUIPEMENTS
ADEME	2018 (A)	La face cachée du numérique
ADEME	2018 (C)	
ADEME	2019	Rapport ENERNUM sur DC
ADEME	2018 (B)	Actualisation de MODÉLISATION ET ÉVALUATION DU POIDS CARBONE DE PRODUITS DE CONSOMMATION ET BIENS D'ÉQUIPEMENTS
Andrae	2020	Hypotheses for primary energy use, electricity use and CO2 emissions of global computing and its shares of the total between 2020 and 2030
Andrae et Edler	2015	On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030
Apple	2019 (D)	Product Environmental Report : Pro Display XDR
Apple	2019 (A)	Product Environmental Report : Mac Pro
Apple	2019 (B)	Product Environmental Report : Macbook Pro 13-inch
Apple	2019 (C)	Product Environmental Report : Macbook Pro 15-inch
ARCEP	2020	Séries chronologiques
ARCEP	2019 (A)	Réseaux du futur sur L'empreinte carbone du numérique
ARCEP	2019 (B)	Baromètre de l'interconnexion de données en France
Arcep & Credoc	2019	Baromètre du numérique
Arushanyan et al.	2014	Lessons learned – Review of LCAs for ICT products and services
Belkhir et Elmeligi	2017	Assessing ICT global emissions footprint : Trends to 2040 and recommendations
Centre National du Cinéma	2015	Le marché du jeu vidéo en 2014
Centre National du Cinéma	2017	Le marché du jeu vidéo en 2016
Centre National du Cinéma	2018	Le marché du jeu vidéo en 2017
CGE	2012	Les besoins en bande passante et leur évolution
CGE	2019	Réduire la consommation énergétique du numérique
Charpentier	2019	UN MILLION DE KILOMETRES DE CABLES SOUS-MARINS : EST-CE BON POUR LA PLANETE ?
Cisco	2017	The Zettabyte era, Trends and Analysis whitepaper
Cisco	2018	Global cloud index, forecast and methodology whitepaper
CSA	2019 (A)	Observatoire de l'équipement des foyers en audiovisuel
CSA	2019 (B)	Le guide des chaînes
Enedis	2019	Bilan électrique 2018
Fédération française des télécoms	2019	Les télécoms : les premiers acteurs du numérique

France Data Center	2019	France The ideal destination to set up your data center and host your data
France Data Center	2020	France : the ideal destination to set up your data center and host your data
GreenIT	2019	Empreinte environnementale du numérique mondial
Majeau-Bettez et al.	2014	Unified Theory of Allocations and Constructs in Life Cycle Assessment and Input-Output Analysis
Malmodin et al.	2016	Life Cycle Assessment of a Smartphone
MTES	2020	Stratégie française pour l'énergie et le climat : Programmation Pluriannuelle de l'Energie 2019-23 et 2024-28
MTES - CGDD & CITEPA	2020 (A)	L'empreinte carbone des Français reste stable
MTES - CGDD & CITEPA	2020 (B)	Méthodologie de calcul de l'empreinte carbone de la demande finale intérieure française
Négawatt	2012	« Le scénario Négawatt », présentation de Thierry Salomon
NRDC	2014	The Latest-Generation Video Game Consoles How Much Energy Do They Waste When You're Not Playing?
OCDE	2014	Prévisions du PIB réel à long-terme issues de : Perspectives macroéconomiques à long terme : scénario de référence, No. 95
Roland Berger	2020	The Road to AI, Investment dynamics in the European ecosystem
RTE	2019 (B)	LA PART DU NUMÉRIQUE DANS LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE DES FRANÇAIS
RTE	2019 (A)	Bilan électrique 2019
snessii	2020	Impression : stabilité du marché français en 2019
Statista	2011	Average life of printer hardware install base worldwide from 2008 to 2015
Statista	2014	Appareils ménagers et électroniques possédés au sein des foyers en France 2014
Statista	2016	Nombre d'utilisateurs de tablettes en France 2012-2020
Syndicat des Editeurs de Logiciels de Loisirs	2019	Bilan du marché français 2018
Syndicat des Editeurs de Logiciels de Loisirs	2020	Bilan du marché français 2019
Syndicat des Editeurs de Logiciels de Loisirs	2014	L'essentiel du jeu vidéo, données marché et consommation France
Syndicat des Editeurs de Logiciels de Loisirs	2016	Bilan du marché français 2016
Syndicat des Editeurs de Logiciels de Loisirs	2018	Bilan du marché français 2017
Teehan et Kandlikar	2012	Sources of Variation in Life Cycle Assessments of Desktop Computers
The Shift Project	2018	Pour une sobriété numérique
USDOE	2014	Computer usage and national energy consumption: Results from a field-metering study
Williams	2004	Energy intensity of computer desktops
Xerfi	2018	Les hébergeurs et gestionnaires de data centers à l'horizon 2020
Xerfi	2020	Le marché des multocopieurs et des imprimantes

Annexe 2 – État des lieux des politiques publiques françaises et européennes applicables au numérique

La réalisation de cet état des lieux vise à donner une vision et de cartographier les politiques publiques actuelles conduites en faveur de la réduction de l’empreinte carbone du numérique.

Il n’existe pas actuellement de politiques publiques applicables qui concerneraient uniquement la réduction de l’empreinte carbone du numérique. Très largement, les mesures existantes s’inscrivent dans des champs d’application couvrant des domaines plus larges que le numérique. Pour les 3 sous-ensembles - terminaux, réseaux et data center - les mesures qui peuvent les concerner sont principalement de nature normative.

La question de l’énergie consommée par les réseaux n’a pas été traitée par la normalisation. Ce sous-ensemble de ne fait pas l’objet de mesures particulières.

Concernant les terminaux, les normes européennes liées à une meilleure gestion du cycle de vie du produit, à leur conception, à l’écoconception, au contenu des produits et l’affichage environnemental, à la limitation des substances dangereuses, à l’obsolescence programmée et à la gestion des DEEE (Déchets d’équipements électriques et électroniques), leur sont applicables. L’ensemble de ces réglementations couvrent des domaines plus vastes que le numérique.

Comme pour l’ensemble des bâtiments du secteur tertiaire, les data center sont soumis aux règles qui leur sont applicables. A titre d’exemple, ils doivent appliquer les mesures précisées dans le « décret de rénovation tertiaire ». Ce décret présente l’obligation d’amélioration de la performance énergétique du parc tertiaire instaurée par la loi Grenelle II puis repris par la Loi de Transition énergétique et enfin dans la Loi ELAN. Il impose une réduction de la consommation énergétique du parc tertiaire français, à savoir un objectif de réduction des consommations énergétiques (énergie finale) des bâtiments : -40% en 2030, -50% en 2040 et -60% en 2050 par rapport à la consommation de 2010.

A - Les orientations en faveur de la sobriété énergétique

Plusieurs mesures en faveur d’une réduction de l’empreinte carbone ont déjà fait l’objet de directives ou lois. Souvent de nature générale, leur application concerne également le secteur du numérique.

Au niveau européen :

La directive 2002/95/CE du 27 janvier 2003 relative aux substances dangereuses contenues dans ces équipements (dite directive RoHS) et la directive 2002/96/CE du 27 janvier 2003 relative

aux déchets d'équipements électriques et électroniques définissent les conditions de mise sur le marché des équipements électriques et électroniques.

- La directive 2002/96/CE du Parlement européen et du Conseil du 27 janvier 2003 relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) encadre le fonctionnement de la filière de collecte et de traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques. Elle impose aux États membres de prévoir la collecte séparée de ces équipements du fait des substances dangereuses qu'ils contiennent et fixe des objectifs concernant leur récupération et leur recyclage. Elle met en œuvre le principe de la responsabilité des producteurs et impose aux pays de l'Union européenne de collecter une moyenne annuelle d'au moins 4 kg de déchets électriques et électroniques par habitant et par an. Sa révision doit améliorer le fonctionnement de cette filière afin d'atteindre de meilleurs taux de collecte sélective et de recyclage. Moins d'un tiers des équipements électriques et électroniques seraient aujourd'hui collectés pour être recyclés.
- La directive 2008/98/UE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets constitue le texte de référence de la politique de gestion des déchets au sein de l'Union européenne. Elle fixe des objectifs de recyclage que les États membres devront atteindre d'ici 2020 : les déchets ménagers et assimilés devront être recyclés à 50 % et les déchets de construction et de démolition à 70 %. Elle renforce les dispositions en matière de prévention des déchets en imposant aux États membres d'élaborer des programmes nationaux de prévention. La directive établit une « hiérarchie » à cinq niveaux entre les différentes options de gestion des déchets, selon laquelle l'option à privilégier est la prévention, suivie du réemploi, du recyclage, des autres formes de valorisation et, enfin, en dernier recours, de l'élimination sans danger.
- La Directive 2009/125/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 établit un cadre pour la fixation d'exigences en matière d'écoconception applicables aux produits liés à l'énergie. Cette directive permet d'interdire la mise sur le marché de produits qui n'atteignent pas certains niveaux de performance. Cette directive a été mise en œuvre par des règlements qui fixent le niveau des performances énergétiques et environnementales que les fabricants de produits ou équipements doivent respecter pour pouvoir les mettre sur le marché européen.

Au niveau français :

- La loi de programmation du 3 août 2009, dite "Loi Grenelle 1", qui trace les grands axes d'une politique nationale "post réchauffement climatique". Cette loi fixe les objectifs pour parvenir, à l'horizon 2050, à une division par 4 des émissions de gaz à effet de serre.
- La loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, ainsi que les plans d'action qui l'accompagnent visent à permettre à la France de contribuer plus efficacement à la lutte contre le dérèglement climatique et à la préservation de l'environnement, ainsi que de renforcer son indépendance énergétique.

tout en offrant à ses entreprises et ses citoyens l'accès à l'énergie à un coût compétitif. Elle présente des mesures telles que la gestion des déchets ou la mise en place de la stratégie bas carbone.

- La stratégie nationale bas carbone : introduite par la Loi de Transition Energétique pour la Croissance Verte (LTECV), La Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) est la feuille de route de la France pour lutter contre le changement climatique. Elle donne des orientations pour mettre en œuvre, dans tous les secteurs d'activité, la transition vers une économie bas-carbone, circulaire et durable. Elle définit une trajectoire de réduction des émissions de gaz à effet de serre jusqu'à 2050 et fixe des objectifs à court-moyen termes : les budgets carbone. Elle a deux ambitions : atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 et réduire l'empreinte carbone de la consommation des Français. Adoptée pour la première fois en 2015, la SNBC a été révisée en 2018-2019, en visant d'atteindre la neutralité carbone en 2050 (ambition rehaussée par rapport à la première SNBC qui visait le facteur 4, soit une réduction de 75 % de ses émissions GES à l'horizon 2050 par rapport à 1990). L'objectif de neutralité carbone serait atteint par une décarbonation complète de l'énergie à l'horizon 2050 obtenue par la réduction de moitié des consommations d'énergie via l'efficacité des équipements et la sobriété des modes de vie et par la réduction des émissions non énergétiques des procédés industriels.
- La loi n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire entend accélérer le changement des modèles de production et de consommation afin de réduire les déchets ou encore de lutter contre l'obsolescence programmée de certains équipements électriques et électroniques. La loi aborde la question du numérique et de l'économie circulaire au travers de dispositions diverses :
 - Le déploiement de l'économie circulaire au service de la responsabilisation du numérique : la loi a ainsi introduit une mesure phare dans l'objectif de soumettre les plateformes de e-commerce au principe de responsabilité élargie du producteur : à l'horizon 2022, ces plateformes de ventes à distance ou de livraison de produits seront tenues de pourvoir ou de contribuer à la prévention et la gestion des déchets qui en proviennent.
 - Par ailleurs, les fournisseurs de réseau internet doivent informer leurs abonnés des quantités de données qu'ils consomment au cours de leur abonnement en indiquant l'équivalent des émissions de gaz à effet de serre correspondantes. Pour lutter contre l'obsolescence logicielle, les fabricants de biens comportant des éléments numériques doivent informer les vendeurs de la durée durant laquelle les mises à jour des logiciels fournis lors de l'achat restent compatibles avec un usage normal de l'appareil, c'est-à-dire lorsque ses fonctionnalités répondent aux attentes du consommateur.

B - Les mesures relatives à chacun des sous-ensembles

Des mesures européennes ou nationales pour favoriser la réduction de l’empreinte carbone ont également été prises de manière plus ciblée. Elles peuvent parfois concerner uniquement l’un des trois sous-ensembles identifiés.

1 - Pour les centres informatiques :

Niveau européen

- La norme EN 50600, publié en 2016 par le CENELEC 116 qui couvre tout le cycle de vie du data center et propose des scénarios chiffrés de conception.
- Le règlement UE 2019/424, mis en place par la Commission sur l’écoconception des serveurs et produits de stockage de données. La consommation annuelle d’énergie liée aux serveurs directement devrait être de 48 TWh en 2030, et atteindre 75 TWh lorsque la consommation annuelle d’énergie liée à l’infrastructure (par exemple, les systèmes de refroidissement et les systèmes d’alimentation sans interruption) est également incluse. La consommation annuelle d’énergie des produits de stockage de données devrait être de 30 TWh en 2030 et de 47 TWh lorsque l’infrastructure est également incluse.

Niveau français

- Le décret tertiaire, aussi appelé « décret de rénovation tertiaire », présentant l’obligation d’amélioration de la performance énergétique du parc tertiaire instaurée par la loi Grenelle II puis repris par la Loi de Transition énergétique et enfin dans la Loi ELAN. Le « décret tertiaire » précise les modalités d’application de l’article 175 de la loi ÉLAN (Évolution du Logement, de l’Aménagement et du Numérique) qui pose un objectif de réduction des consommations énergétiques des bâtiments : -40% en 2030, -50% en 2040 et -60% en 2050 par rapport à 2010. À ce jour, tous les bâtiments existants à usage tertiaire de plus de 1000 m² sont concernés. L’obligation de réduire les consommations d’énergie s’impose aux bailleurs comme à leurs locataires. Le périmètre de responsabilité de chacun est renvoyé à la rédaction du bail.
- Les centres informatiques font également depuis 2019 l’objet de mesures d’accompagnement spécifiques comme la réduction de 22 à 12€ de la TICFE. Cette mesure fiscale vise à rendre la France plus attractive. Cette diminution de près de 50% devrait inciter les entreprises du monde entier à ouvrir leurs centres dans l’hexagone et ainsi stimuler le secteur numérique. En contrepartie de cette baisse du taux d’imposition, les entreprises devront elles aussi faire des efforts pour améliorer l’efficacité énergétique de leurs Centres informatiques. Des efforts qui ont déjà commencé depuis maintenant quelques années avec notamment l’utilisation croissante de l’air ambiant plutôt que de la climatisation pour le refroidissement des serveurs.

2 - Pour les terminaux

Niveau européen

- Le règlement délégué n°1062/2010 de la commission instaure des exigences applicables à l'étiquetage des téléviseurs et concernant la fourniture d'informations supplémentaires sur les téléviseurs.
- Les règlements 2009/642 et 2010/1062 établissent des exigences en matière d'écoconception applicables à la mise sur le marché des téléviseurs et des écrans.
- Le règlement n°617/2013 de la commission. Ce règlement établit des exigences d'écoconception pour la mise sur le marché d'ordinateurs et de serveurs informatiques (de petites tailles).
- Le Règlement (UE) 801/2013 sur les modes veille vise à réduire de 75% la consommation des veille d'ici 2020.

Niveau français

- Une filière de gestion spécifique des déchets des équipements électriques et électroniques, fondée sur le principe de responsabilité élargie des producteurs des équipements est opérationnelle depuis juillet 2005 pour les DEEE professionnels et depuis novembre 2006 pour les DEEE ménagers. Cette filière fixe des objectifs de collecte et de valorisation de ces équipements, afin d'améliorer la gestion respectueuse de ces déchets et de favoriser le recyclage et la valorisation de ces déchets et des substances qu'ils contiennent, dans une logique d'économie circulaire.
- La loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire a introduit un indice de réparabilité pour les équipements électriques et électroniques afin d'informer le consommateur sur la capacité à réparer le produit.
- Cette même loi vise également à renforcer la lutte contre l'obsolescence des produits. La réglementation relative à l'obsolescence programmée visant à favoriser la réparation et la réutilisation, concerne en premier lieu les terminaux. Ainsi, toute technique, y compris logicielle, permettant à un metteur sur le marché de rendre impossible la réparation ou le reconditionnement d'un appareil hors de ses circuits agréés est interdite. Un arrêté définit la liste des produits et les motifs légitimes, notamment la sécurité ou la santé des utilisateurs, pour lesquels le professionnel n'est pas tenu par cette obligation. La réparabilité du produit est considérée comme une des caractéristiques essentielles du bien ou du service.

3 - Pour les réseaux numériques

Concernant les réseaux numériques il convient de souligner, qu'à l'heure actuelle, la question de leur consommation d'énergie ou de leur empreinte carbone n'a pas été traitée ou encadrée par la normalisation. Ce sous-ensemble de ne fait pas l'objet de mesures particulières.

Aussi, le champ des politiques publiques applicables au numérique reste à enrichir afin de faire face aux enjeux environnementaux imposés par la révolution numérique.

Juin 2020

Annexe 3 – Détail des données d’entrée

Terminaux

Smartphones

Hypothèse centrale

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	25 596 907	Evolution du parc, durée de vie de 23 mois
Durée de vie	années	Belkhir et al., 2018	1,9	Tendance à l'allongement
Energie primaire	MJ/unité	Mission	558,5	Moyenne ADEME et Shift
Emissions amont	kgCO2e / u	The Shift Project, 2018	61,1	Ecran LCD 4,5'
Consommation élec	kWh/an	Mission	3,9	2025 : moyenne des valeurs Haute Centrale et Basse ; 2040 : moyenne des valeurs Haute et Centrale
Parc actif	unités	Arcep, 2020	53 238 738	Moyenne entre estimations via parc SIM et taux d'équipement

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	29 591 393	Choc de demande d'arrivée de la 5G pris en compte ; puis selon parc et durée d'utilisation qui s'allonge légèrement jusque 2 années en 2025 puis stable
Durée de vie	années	Mission	2	A partir du parc et une durée d'utilisation qui s'allonge légèrement
Energie primaire	MJ/unité	Mission	629	TCAM 2% comme la croissance des émissions amont
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	69	+2%/an qui est le TCAM des émissions par pouce (hors agrandissement des écrans) des iPhones les dix dernières années
Consommation élec	kWh/an	Mission	5	Hypothèse d'une hausse annuelle de 3,4% pour atteindre 4,73 kWh (moyenne haute de 2019)
Parc actif	unités	Mission	57 935 992	Taux d'équipement en croissance jusque 82%, multiéquipement stable à 1,2

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	34 506 101	Stable
Durée de vie	années	Mission	2	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	846	TCAM à 2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	93	TCAM à 2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	6	TCAM 25 - 40 : 1,4%
Parc actif	unités	Mission	68 215 103	Taux d'équipement en croissance jusque 90%, multiéquipement stable à 1,2

Hypothèse basse

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	16 494 775	Evolution du parc, durée de vie de 23 mois
Durée	années	Belkhir et al., 2018	1,9	Recoupement de sources
Energie primaire	MJ/unité	ADEME, 2018 (B)	400,0	-
Emissions amont	kgCO2e / u	ADEME, 2018	50	Moyenne entre estimation haute (5,5' et plus) de l'Ademe (qui semble faible) et celle de TSP
Consommation élec	kWh/an	Malmodin et al., 2016	2,6	SONY Z3 ou Z5, modes veilles ou actif selon intensité d'usage + pertes chargeurs (directes et laissé dans la prise)
Parc actif	unités	Mission	44 136 606	Taux d'équipement de 77% de la pop FR avec 1,1 smartphone

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	24 050 101	Choc de demande d'arrivée de la 5G pris en compte ; puis selon parc et une durée d'utilisation qui s'allonge légèrement jusque 2,2 années en 2025 puis stable
Durée	années	Mission	2	A partir du parc et une durée d'utilisation qui s'allonge légèrement
Energie primaire	MJ/unité	Mission	400	Constant
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	50	Constant
Consommation élec	kWh/an	Mission	3	Hypothèse d'une hausse annuelle de 3,4%
Parc actif	unités	Mission	51 812 676	Taux d'équipement en croissance jusque 80%, multiéquipement stable à 1,1

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	27 156 122	Stable
Durée	années	Mission	2	
Energie primaire	MJ/unité	Mission	400	Constant
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	50	TCAM à 0%
Consommation élec	kWh/an	Mission	4	TCAM 25 - 40 : 1,4%
Parc actif	unités	Mission	59 056 594	Taux d'équipement en croissance jusque 85%, multiéquipement stable à 1,1

Hypothèse haute

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	34 699 039	Evolution du parc, durée de vie de 23 mois
Durée	années	Belkhir et al., 2018	1,9	
Energie primaire	MJ/unité	The Shift Project, 2018	717,0	-
Emissions amont	kgCO2e / u	Apple, 2019	70,5	Iphone 11 Pro Max
Consommation élec	kWh/an	Malmodin et al., 2016	7,7	SONY Z3 ou Z5, modes veilles ou actif selon intensité d'usage + pertes chargeurs (directes et laissé dans la prise)
Parc actif	unités	Arcep, 2020 ; CGE, 2019	62 340 870	Parc cartes SIM 3G et +

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	38 926 630	Choc de demande d'arrivée de la 5G pris en compte ; puis selon parc et une durée d'utilisation qui se raccourcit (1,68 années en 2025)
Durée	années	Statista, 2017	2	Raccourcissement vers la durée moyenne d'utilisation en Chine
Energie primaire	MJ/unité	Mission	907	TCAM à 4%, comme la croissance des émissions amont
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	89	+4% : Poursuite des évolutions par pouce des Iphones grands formats (Plus, Max,...)
Consommation élec	kWh/an	Mission	9	Hypothèse d'une hausse annuelle de 3,4%
Parc actif	unités	Mission	64 294 821	Taux d'équipement en croissance jusque 84%, multiéquipement stable à 1,3

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	46 856 921	Stable
Durée	années	Mission	2	Constante
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 634	TCAM à 4%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	161	TCAM à 4%
Consommation élec	kWh/an	Mission	12	TCAM 25 - 40 : 1,4%
Parc actif	unités	Mission	78 005 234	Taux d'équipement en croissance jusque 95%, multiéquipement stable à 1,3

Ordinateurs portables

Hypothèse centrale

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	4 774 277	Poursuite de la tendance passée observée (2015-2018)
Durée de vie	années	Mission	4	-
Energie primaire	MJ/unité	ADEME, 2018	3 543	Estimation ADEME, 2018 B mise à échelle avec la moyenne des estimations dans la littérature des émissions de GES amont des Smartphones
Emissions amont	kgCO ₂ e / u	Mission	335	Moyenne TSP et ADEME (cohérent avec Apple)
Consommation élec	kWh/an	The Shift Project, 2018	56	Moyenne de données Andrae, LCA Dell et ADEME
Parc actif	unités	Mission	36 300 545	TCAM : 0% (poursuite tendance CGE après 2030)

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	CGE, 2019	4 774 277	TCAM : 0% (poursuite tendance CGE après 2030)
Durée de vie	années	Mission	4	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	3 200	TCAM -1,7% comme les émissions amont
Emissions amont	kgCO ₂ e / u	Mission	303	TCAM -1,7% (TCAM des MacBook Pro 13")
Consommation élec	kWh/an	Mission	49	TCAM 19-40 : -2%
Parc actif	unités	CGE, 2019	36 300 545	TCAM : 0% (poursuite tendance CGE après 2030)

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	4 774 277	TCAM : 0% (poursuite tendance CGE après 2030)
Durée de vie	années	Mission	4	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	2 479	TCAM -1,7% comme les émissions amont
Emissions amont	kgCO ₂ e / u	Mission	234	TCAM -1,7% (TCAM des MacBook Pro 13")
Consommation élec	kWh/an	Mission	37	TCAM 19-40 : -2%
Parc actif	unités	Mission	36 300 545	TCAM : 0% (poursuite tendance CGE après 2030)

Hypothèse basse

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	4 774 277	Poursuite de la tendance passée observée (2015-2018)
Durée	années	Mission	5	-
Energie primaire	MJ/unité	Mission	2 835	valeur Centrale -20%
Emissions amont	kgCO ₂ e / u	ADEME, 2018	156	-
Consommation élec	kWh/an	The Shift Project, 2018	56	Moyenne de données Andrae, LCA Dell et ADEME
Parc actif	unités	Mission	36 300 545	-0,27%/an ; poursuite tendance 2015-2018

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	4 225 456	Baisse annuelle estimée à 2,01% selon les ventes 2015 à 2018 estimées par le CGE
Durée	années	Mission	5	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	2 560	TCAM -1,7% comme les émissions amont
Emissions amont	kgCO ₂ e / u	Mission	141	TCAM -1,7% (TCAM des MacBook Pro 13")
Consommation élec	kWh/an	Mission	46	TCAM 19-40 : -3%
Parc actif	unités	Mission	35 709 501	TCAM : -0,27% (poursuite tendance 2015-2018)

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	3 113 784	Baisse annuelle estimée à 2,01% selon les ventes 2015 à 2018 estimées par le CGE
Durée	années	Mission	5	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 983	TCAM -1,7% comme les émissions amont
Emissions amont	kgCO ₂ e / u	Mission	109	TCAM -1,7% (TCAM des MacBook Pro 13")
Consommation élec	kWh/an	Mission	29	TCAM 19-40 : -3%
Parc actif	unités	Mission	34 273 652	TCAM : -0,27% (poursuite tendance 2015-2018)

Hypothèse haute

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	4 774 277	Poursuite de la tendance passée observée (2015-2018)
Durée	années	Mission	3	-
Energie primaire	MJ/unité	Mission	4 252	valeur Centrale +20%
Emissions amont	kgCO2e / u	The Shift Project, 2018	514	-
Consommation élec	kWh/an	The Shift Project, 2018	56	Moyenne de données Andrae, LCA Dell et ADEME
Parc actif	unités	Négawatt, 2017	36 300 545	TCAM : 2% (négaWatt : scénario "intensif" à l'Horizon 2030)

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Négawatt, 2017	5 376 611	+2%/an Négawatt, scénario "intensif" à l'Horizon 2030
Durée	années	Mission	3	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	3 840	TCAM -1,7% comme les émissions amont
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	464	TCAM -1,7% (TCAM des MacBook Pro 13")
Consommation élec	kWh/an	Mission	53	TCAM19-40 : -1%
Parc actif	unités	Mission	40 880 310	TCAM19-40 : 2% (négaWatt : scénario "intensif" à l'Horizon 2030)

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	7 236 210	+2%/an (Négawatt, scénario "intensif") à l'Horizon 2030 et prolongé jusqu'à 2040
Durée	années	Mission	3	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	2 975	TCAM -1,7% comme les émissions amont
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	360	TCAM -1,7% (TCAM des MacBook Pro 13")
Consommation élec	kWh/an	Mission	45	TCAM19-40 : -1%
Parc actif	unités	Mission	55 019 514	TCAM19-40 : 2% (négaWatt : scénario "intensif" à l'Horizon 2030)

Ordinateurs fixes

Hypothèse centrale

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	CGE, 2019	3 476 636	0%/an
Durée de vie	années	Mission	5	A partir de Teehan et Kandiklar, 2012 : Valeur centrale parmi huit études
Energie primaire	MJ/unité	Mission	3 000	A partir de Teehan et Kandiklar, 2012 : Valeur centrale parmi huit études
Emissions amont	kgCO2e / u	ADEME, 2018	296,0	Ordinateur de type haute performance
Consommation élec	kWh/an	Mission	124,0	Sans écran, uniquement l'unité de contrôle
Parc actif	unités	CGE, 2019	26 434 115	

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	CGE, 2019	3 476 636	TCAM : 0% (croissance estimée par le CGE à l'horizon 2030)
Durée de vie	années	Mission	5	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 464	TCAM19-40 : -6,9%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	186	TCAM19-40 : -7,5%
Consommation élec	kWh/an	RTE, 2019	98	TCAM19-25 : -3,9%
Parc actif	unités	CGE, 2019	26 434 115	0%/an

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	3 476 636	Poursuite de la tendance CGE à l'horizon 2040
Durée de vie	années	Mission	5	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	862	TCAM19-40 : -2,3%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	110	TCAM19-40 : -2,3%
Consommation élec	kWh/an	RTE, 2019	54	TCAM25-40 : -4,9%
Parc actif	unités	CGE, 2019	26 434 115	0%/an

Hypothèse basse

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	3 476 636	Baisse annuelle estimée à 4,16%
Durée	années	Teehan et Kandiklar, 2012	7	Analyse de plusieurs études
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 814,4	valeur centrale -20%
Emissions amont	kgCO2e / u	ADEME, 2018	169,0	Ordinateur de type bureautique
Consommation élec	kWh/an	Mission	93	Sans écran, uniquement l'unité de contrôle
Parc actif	unités	Mission	26 434 115	

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	2 694 185	TCAM 25-40 : -4,16% (poursuite de tendance)
Durée	années	Mission	7	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 213	TCAM19-25 : -1%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	98	TCAM19-25 : -8,9%
Consommation élec	kWh/an	Mission	71	TCAM19-25 : -7%
Parc actif	unités	Mission	22 768 669	-2,457%/an ; poursuite tendance 2015-2018

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	1 424 288	TCAM 25-40 : -4,16% (poursuite de tendance)
Durée	années	Mission	7	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	768	TCAM25-40 : -2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	55	TCAM25-40 : -2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	36	TCAM25-40 : -7%
Parc actif	unités	Mission	15 677 249	-2,457%/an ; poursuite tendance 2015-2018

Hypothèse haute

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Négawatt, 2017	3 476 636	+2%/an Négawatt, scénario "intensif" à l'Horizon 2030
Durée	années	Teehan et Kandiklar, 2012	3,0	Analyse de plusieurs études
Energie primaire	MJ/unité	Mission	2 721,6	valeur centrale +20%
Emissions amont	kgCO2e / u	ADEME, 2018	296,0	Ordinateur de type haute performance
Consommation élec	kWh/an	Mission	162,0	Sans écran, uniquement l'unité de contrôle
Parc actif	unités	CGE, 2019	26 434 115	0%/an

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Négawatt, 2017	3 915 257	+2%/an Négawatt, scénario "intensif" à l'Horizon 2030
Durée	années	Mission	3	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 712	TCAM19-25 : -7,5%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	275	TCAM19-25 : -6,9%
Consommation élec	kWh/an	Mission	140	TCAM19-25 : -2,46%
Parc actif	unités	Négawatt, 2017	29 769 107	+2%/an Négawatt, scénario "intensif" à l'Horizon 2030

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	5 269 420	Poursuite de la tendance du scénario Négawatt : +2%/an
Durée	années	Mission	3	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	963	TCAM19-25 : -2,5%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	162	TCAM19-25 : -2,5%
Consommation élec	kWh/an	Mission	96	TCAM25-40 : -4,26%
Parc actif	unités	Négawatt, 2017	40 065 298	+2%/an Négawatt, scénario "intensif" à l'Horizon 2030

Ecrans

Hypothèse centrale

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	CGE, 2019	4 908 919	hypothèses CGE : 1 écran pour 1 ordinateur fixe ET 0,3 écran pour 1 ordinateur portable
Durée de vie	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Andrae, 2017	1 500	Proche des valeurs de l'Ademe
Emissions amont	kgCO2e / u	Base Carbone ADEME, 2018	248,0	type 23,8 pouces
Consommation élec	kWh/an	Mission	70,0	Entre 23' ADEME à 58 et ANDRAE 75
Parc actif	unités	CGE, 2019	37 324 278	hypothèses CGE : 1 écran pour 1 ordinateur fixe ET 0,3 écran pour 1 ordinateur portable

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	5 495 296	TCAM 19-25 : 2%
Durée de vie	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 705	Moyenne valeur Haute et Basse
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	279	TCAM 19-40 : 2% (Hausse présumée de la taille moyenne des écrans)
Consommation élec	kWh/an	Mission	70	TCAM19-40 : 0%
Parc actif	unités	Mission	41 782 717	2025 : 1,1 écran / ordinateur fixe et 0,35 écran / ordinateur portable

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	6 385 269	TCAM 25-40 : 1%
Durée de vie	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	2 255	Moyenne valeur Haute et Basse
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	376	TCAM 19-40 : 2% (Hausse présumée de la taille moyenne des écrans)
Consommation élec	kWh/an	Mission	70	TCAM19-40 : 0%
Parc actif	unités	Mission	48 549 504	2040 : 1,15 écran / ordinateur fixe et 0,5 écran / ordinateur portable

Hypothèse basse

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	4 301 727	hypothèses Mission : 1,1 écran pour 1 ordinateur fixe ET 0,1 écran pour 1 ordinateur portable
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	ADEME, 2018 (B)	1 440,0	-
Emissions amont	kgCO2e / u	Base Carbone ADEME, 2018	222,0	type 21,5 pouces
Consommation élec	kWh/an	ADEME, 2018 (B)	58,0	23'
Parc actif	unités	Mission	32 707 581	hypothèses Mission : 1,1 écran pour 1 ordinateur fixe ET 0,1 écran pour 1 ordinateur portable

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	4 779 155	TCAM 19-25 : 2%
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 440	TCAM19-40 : 0%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	222	Constant
Consommation élec	kWh/an	Mission	51	TCAM19-40 : -2%
Parc actif	unités	Mission	32 187 436	2025 : 1,1 écran / ordinateur fixe et 0,2 écran / ordinateur portable

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	5 256 582	TCAM 25-40 : 1%
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 440	TCAM19-40 : 0%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	222	Constant
Consommation élec	kWh/an	Mission	38	TCAM19-40 : -2%
Parc actif	unités	Mission	27 527 069	2040 : 1,1 écran / ordinateur fixe et 0,3 écran / ordinateur portable

Hypothèse haute

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	5 256 582	hypothèses Mission : 1,1 écran pour 1 ordinateur fixe ET 0,3 écran pour 1 ordinateur portable
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 650,0	valeur Centrale +10%. Peu de sources sur le sujet ; et celles trouvées sont anciennes (ex : Williams, 2004)
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	297,6	valeur Centrale +20%. Certains écrans ont une empreinte carbone embarquée bien supérieure aux modèles étudiés par l'Ademe (ex : Pro Display XDR d'Apple avec 555 kgCO2) mais il s'agit certainement de modèles moins vendus.
Consommation élec	kWh/an	Andrae, 2017	75,0	-
Parc actif	unités	Mission	39 967 690	hypothèses Mission : 1,1 écran pour 1 ordinateur fixe ET 0,3 écran pour 1 ordinateur portable

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	5 669 128	TCAM 19-25 : 1%
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 970	TCAM19-40 : 3%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	355	TCAM 19-40 : 3% (Hausse présumée de la taille moyenne des écrans)
Consommation élec	kWh/an	Mission	84	TCAM19-40 : 2%
Parc actif	unités	Mission	48 542 581	2025 : 1,15 écran / ordinateur fixe et 0,35 écran / ordinateur portable

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	6 906 765	TCAM 25-40 : 1%
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	3 069	TCAM19-40 : 3%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	554	TCAM 19-40 : 3% (Hausse présumée de la taille moyenne des écrans)
Consommation élec	kWh/an	Mission	114	TCAM19-40 : 2%
Parc actif	unités	Mission	79 594 645	2040 : 1,3 écran / ordinateur fixe et 0,5 écran / ordinateur portable

Téléviseurs

Hypothèse centrale

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	5 688 883	Selon les hypothèses de durée de vie de parc
Durée de vie	années	ADEME, 2018 (B)	8	-
Energie primaire	MJ/unité	ADEME, 2018 (B)	2 400	-
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	422,5	Moyenne ADEME et The Shift Project
Consommation élec	kWh/an	CGE, 2019	179	-
Parc actif	unités	Livre Blanc ADEME, 2015 ; Insee ; Credoc ; CSA, 2018	45 511 064	Nombre de TV par foyer et par entreprise

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	5 982 565	Selon les hypothèses de durée de vie de parc
Durée de vie	années	Mission	8	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	2 472	Moyenne valeur Haute et Basse
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	476	Hausse due à l'augmentation de la taille moyenne des écrans
Consommation élec	kWh/an	Négawatt, 2017	142	TCAM19-25 : -3,8%
Parc actif	unités	Mission	47 860 524	selon hypothèse par entreprise et résidentiel

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	6 289 313	Selon les hypothèses de durée de vie de parc
Durée de vie	années	Mission	8	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	2 811	Moyenne valeur Haute et Basse
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	640	Hausse due à l'augmentation de la taille moyenne des écrans
Consommation élec	kWh/an	CGE, 2019	66	TCAM19-40 : -5%
Parc actif	unités	Mission	50 314 500	selon hypothèse par entreprise et résidentiel

Hypothèse basse

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	5 056 785	Selon les hypothèses de durée de vie de parc
Durée	années	Mission	9,0	-
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 920,0	valeur Centrale -20%
Emissions amont	kgCO2e / u	ADEME, 2018	403,7	moyenne de 3 tailles d'écran
Consommation élec	kWh/an	The Shift Project, 2018	157,4	Samsung ; Ecran LCD de 55'
Parc actif	unités	Mission	45 511 064	selon hypothèses retenues pour les parcs en entreprise et résidentiel

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	5 056 785	Selon les hypothèses de durée de vie de parc
Durée	années	Mission	9	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 701	TCAM19-40 : -2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	404	Constant
Consommation élec	kWh/an	Négawatt, 2017	122	TCAM19-25 : -3,8%
Parc actif	unités	Mission	45 511 064	selon hypothèse par entreprise et résidentiel

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	5 056 785	Selon les hypothèses de durée de vie de parc
Durée	années	Mission	9	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 256	TCAM19-40 : -2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	404	Constant
Consommation élec	kWh/an	Négawatt, 2017	51	TCAM25-40 : -5,61%
Parc actif	unités	Mission	45 511 064	selon hypothèse par entreprise et résidentiel

Hypothèse haute

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	6 501 581	Selon les hypothèses de durée de vie de parc
Durée	années	The Shift Project, 2018	7,0	TV connectée
Energie primaire	MJ/unité	Mission	2 880,0	valeur Centrale +20%
Emissions amont	kgCO2e / u	The Shift Project, 2018	441,2	TV Samsung ; Ecran LCD de 55'
Consommation élec	kWh/an	The Shift Project, 2018	215,0	Sony 4K, 65'
Parc actif	unités	Mission	45 511 064	selon hypothèses retenues pour les parcs en entreprise et résidentiel

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	6 877 052	Selon les hypothèses de durée de vie de parc
Durée	années	Mission	7	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	3 243	TCAM19-40 : 2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	527	Hausse due à l'augmentation de la taille moyenne des écrans
Consommation élec	kWh/an	Négawatt, 2017	170	TCAM19-40 : -3,8%
Parc actif	unités	Mission	48 139 365	selon hypothèse par entreprise et résidentiel

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	8 269 349	Selon les hypothèses de durée de vie de parc
Durée	années	Mission	7	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	4 365	TCAM19-40 : 2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	821	Hausse due à l'augmentation de la taille moyenne des écrans
Consommation élec	kWh/an	Mission	95	TCAM19-40 : -3,8%
Parc actif	unités	Mission	57 885 445	selon hypothèse par entreprise et résidentiel

Box et décodeurs

Hypothèse centrale

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	CGE, 2019	8 600 000	Hypothèse : ventes constantes depuis 2018
Durée de vie	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	ADEME, 2018 (B)	1 521,1	Box fibre (763 MJ) + Décodeur (798 MJ)
Emissions amont	kgCO2e / u	ADEME, 2018 (B)	143,8	Box fibre et décodeur
Consommation élec	kWh/an	CGE, 2019	158	-
Parc actif	unités	Mission	22 366 325	Hypothèse "1 pour 1" : Un décodeur actif par Box (22M d'unités selon ARCEP, 2020 et CSA, 2019 A). En tenant compte du multi-équipements, le parc de décodeurs est plus élevé. Nous l'estimons à 36M d'unités mais il est difficile de préjuger si ceux-ci sont bien allumés et employés, d'où l'hypothèse conservatrice et simplificatrice "1 pour 1"

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	8 600 000	TCAM 19-40 : 0%
Durée de vie	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 567	Moyenne valeur Haute et Basse
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	148	Moyenne valeur Haute et Basse
Consommation élec	kWh/an	CGE, 2019	158	TCAM 19-40 : 0%
Parc actif	unités	Mission	22 366 325	TCAM 19-40 : 0%

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	8 600 000	TCAM 19-40 : 0%
Durée de vie	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 781	Moyenne valeur Haute et Basse
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	168	Moyenne valeur Haute et Basse
Consommation élec	kWh/an	CGE, 2019	158	TCAM 19-40 : 0%
Parc actif	unités	Mission	22 366 325	TCAM 19-40 : 0%

Hypothèse basse

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	8 170 000	valeur Centrale -5%
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 216,9	valeur Centrale -20%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	115	valeur Centrale -20%
Consommation élec	kWh/an	Mission	126,4	valeur Centrale -20%
Parc actif	unités	Mission	21 248 009	valeur Centrale -5%

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	7 237 332	TCAM 19-40 : -2%
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 078	TCAM 19-40 : -2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	102	TCAM 19-40 : -2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	119	TCAM 19-40 : -1%
Parc actif	unités	Mission	18 822 387	TCAM 19-40 : -2%

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	5 345 270	TCAM 19-40 : -2%
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	796	TCAM 19-40 : -2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	75	TCAM 19-40 : -2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	102	TCAM 19-40 : -1%
Parc actif	unités	Mission	13 901 633	TCAM 19-40 : -2%

Hypothèse haute

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	9 030 000	valeur Centrale +5%
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 825,3	valeur Centrale +20%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	172,6	valeur Centrale +20%
Consommation élec	kWh/an	Mission	189,6	valeur Centrale +20%
Parc actif	unités	Mission	23 484 641	valeur Centrale +5%

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	10 169 247	TCAM 19-40 : 2%
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	2 056	TCAM 19-40 : 2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	194	TCAM 19-40 : 2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	201	TCAM 19-40 : 1%
Parc actif	unités	Mission	26 447 520	TCAM 19-40 : 2%

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	13 686 467	TCAM 19-40 : 2%
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	2 767	TCAM 19-40 : 2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	262	TCAM 19-40 : 2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	234	TCAM 19-40 : 1%
Parc actif	unités	Mission	35 594 880	TCAM 19-40 : 2%

Tablettes

Hypothèse centrale

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	8 631 003	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée de vie	années	ADEME, 2018 (B) ; GreenIT, 2019	3	-
Energie primaire	MJ/unité	ADEME, 2018 (B)	578,3	Estimation ADEME pour les tablettes classiques (9 à 11")
Emissions amont	kgCO2e / u	ADEME, 2018	63,2	tablette 9-11 pouces
Consommation élec	kWh/an	ADEME, 2015	5	Usage pendant 3h/j d'une tablette d'un puissance de 4,5 W (efficacité du chargeur)
Parc actif	unités	Mission	24 074 512	Taux d'équipement des ménages en tablette (2019 : 42%)

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	9 426 729	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée de vie	années	Mission	3	2019 - 2025 : + 0 an
Energie primaire	MJ/unité	Mission	596	Moyenne valeur Haute et Basse
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	64	Moyenne valeur Haute et Basse
Consommation élec	kWh/an	Mission	5	Moyenne valeur Haute et Basse
Parc actif	unités	Mission	26 495 118	Taux d'équipement des ménages en tablette (2025 : 45%)

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	10 919 307	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée de vie	années	Mission	3	2025 - 2040 : + 0 an
Energie primaire	MJ/unité	Mission	677	Moyenne valeur Haute et Basse
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	76	Moyenne valeur Haute et Basse
Consommation élec	kWh/an	Mission	7	Moyenne valeur Haute et Basse
Parc actif	unités	Mission	31 581 066	Taux d'équipement des ménages en tablette (2040 : 50%)

Hypothèse basse

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	8 631 003	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée	années	ADEME, 2018 (B) ; GreenIT, 2019	3	-
Energie primaire	MJ/unité	Mission	462,6	valeur Centrale -20%
Emissions amont	kgCO2e / u	ADEME, 2018	40,9	tablette mini
Consommation élec	kWh/an	Mission	4	Valeur Centrale -20%
Parc actif	unités	Mission	24 074 512	Taux d'équipement des ménages en tablette (2019 : 42%)

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	6 805 142	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée	années	Mission	4	2019 - 2025 : + 0,5 an
Energie primaire	MJ/unité	Mission	410	TCAM19-40 : -2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	36	TCAM19-40 : -2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	3	TCAM 19-40 : -3%
Parc actif	unités	Mission	23 551 216	Taux d'équipement des ménages en tablette (2025 : 40%)

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	4 831 365	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée	années	Mission	5	2025 - 2040 : + 1 an
Energie primaire	MJ/unité	Mission	303	TCAM19-40 : -2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	27	TCAM19-40 : -2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	2	TCAM 19-40 : -3%
Parc actif	unités	Mission	22 106 746	Taux d'équipement des ménages en tablette (2040 : 35%)

Hypothèse haute

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	8 631 003	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée	années	ADEME, 2018 (B) ; GreenIT, 2019	3,0	-
Energie primaire	MJ/unité	Mission	693,9	valeur Centrale +20%
Emissions amont	kgCO2e / u	ADEME, 2018	82,2	tablette détachable
Consommation élec	kWh/an	Mission	6,0	Valeur Centrale +20%
Parc actif	unités	Mission	24 074 512	Taux d'équipement des ménages en tablette (2019 : 42%)

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	12 889 430	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée	années	Mission	3	2019 - 2025 : - 0,5 an
Energie primaire	MJ/unité	Mission	781	TCAM19-40 : 2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	93	TCAM19-40 : 2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	7	TCAM 19-40 : 3%
Parc actif	unités	Mission	29 439 020	Taux d'équipement des ménages en tablette (2025 : 50%)

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	25 903 052	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée	années	Mission	2	2025 - 2040 : - 1 an
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 052	TCAM19-40 : 2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	125	TCAM19-40 : 2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	11	TCAM 19-40 : 3%
Parc actif	unités	Mission	37 897 280	Taux d'équipement des ménages en tablette (2040 : 60%)

Modules de connexion IOT

Hypothèse centrale

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	79 900 000	-
Durée de vie	années	Mission	5	-
Energie primaire	MJ/unité	Mission	18,0	-
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	1	-
Consommation élec	kWh/an	EDNA ; The Shift Project, 2020 2020	13,1	Equipement d'une puissance de 1,5W utilisé constamment
Parc actif	unités	Mission	249 800 000	-

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	157 708 433	TCAM 19-40 : 12%
Durée de vie	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	22	TCAM 19-40 : 3%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	1	TCAM 19-40 : 3%
Consommation élec	kWh/an	Mission	10	TCAM 19-40 : -5%
Parc actif	unités	Mission	709 372 262	TCAM 19-40 : 19%

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	863 227 476	TCAM 19-40 : 12%
Durée de vie	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	35	TCAM 19-40 : 3%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	2	TCAM 19-40 : 3%
Consommation élec	kWh/an	Mission	4	TCAM 19-40 : -5%
Parc actif	unités	Mission	9 640 035 279	TCAM 19-40 : 19%

Hypothèse basse

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	79 900 000	-
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	16,2	valeur Centrale -10%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	0,9	valeur Centrale -10%
Consommation élec	kWh/an	Mission	11,8	valeur Centrale -10%
Parc actif	unités	Mission	249 800 000	-

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	141 547 724	TCAM 19-40 : 10%
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	18	TCAM 19-40 : 2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	1	TCAM 19-40 : 2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	8	TCAM 19-40 : -2%
Parc actif	unités	Mission	640 778 018	TCAM 19-40 : 17%

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	591 279 971	TCAM 19-40 : 10%
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	25	TCAM 19-40 : 2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	1	TCAM 19-40 : 2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	3	TCAM 19-40 : -2%
Parc actif	unités	Mission	6 752 981 045	TCAM 19-40 : 17%

Hypothèse haute

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	79 900 000	-
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	19,8	valeur Centrale +10%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	1,1	valeur Centrale +10%
Consommation élec	kWh/an	Mission	14,4	valeur Centrale +10%
Parc actif	unités	Mission	249 800 000	-

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	175 378 313	TCAM19-40 : 14%
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	25	TCAM 19-40 : 4%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	1	TCAM 19-40 : 4%
Consommation élec	kWh/an	Mission	12	TCAM 19-40 : 0%
Parc actif	unités	Mission	783 979 409	TCAM 19-40 : 21%

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	1 251 839 518	TCAM19-40 : 14%
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	45	TCAM 19-40 : 4%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	3	TCAM 19-40 : 4%
Consommation élec	kWh/an	Mission	8	TCAM 19-40 : 0%
Parc actif	unités	Mission	13 679 972 070	TCAM 19-40 : 21%

Consoles de jeu de salon

Hypothèse centrale

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	CNC, 2020	2 000 000	-
Durée de vie	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	ADEME, 2018 (B)	2 000	-
Emissions amont	kgCO2e / u	ADEME, 2018	73,7	-
Consommation élec	kWh/an	NRDC, 2014	181	consommation d'une Playstation 4
Parc actif	unités	SELL, 2020 ; CNC, 2019	20 000 000	Hypothèse: parc constant depuis 2017

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	2 563 872	TCAM 20 : 5% ; TCAM 21 : 7,5% ; TCAM 22 : 5% ; TCAM 23 : 5% ; TCAM 24 : 2,5% ; TCAM 25 : 0,5% (modélisation afin d'intégrer l'arrivée de la Playstation 5, prévue pour 2020-2021)
Durée de vie	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	2 060	Moyenne Haute et Basse
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	76	Moyenne Haute et Basse
Consommation élec	kWh/an	Mission	175	TCAM19-25 : -0,58%
Parc actif	unités	Mission	25 638 717	Avant 2025 : projection intègre la sortie des consoles à venir (PS5, nouvelle Xbox...) A partir de 2025, TCAM : 0,5%

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	2 763 040	TCAM 25-40 : 0,5%
Durée de vie	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	2 342	Moyenne Haute et Basse
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	86	Moyenne Haute et Basse
Consommation élec	kWh/an	Mission	136	TCAM25-40 : -1,67%
Parc actif	unités	Mission	27 630 402	TCAM 25-40 : -1,5

Hypothèse basse

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	CNC, 2020	2 000 000	-
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 600	valeur Centrale -20%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	59	valeur Centrale -20%
Consommation élec	kWh/an	NRDC, 2014	150,3	Moyenne de la consommation : Wii U : 37 ; PS4 : 181 ; Xbox One : 233 kWh / an
Parc actif	unités	SELL, 2020 ; CNC, 2019	20 000 000	Hypothèse: parc constant depuis 2017

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	2 255 393	TCAM 20 : 2,5% ; TCAM 21 : 5% ; TCAM 22 : 2,5% ; TCAM 23 : 2,5% ; TCAM 24 : 1,25% ; TCAM 25 : -1,5% (modélisation afin d'intégrer l'arrivée de la Playstation 5, prévue pour 2020-2021)
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 417	TCAM19-40 : -2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	52	TCAM19-40 : -2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	136	TCAM19-25 : -1,67%
Parc actif	unités	Mission	22 553 926	Avant 2025 : projection intègre la sortie des consoles à venir (PS5, nouvelle Xbox...) A partir de 2025, TCAM : -1,5%

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	1 797 900	TCAM 25-40 : -1,5%
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 047	TCAM19-40 : -2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	39	TCAM19-40 : -2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	105	TCAM25-40 : -1,67%
Parc actif	unités	Mission	17 979 003	TCAM 25-40 : -1,5

Hypothèse haute

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	CNC, 2020	2 000 000	-
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	2 400,0	valeur Centrale +20%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	88,4	valeur Centrale +20%
Consommation élec	kWh/an	NRDC, 2014	233,0	consommation d'une Xbox One
Parc actif	unités	SELL, 2020 ; CNC, 2019	20 000 000	Hypothèse: parc constant depuis 2017

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	3 008 897	TCAM 20 : 7,5% ; TCAM 21 : 15% ; TCAM 22 : 7,5% ; TCAM 23 : 7,5% ; TCAM 24 : 3,75% ; TCAM 25 : 1,5% (modélisation afin d'intégrer l'arrivée de la Playstation 5, prévue pour 2020-2021)
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	2 703	TCAM 19-40 : +2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	100	TCAM 19-40 : +2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	225	TCAM19-25 : -0,58%
Parc actif	unités	Mission	30 088 974	Avant 2025 : projection intègre la sortie des consoles à venir (PS5, nouvelle Xbox...) A partir de 2025, TCAM : 1,5%

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	3 761 820	TCAM 25-40 : 1,5%
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	3 638	TCAM 19-40 : +2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	134	TCAM 19-40 : +2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	206	TCAM25-40 : -0,58%
Parc actif	unités	Mission	37 618 200	TCAM 25-40 : -1,5

Consoles de jeu portables

Hypothèse centrale

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	CNC, 2020	310 000	-
Durée de vie	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	ADEME, 2018 (B)	850,0	-
Emissions amont	kgCO2e / u	Base Carbone ADEME, 2018	30,8	-
Consommation élec	kWh/an	Mission	9,5	Consommation d'une PS Vita
Parc actif	unités	SELL, 2020 ; CNC, 2019	19 500 000	Hypothèse: parc constant depuis 2017

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	300 815	TCAM 19-25 : -1%
Durée de vie	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	876	Moyenne valeur Haute et Basse
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	32	Moyenne valeur Haute et Basse
Consommation élec	kWh/an	Mission	9	TCAM : 0%
Parc actif	unités	Mission	18 922 264	TCAM19-25 : -0,5%

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	279 027	TCAM 25-40 : -0,5%
Durée de vie	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	995	Moyenne valeur Haute et Basse
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	36	Moyenne valeur Haute et Basse
Consommation élec	kWh/an	Mission	7	TCAM : -1,67%
Parc actif	unités	Mission	17 551 705	TCAM19-25 : -0,5%

Hypothèse basse

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	CNC, 2020	310 000	-
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	680	valeur Centrale -20%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	24,6	valeur Centrale -20%
Consommation élec	kWh/an	Mission	8,1	Moyenne de : Nintendo Switch : 10,6 kWh ; Nintendo 3DS : 4,2 kWh ; PS Vita : 9,5 kWh (2h d'utilisation quotidienne)
Parc actif	unités	SELL, 2020 ; CNC, 2019	19 500 000	Hypothèse: parc constant depuis 2017

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	274 611	TCAM 19-25 : -2%
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	602	TCAM : -2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	22	TCAM : -2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	7	TCAM : -1,67%
Parc actif	unités	Mission	17 273 926	TCAM19-25 : -2%

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	202 819	TCAM 25-40 : -2%
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	445	TCAM : -2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	16	TCAM : -2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	6	TCAM : -1,67%
Parc actif	unités	Mission	12 757 988	TCAM19-25 : -2%

Hypothèse haute

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	CNC, 2020	310 000	-
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 020,0	valeur Centrale +20%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	37,0	valeur Centrale +20%
Consommation élec	kWh/an	Mission	10,6	Consommation d'une Nintendo Switch
Parc actif	unités	SELL, 2020 ; CNC, 2019	19 500 000	Hypothèse: parc constant depuis 2017

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	349 110	TCAM 19-25 : 2%
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 149	TCAM : +2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	42	TCAM : 2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	10	TCAM : -0,58%
Parc actif	unités	Mission	21 960 167	TCAM 19-25 : 2%

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	469 857	TCAM 25-40 : 2%
Durée	années	non estimé car non utilisé dans les calculs	-	non estimé car non utilisé dans les calculs
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 546	TCAM : +2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	56	TCAM : 2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	9	TCAM : -0,58%
Parc actif	unités	Mission	29 555 494	TCAM 19-25 : 2%

Imprimantes

Hypothèse centrale

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	SNESSII, 2020	3 592 427	Imprimantes commerciales (13595 imprimantes grand format ou de production exclues)
Durée de vie	années	ADEME, 2015	5,0	-
Energie primaire	MJ/unité	ADEME, 2018 (B)	2 900,0	-
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	142,6	Moyenne valeur Haute et Basse
Consommation élec	kWh/an	Mission	35,1	1 min d'impression par jour (consommation : 20 W) et le reste du temps en mode veille (4 W) ; 365 jours par an
Parc actif	unités	Mission	22 981 575	Déduit des ventes et de la durée d'utilisation

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	3 182 324	TCAM 19 - 40 : -2%
Durée de vie	années	Mission	5	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	3 218	Moyenne valeur Haute et Basse
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	150	Moyenne valeur Haute et Basse
Consommation élec	kWh/an	Mission	37	TCAM19-25 : 1%
Parc actif	unités	Mission	19 166 614	Moyenne valeur Haute et Basse

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	2 350 366	TCAM 19 - 40 : -2%
Durée de vie	années	Mission	5	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	3 567	Moyenne valeur Haute et Basse
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	178	Moyenne valeur Haute et Basse
Consommation élec	kWh/an	Mission	40	TCAM 25-40 : 0,5%
Parc actif	unités	Mission	14 833 537	Moyenne valeur Haute et Basse

Hypothèse basse

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	SNESSII, 2020	3 592 427	Imprimantes commerciales (13595 imprimantes grand format ou de production exclues)
Durée	années	ADEME, 2015	5,0	-
Energie primaire	MJ/unité	Mission	2 842,0	valeur Centrale -20%
Emissions amont	kgCO2e / u	ADEME, 2018	88,2	imprimante jet d'encre
Consommation élec	kWh/an	Life Cycle Assessment of an Inkjet Printer, 2012	13,5	1 min d'impression par jour (consommation : 20 W) et le reste du temps en mode veille (4 W) ; 365 jours par an
Parc actif	unités	Mission	21 832 496	valeur Centrale -5%

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	2 812 000	TCAM 19 - 40 : -4%
Durée	années	Mission	5	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	2 518	TCAM19-40 : -2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	78	TCAM 19-40 : -2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	14	TCAM19-25 : 0%
Parc actif	unités	Mission	17 184 215	TCAM19-40 : -2%

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	1 524 347	TCAM 19 - 40 : -4%
Durée	années	Mission	5	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 859	TCAM19-40 : -2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	58	TCAM 19-40 : -2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	14	TCAM 25-40 : 0%
Parc actif	unités	Mission	10 186 603	TCAM19-40 : -2%

Hypothèse haute

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	SNESSII, 2020	3 592 427	Imprimantes commerciales (13595 imprimantes grand format ou de production exclues)
Durée	années	ADEME, 2015	5,0	-
Energie primaire	MJ/unité	Mission	3 480,0	valeur Centrale +20%
Emissions amont	kgCO2e / u	ADEME, 2018	197,0	imprimante laser
Consommation élec	kWh/an	ADEME, 2015	71,0	Toute imprimante individuelle utilisée par un à plusieurs utilisateurs
Parc actif	unités	Mission	24 130 653	valeur Centrale +5%

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	3 592 427	TCAM 19 - 40 : 0%
Durée	années	Mission	5	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	3 919	TCAM19-40 : 2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	222	TCAM 19-40 : 2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	80	TCAM19-25 : 2%
Parc actif	unités	Mission	21 243 732	TCAM19-40 : 2%

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	3 592 427	TCAM 19 - 40 : 0%
Durée	années	Mission	5	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	5 275	TCAM19-40 : 2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	299	TCAM 19-40 : 2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	93	TCAM 25-40 : 1%
Parc actif	unités	Mission	21 243 732	TCAM19-40 : 2%

Casques de réalité virtuelle

Hypothèse centrale

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Realite-virtuelle.com, 11 2019	330 000	Cite l'étude de l'Idate "Le marché des technologies immersives (VR/AR/MR)", Laurent Michaud, 28 11 2019
Durée de vie	années	Andrae, 2017	3,0	Hypothèse
Energie primaire	MJ/unité	Andrae, 2017	252,0	-
Emissions amont	kgCO2e / u	Andrae, 2017	15,0	-
Consommation élec	kWh/an	Leng et al., 2019	1,8	Equipement d'une puissance de 5W utilisé 1h par jour en moyenne
Parc actif	unités	Mission	1 086 735	Moyenne Global Web Index et Idate DigiWorld, 2019

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	2 102 400	TCAM 2019-23 FR de 45% jusque 2023 puis 20%
Durée de vie	années	Mission	3	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	301	TCAM 19-40 : 3%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	16	TCAM 19-40 : 1,5%
Consommation élec	kWh/an	Mission	1	Potentiel de réduction de la consommation énergétique de 42% grâce à la technologie EVR (Leng et al., 2019) atteint pour la moitié des modèles actifs en en 2025
Parc actif	unités	Mission	5 314 400	Ventes cumulées sur la durée de vie

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	7 723 657	0
Durée de vie	années	Mission	3	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	469	TCAM 19-40 : 3%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	21	TCAM 19-40 : 1,5%
Consommation élec	kWh/an	Mission	1	Poursuite de tendance
Parc actif	unités	Mission	21 941 086	Parc calculé selon la projection du taux d'équipement (50% en 2040)

Hypothèse basse

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	260 000	valeur Centrale -20%
Durée	années	Andrae, 2017	3,0	-
Energie primaire	MJ/unité	Mission	226,8	valeur Centrale -10%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	13,5	valeur Centrale -10%
Consommation élec	kWh/an	Leng et al., 2019	1,4	valeur Centrale -20%
Parc actif	unités	Idate DigiWorld, 2019	700 000	Selon ventes cumulées et durée de vie

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	1 344 003	TCAM 2018-23 Monde de 37% puis 20%
Durée	années	Mission	3	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	255	TCAM 19-40 : 2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	14	TCAM 19-40 : 1%
Consommation élec	kWh/an	Mission	1	Réduction de la consommation énergétique de 42% grâce à la technologie EVR (Leng et al., 2019) généralisée en 2025
Parc actif	unités	Mission	3 397 340	Ventes cumulées sur la durée de vie

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	3 905 883	0
Durée	années	Mission	3	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	344	TCAM 19-40 : 2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	17	TCAM 19-40 : 1%
Consommation élec	kWh/an	Mission	0	Poursuite de tendance
Parc actif	unités	Mission	10 970 543	Parc calculé selon la projection du taux d'équipement (25% en 2040)

Hypothèse haute

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	400 000	valeur Centrale +20%
Durée	années	Andrae, 2017	3,0	-
Energie primaire	MJ/unité	Mission	277,2	valeur Centrale +10%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	16,5	valeur Centrale +10%
Consommation élec	kWh/an	Leng et al., 2019	2,2	valeur Centrale +20%
Parc actif	unités	Global Web Index, 2020	1 473 470	3,7% des internautes français de 16 à 64 ans possédaient un casque VR en Q3 2019

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	3 079 923	TCAM 2019-23 FR de 45% jusque 2024 puis 20%
Durée	années	Mission	3	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	351	TCAM 19-40 : 4%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	19	TCAM 19-40 : 2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	2	Potentiel de réduction de la consommation énergétique de 42% grâce à la technologie EVR (Leng et al., 2019) atteint pour le tiers des modèles actifs en en 2025
Parc actif	unités	Mission	7 416 223	Ventes cumulées sur la durée de vie

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	11 698 461	0
Durée	années	Mission	3	Constant
Energie primaire	MJ/unité	Mission	632	TCAM 19-40 : 4%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	25	TCAM 19-40 : 2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	1	Poursuite de tendance
Parc actif	unités	Mission	32 911 629	Parc calculé selon la projection du taux d'équipement (75% en 2040)

Enceintes connectées

Hypothèse centrale

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	910 633	Ecart N et N-1
Durée de vie	années	Mission	5,0	-
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 368,0	-
Emissions amont	kgCO2e / u	Apple, 2018	86,1	Apple HomePod
Consommation élec	kWh/an	Mission	43,8	-
Parc actif	unités	Mission	2 484 956	Moyenne valeur Haute et Basse

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	2 827 434	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée de vie	années	Mission	5	2019-2025 : -0,5 an
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 409	Moyenne valeur Haute et Centrale
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	87	Moyenne valeur Haute et Centrale
Consommation élec	kWh/an	Mission	44	Constant
Parc actif	unités	Mission	8 244 875	Basé sur le taux d'équipement (Moyenne valeur Haute et Basse)

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	7 423 152	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée de vie	années	Mission	4	2025-2040 : -0,5 an
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 602	Moyenne valeur Haute et Centrale
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	96	Moyenne valeur Haute et Centrale
Consommation élec	kWh/an	Mission	44	Constant
Parc actif	unités	Mission	24 865 588	Basé sur le taux d'équipement (Moyenne valeur Haute et Basse)

Hypothèse basse

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	611 240	Ecart N et N-1
Durée	années	Mission	5,0	-
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 094,4	Valeur Centrale -20%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	80,0	-
Consommation élec	kWh/an	Mission	35,0	Valeur Centrale -20%
Parc actif	unités	Mission	2 185 564	Poursuite de la tendance passée

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	1 767 721	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée	années	Mission	6	2019-2025 : +0,5 an
Energie primaire	MJ/unité	Mission	969	TCAM 19-40 : -2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	71	TCAM 19-40 : -2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	35	Constant
Parc actif	unités	Mission	6 050 421	Basé sur le taux d'équipement (+ 2 points de taux d'équipement des ménages par an)

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	3 674 185	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée	années	Mission	6	2025-2040 : +0,5 an
Energie primaire	MJ/unité	Mission	716	TCAM 19-40 : -2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	52	TCAM 19-40 : 2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	35	Constant
Parc actif	unités	Mission	17 193 177	Basé sur le taux d'équipement (+ 2 points de taux d'équipement des ménages par an)

Hypothèse haute

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	1 210 025	Ecart N et N-1
Durée	années	Mission	5,0	-
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 641,6	Valeur Centrale +20%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	92,3	Ecart valeur Basse et Centrale ajouté à la valeur centrale pour obtenir la valeur Haute
Consommation élec	kWh/an	Mission	52,6	Valeur Centrale +20%
Parc actif	unités	Mission	2 784 348	Poursuite de la tendance passée

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	4 305 499	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée	années	Mission	4	2019-2025 : -1,5 an
Energie primaire	MJ/unité	Mission	1 849	TCAM 19-40 : 2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	104	TCAM 19-40 : 2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	53	Constant
Parc actif	unités	Mission	10 439 328	Basé sur le taux d'équipement (+ 4 points de taux d'équipement des ménages par an)

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	12 450 854	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée	années	Mission	3	2025-2040 : -0,5 an
Energie primaire	MJ/unité	Mission	2 488	TCAM 19-40 : 2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	140	TCAM 19-40 : 2%
Consommation élec	kWh/an	Mission	53	Constant
Parc actif	unités	Mission	32 538 000	Basé sur le taux d'équipement (+ 4 points de taux d'équipement des ménages par an)

Ecrans publicitaires

Hypothèse centrale

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	230 000	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée de vie	années	CGE, 2019	5	1000000/200000 = 5
Energie primaire	MJ/unité	ADEME, 2018 (B)	4 838,7	Ecrans publicitaire de taille moyenne d'environ 75 pouces (1,89m) ; l'énergie primaire et les émissions de GES amonts des écrans sont presque proportionnels selon l'ADEME
Emissions amont	kgCO2e / u	CGE, 2019	800	kg CO2e/u 2018 (page 52)
Consommation élec	kWh/an	CGE, 2019	1 500	consommation 2018 (page 51)
Parc actif	unités	Mission	1 025 000	parc 2018 + 2,5%

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	293 145	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée de vie	années	Mission	5	2019-2025 : -0,5 an d'utilisation
Energie primaire	MJ/unité	Mission	4 984	Moyenne valeur Haute et Basse
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	893	moyenne valeur Haute et Basse
Consommation élec	kWh/an	Mission	1 500	TCAM19-40 : 0%
Parc actif	unités	Mission	1 188 686	TCAM19-25 : 2,5%

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	472 382	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée de vie	années	Mission	4	2025-2040 : -0,5 an d'utilisation
Energie primaire	MJ/unité	Mission	5 667	Moyenne valeur Haute et Basse
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	1 213	moyenne valeur Haute et Basse
Consommation élec	kWh/an	Mission	1 500	TCAM19-40 : 0%
Parc actif	unités	Mission	1 721 571	TCAM25-40 : 5%

Hypothèse basse

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	200 000	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée	années	CGE, 2019	5,0	1000000/200000 = 5
Energie primaire	MJ/unité	Mission	3 871,0	Valeur centrale -20%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	640,0	Valeur centrale -20%
Consommation élec	kWh/an	Mission	1 200,0	Valeur centrale -20%
Parc actif	unités	CGE, 2019	1 000 000	parc 2018

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	181 818	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée	années	Mission	6	2019-2025 : +0,5 an d'utilisation
Energie primaire	MJ/unité	Mission	3 429	TCAM19-40 : -2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	640	TCAM 19-40 : 0% (Hausse présumée de la taille moyenne des écrans)
Consommation élec	kWh/an	Mission	1 063	TCAM19-40 : -2%
Parc actif	unités	Mission	1 000 000	TCAM19-25 : 0%

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	166 667	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée	années	Mission	6	2025-2040 : +0,5 an d'utilisation
Energie primaire	MJ/unité	Mission	2 533	TCAM19-40 : -2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	640	TCAM 19-40 : 0% (Hausse présumée de la taille moyenne des écrans)
Consommation élec	kWh/an	Mission	785	TCAM19-40 : -2%
Parc actif	unités	Mission	1 000 000	TCAM : 0%

Hypothèse haute

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	260 000	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée	années	CGE, 2019	5,0	1000000/200000 = 5
Energie primaire	MJ/unité	Mission	5 806,5	Valeur centrale +20%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	960,0	Valeur centrale +20%
Consommation élec	kWh/an	Mission	1 800,0	Valeur centrale +20%
Parc actif	unités	Mission	1 050 000	parc 2018 + 5%

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	418 780	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée	années	Mission	4	2019-2025 : -1 an d'utilisation
Energie primaire	MJ/unité	Mission	6 539	TCAM19-40 : 2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	1 146	TCAM 19-40 : 3% (Hausse présumée de la taille moyenne des écrans)
Consommation élec	kWh/an	Mission	2 027	TCAM19-40 : +2%
Parc actif	unités	Mission	1 407 100	TCAM19-25 : 5%

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Ventes	unités	Mission	1 114 385	Ecart N et N-1 + renouvellement du parc
Durée	années	Mission	3	2025-2040 : -1 an d'utilisation
Energie primaire	MJ/unité	Mission	8 801	TCAM19-40 : 2%
Emissions amont	kgCO2e / u	Mission	1 786	TCAM 19-40 : 3% (Hausse présumée de la taille moyenne des écrans)
Consommation élec	kWh/an	Mission	2 728	TCAM19-40 : +2%
Parc actif	unités	Mission	2 925 261	TCAM25-40 : 5%

Juin 2020

Réseaux

Hypothèse centrale

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Part d'énergie primaire en phase amont	%	GreenIT, 2019	13%	Ratio mondial : EpP/(EpP + EpU) ; la littérature consultée oscille entre 2 et 15%
Scope 1 Orange	tCO2	Rapports annuels	130 032	Moyenne 2015-18
Scope 1 Free	tCO2	Rapports annuels	10 110	Moyenne 2015-18
Scope 1 Bouygues	tCO2	Rapports annuels	12 000	Moyenne 2015-18
Scope 1 SFR	tCO2	Mission	16 528	Déclarations inexploitable donc extrapolation à partir des émissions moyennes des opérateurs selon les effectifs
Scope 1 TDF	tCO2	Mission	2 786	Déclarations inexploitable donc extrapolation à partir des émissions moyennes des opérateurs selon les effectifs
Part des autres opérateurs en scope 1	%	CGE, 2019	7%	Consommation télécom de TDF en 2018 sur le total
Appels (depuis/vers) mobiles	millions de minutes	Arcep 2020	189 150,50	
Intensité données des appels mobiles	Tera octets/ Million de minutes	Mission	1,00	
Données 3G	EB	Arcep 2020	341 308,60	
Données 4G	EB	Arcep 2020	5 179 998,44	
Données 5G	EB	Mission	-	Réseau pas encore déployé
Données cable	EB	Cisco, 2017	19 919 640	
Données WiFi	EB	Cisco, 2017	23 592 960	
Croissance annuelle du trafic mobile	%	Arcep, 2020	43%	Observation
Croissance annuelle du trafic fixe (cable)	%	Cisco VNI, 2017	13%	Prévision
Croissance annuelle du trafic fixe (WiFi)	%	Cisco VNI, 2017	28%	Prévision
Intensité électrique 2G	TWh / EB	Mission	4,6	Calibré à partir de la consommation mobile totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Intensité électrique 3G	TWh / EB	Mission	2,139	Calibré à partir de la consommation mobile totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Intensité électrique 4G	TWh / EB	Mission	0,089	Calibré à partir de la consommation mobile totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Intensité électrique cable	TWh / EB	Mission	0,033	Calibré à partir de la consommation fixe totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Intensité électrique WiFi	TWh / EB	Mission	0,033	Calibré à partir de la consommation fixe totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Intensité électrique réseaux mobiles	TWh / EB	Mission	0,375	Calibré à partir de la consommation mobile totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Gains d'efficacité énergétique fixe (cable)	%	Mission	18%	Calibré à partir de la consommation mobile totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Gains d'efficacité énergétique fixe (wifi)	%	Mission	11%	Calibré à partir de la consommation mobile totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Nombre de sites opérateurs 2G	unités	Arcep, série sites opérateurs mobiles 2017-20 ; ANFR, L'observatoire 2020	62404	Recoupements ANFR-ARCEP ; DOM-COM inclus
Nombre de sites opérateurs 3G	unités	Arcep, série sites opérateurs mobiles 2017-20 ; ANFR, L'observatoire 2020	84 359	Recoupements ANFR-ARCEP ; DOM-COM inclus
Nombre de sites opérateurs 4G	unités	Arcep, série sites opérateurs mobiles 2017-20 ; ANFR, L'observatoire 2020	74328	Recoupements ANFR-ARCEP ; DOM-COM inclus
Nombre de sites opérateurs 5G	unités	Arcep, 2019 ; Tactis, 2020	0	Pas de site en activité hors expérimentation
Consommation électrique par site 2G	kWh/an	Mission	13 943	Consommation passée des réseaux / Nombre de sites
Consommation électrique par site 3G	kWh/an	Mission	8 654	Consommation passée des réseaux / Nombre de sites
Consommation électrique par site 4G	kWh/an	Mission	6 203	Consommation passée des réseaux / Nombre de sites
Consommation électrique par site 5G	kWh/an	Mission	12 405	2 fois la consommation d'un site 4G
Ratio trafic / bande passante		Mission	1,5	Calcul à partir du CGE

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Part d'énergie primaire en phase amont	%	Mission	13%	
Scope 1 Orange	tCO2	Mission	128 988	Projection linéaire du total puis répartition par opérateur ; intervalle de confiance de 15 000 t en 2020 puis croissant
Scope 1 Free	tCO2	Mission	10 028	Projection linéaire du total puis répartition par opérateur ; intervalle de confiance de 15 000 t en 2020 puis croissant
Scope 1 Bouygues	tCO2	Mission	11 904	Projection linéaire du total puis répartition par opérateur ; intervalle de confiance de 15 000 t en 2020 puis croissant
Scope 1 SFR	tCO2	Mission	16 396	Projection linéaire du total puis répartition par opérateur ; intervalle de confiance de 15 000 t en 2020 puis croissant
Scope 1 TDF	tCO2	Mission	2 763	Projection linéaire du total puis répartition par opérateur ; intervalle de confiance de 15 000 t en 2020 puis croissant
Part des autres opérateurs en scope 1		Mission	7%	Constant
Croissance annuelle du trafic mobile	%	Mission	46%	Hypothèse rythme d'évolution à +/-2% celui en 2019 et constant jusque 2030
Croissance annuelle du trafic fixe (cable)	%	Mission	15%	Constant
Croissance annuelle du trafic fixe (WiFi)	%	Mission	30%	Rythme constant
Gains d'efficacité énergétique fixe (cable)	%	Mission	14%	Hypothèse d'une poursuite du ralentissement des gains d'efficacité +/-0,5% ; recoupé avec perspectives Cisco
Gains d'efficacité énergétique fixe (wifi)	%	Mission	15%	WiFi 6 arrive vers 2022, au moment de la 5G environ, donc les gains d'efficacité devraient s'accroître
Nombre de sites opérateurs 2G	unités	Mission	0	Arrêt de la 2G envisagé et souhaité par Orange en 2025 (Les Echos, 01.02.2020) qui se réalise plus ou moins vite en hypothèses centrales et basses, ou au contraire poursuite de la 2G jusque 2040 au moins avec une baisse tendancielle de 2% par an
Nombre de sites opérateurs 3G	unités	Mission	95 151	
Nombre de sites opérateurs 4G	unités	Mission	88936	Nombre de sites opérateurs actifs en croissance linéaire jusqu'à atteindre le nombre de site autorisés mi-2020 en 2025 (+/-2% de déviation annuelle en Haut et Bas)
Nombre de sites opérateurs 5G	unités	Mission	42000	cf supra
Consommation électrique par site 2G	kWh/an	Mission	14 265	Hypothèse conservatrice de stabilité
Consommation électrique par site 3G	kWh/an	Mission	9 004	Hypothèse conservatrice de stabilité
Consommation électrique par site 4G	kWh/an	Mission	6 610	Hypothèse conservatrice de stabilité
Consommation électrique par site 5G	kWh/an	Mission	13 220	Hypothèse conservatrice de stabilité
Ratio trafic / bande passante		Mission	1,5	

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Part d'énergie primaire en phase amont	%	Mission	13%	
Scope 1 Orange	tCO2	Mission	125 750	
Scope 1 Free	tCO2	Mission	9 777	
Scope 1 Bouygues	tCO2	Mission	11 605	
Scope 1 SFR	tCO2	Mission	15 984	
Scope 1 TDF	tCO2	Mission	2 694	
Part des autres opérateurs en scope 1		Mission	7%	Constant
Croissance annuelle du trafic mobile	%	Mission	32%	Baisse progressive à partir de 2030 ; marge d'erreur +/-2%
Croissance annuelle du trafic fixe (cable)	%	Mission	15%	Constant
Croissance annuelle du trafic fixe (WiFi)	%	Mission	20%	Ralentissement plus ou moins fort à partir de 2030
Gains d'efficacité énergétique mobile	%	Mission	0,22	Gains EE entre 2017 et 2019 environ
Gains d'efficacité énergétique fixe (cable)	%	Mission	14%	Hypothèse d'une poursuite du ralentissement des gains d'efficacité +/-0,5% ; recoupé avec perspectives Cisco
Gains d'efficacité énergétique fixe (wifi)	%	Mission	15%	WiFi 6 arrive vers 2022, au moment de la 5G environ, donc les gains d'efficacité devraient s'accroître
Nombre de sites opérateurs 2G	unités	Mission	0	Arrêt de la 2G envisagé et souhaité par Orange en 2025 (Les Echos, 01.02.2020) qui se réalise plus ou moins vite en hypothèses centrales et basses, ou au contraire poursuite de la 2G jusque 2040 au moins avec une baisse tendancielle de 2% par an
Nombre de sites opérateurs 5G	unités	Mission	0	Approche différente : à partir de l'intensité électrique selon le volume de données mobiles
Ratio trafic / bande passante		Mission	1,5	

Hypothèse basse

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Part d'énergie primaire en phase amont	%	Andrae, 2020	6%	Ratio mondial : EpP/(EpP + EpU) ; la littérature consultée oscille entre 2 et 15%
Scope 1 Orange	tCO2	Rapports RSE annuels	130 032	
Scope 1 Free	tCO2	Rapports RSE annuels	10 110	
Scope 1 Bouygues	tCO2	Rapports RSE annuels	12 000	
Scope 1 SFR	tCO2	Rapports RSE annuels	16 528	
Scope 1 TDF	tCO2	Rapports RSE annuels	2 786	
Part des autres opérateurs en scope 1	%	CGE, 2019 ; Mission	5%	Consommation télécom de TDF en 2018 sur le total des réseaux -2% de marge d'erreur
Appels (depuis/vers) mobiles	millions de minutes	Arcep 2020	189 150,50	-
Intensité données des appels mobiles	Tera octets/ Million de minutes	Mission	0,90	1 ko par minute d'appel +/- 10%
Données 3G	EB	Arcep 2020	341 308,60	-
Données 4G	EB	Arcep 2020	5 179 998,44	-
Données 5G	EB	Mission	-	Réseau pas encore déployé
Données cable	EB	Cisco, 2017	19 919 640	
Données WiFi	EB	Cisco, 2017	23 592 960	
Croissance annuelle du trafic mobile	%	Arcep, 2020	43%	Observation
Croissance annuelle du trafic fixe (cable)	%	Cisco VNI, 2017	13%	Prévision
Croissance annuelle du trafic fixe (WiFi)	%	Cisco VNI, 2017	28%	Prévision
Intensité électrique 2G	TWh / EB	Mission	4,6	Calibré à partir de la consommation mobile totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Intensité électrique 3G	TWh / EB	Mission	2,139	Calibré à partir de la consommation mobile totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Intensité électrique 4G	TWh / EB	Mission	0,089	Calibré à partir de la consommation mobile totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Intensité électrique cable	TWh / EB	Mission	0,033	Calibré à partir de la consommation fixe totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Intensité électrique WiFi	TWh / EB	Mission	0,033	Calibré à partir de la consommation fixe totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Intensité électrique réseaux mobiles	TWh / EB	Mission	0,375	Calibré à partir de la consommation mobile totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Gains d'efficacité énergétique fixe (cable)	%	Mission	18%	Calibré à partir de la consommation mobile totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Gains d'efficacité énergétique fixe (wifi)	%	Mission	11%	Calibré à partir de la consommation mobile totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Nombre de sites opérateurs 2G	unités	Arcep, série sites opérateurs mobiles 2017-20 ; ANFR, L'observatoire 2020	62404	Recoupements ANFR-ARCEP ; DOM-COM inclus
Nombre de sites opérateurs 3G	unités	Arcep, série sites opérateurs mobiles 2017-20 ; ANFR, L'observatoire 2020	84 359	Recoupements ANFR-ARCEP ; DOM-COM inclus
Nombre de sites opérateurs 4G	unités	Arcep, série sites opérateurs mobiles 2017-20 ; ANFR, L'observatoire 2020	74328	Recoupements ANFR-ARCEP ; DOM-COM inclus
Nombre de sites opérateurs 5G	unités	Arcep, 2019 ; Tactis, 2020	0	Pas de site en activité hors expérimentation
Consommation électrique par site 2G	kWh/an	Mission	13 943	Consommation passée des réseaux / Nombre de sites
Consommation électrique par site 3G	kWh/an	Mission	8 654	Consommation passée des réseaux / Nombre de sites
Consommation électrique par site 4G	kWh/an	Mission	6 203	Consommation passée des réseaux / Nombre de sites
Consommation électrique par site 5G	kWh/an	Mission	12 405	2 fois la consommation d'un site 4G
Ratio trafic / bande passante		Mission	1,5	Calcul à partir du CGE

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Part d'énergie primaire en phase amont	%	Mission	6%	
Scope 1 Orange	tCO2	Mission	122 527	Projection linéaire du total puis répartition par opérateur ; intervalle de confiance de 15 000 t en 2020 puis croissant
Scope 1 Free	tCO2	Mission	9 526	Projection linéaire du total puis répartition par opérateur ; intervalle de confiance de 15 000 t en 2020 puis croissant
Scope 1 Bouygues	tCO2	Mission	11 307	Projection linéaire du total puis répartition par opérateur ; intervalle de confiance de 15 000 t en 2020 puis croissant
Scope 1 SFR	tCO2	Mission	15 574	Projection linéaire du total puis répartition par opérateur ; intervalle de confiance de 15 000 t en 2020 puis croissant
Scope 1 TDF	tCO2	Mission	2 625	Projection linéaire du total puis répartition par opérateur ; intervalle de confiance de 15 000 t en 2020 puis croissant
Part des autres opérateurs en scope 1		Mission	5%	Constant
Croissance annuelle du trafic mobile	%	Mission	43%	Hypothèse rythme d'évolution à +/-2% celui en 2019 et constant jusque 2030
Croissance annuelle du trafic fixe (cable)	%	Mission	14%	Constant
Croissance annuelle du trafic fixe (WiFi)	%	Mission	28%	Rythme constant
Gains d'efficacité énergétique fixe (cable)	%	Mission	15%	Hypothèse d'une poursuite du ralentissement des gains d'efficacité +/-0,5% ; recoupé avec perspectives Cisco
Gains d'efficacité énergétique fixe (wifi)	%	Mission	16%	WiFi 6 arrive vers 2022, au moment de la 5G environ, donc les gains d'efficacité devraient s'accélérer
Nombre de sites opérateurs 2G	unités	Mission	0	Arrêt de la 2G envisagé et souhaité par Orange en 2025 (Les Echos, 01.02.2020) qui se réalise plus ou moins vite en hypothèses centrales et basses, ou au contraire poursuite de la 2G jusque 2040 au moins avec une baisse tendancielle de 2% par an
Nombre de sites opérateurs 3G	unités	Mission	85 636	
Nombre de sites opérateurs 4G	unités	Mission	80042	Nombre de sites opérateurs actifs en croissance linéaire jusqu'à atteindre le nombre de site autorisés mi-2020 en 2025 (+/-2% de déviation annuelle en Haut et Bas)
Nombre de sites opérateurs 5G	unités	Mission	37800	cf supra
Consommation électrique par site 2G	kWh/an	Mission	13 745	Hypothèse conservatrice de stabilité
Consommation électrique par site 3G	kWh/an	Mission	8 599	Hypothèse conservatrice de stabilité
Consommation électrique par site 4G	kWh/an	Mission	6 203	Hypothèse conservatrice de stabilité
Consommation électrique par site 5G	kWh/an	Mission	12 405	Hypothèse conservatrice de stabilité
Ratio trafic / bande passante		Mission	1,5	

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Part d'énergie primaire en phase amont	%	Mission	6%	
Scope 1 Orange	tCO2	Mission	117 235	
Scope 1 Free	tCO2	Mission	9 115	
Scope 1 Bouygues	tCO2	Mission	10 819	
Scope 1 SFR	tCO2	Mission	14 902	
Scope 1 TDF	tCO2	Mission	2 512	
Part des autres opérateurs en scope 1	%	Mission	5%	Constant
Croissance annuelle du trafic mobile	%	Mission	29%	Baisse progressive à partir de 2030 ; marge d'erreur +/-2%
Croissance annuelle du trafic fixe (cable)	%	Mission	14%	Constant
Croissance annuelle du trafic fixe (WiFi)	%	Mission	18%	Ralentissement plus ou moins fort à partir de 2030
Gains d'efficacité énergétique mobile	%	Mission	0,25	Gains EE annuels moyens 2015 à 2019
Gains d'efficacité énergétique fixe (cable)	%	Mission	15%	Hypothèse d'une poursuite du ralentissement des gains d'efficacité +/-0,5% ; recoupé avec perspectives Cisco
Gains d'efficacité énergétique fixe (wifi)	%	Mission	16%	WiFi 6 arrive vers 2022, au moment de la 5G environ, donc les gains d'efficacité devraient s'accélérer
Nombre de sites opérateurs 2G	unités	Mission	0	Arrêt de la 2G envisagé et souhaité par Orange en 2025 (Les Echos, 01.02.2020) qui se réalise plus ou moins vite en hypothèses centrales et basses, ou au contraire poursuite de la 2G jusque 2040 au moins avec une baisse tendancielle de 2% par an
Nombre de sites opérateurs 3G	unités	Mission	-	
Nombre de sites opérateurs 4G	unités	Mission	0	Approche différente : à partir de l'intensité électrique selon le volume de données mobiles
Nombre de sites opérateurs 5G	unités	Mission	0	Approche différente : à partir de l'intensité électrique selon le volume de données mobiles
Ratio trafic / bande passante		Mission	1,5	

Hypothèse haute

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Part d'énergie primaire en phase amont	%	Andrae, 2017	15%	Ratio mondial : $EpP/(EpP + EpU)$; la littérature consultée oscille entre 2 et 15%
Scope 1 Orange	tCO2	Rapports annuels	130 032	
Scope 1 Free	tCO2	Rapports annuels	10 110	
Scope 1 Bouygues	tCO2	Rapports annuels	12 000	
Scope 1 SFR	tCO2	Rapports annuels	16 528	
Scope 1 TDF	tCO2	Rapports annuels	2 786	
Part des autres opérateurs en scope 1	%	CGE, 2019	10%	Consommation totale de TDF en 2018 sur le total réseaux
Appels (depuis/vers) mobiles	millions de minutes	Arcep 2020	189 150,50	-
Intensité données des appels mobiles	Tera octets/ Million de minutes	Mission	1,10	-
Données 3G	EB	Arcep 2020	341 308,60	-
Données 4G	EB	Arcep 2020	5 179 998,44	-
Données cable	EB	Cisco, 2017	19 919 640	
Données WiFi	EB	Cisco, 2017	23 592 960	
Croissance annuelle du trafic mobile	%	Arcep, 2020	43%	Observation
Croissance annuelle du trafic fixe (cable)	%	Cisco VNI, 2017	13%	Prévision
Croissance annuelle du trafic fixe (WiFi)	%	Cisco VNI, 2017	28%	Prévision
Intensité électrique 2G	TWh / EB	Mission	4,6	Calibré à partir de la consommation mobile totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Intensité électrique 3G	TWh / EB	Mission	2,139	Calibré à partir de la consommation mobile totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Intensité électrique 4G	TWh / EB	Mission	0,089	Calibré à partir de la consommation mobile totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Intensité électrique cable	TWh / EB	Mission	0,033	Calibré à partir de la consommation fixe totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Intensité électrique WiFi	TWh / EB	Mission	0,033	Calibré à partir de la consommation fixe totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Intensité électrique réseaux mobiles	TWh / EB	Mission	0,375	Calibré à partir de la consommation mobile totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Gains d'efficacité énergétique fixe (cable)	%	Mission	18%	Calibré à partir de la consommation mobile totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Gains d'efficacité énergétique fixe (wifi)	%	Mission	11%	Calibré à partir de la consommation mobile totale (opérateurs), évolution de la couverture géographique (Arcep), nombre de sites actifs par technologie (ANFR) et puissances moyennes de sites (littérature académique et documents industriels)
Nombre de sites opérateurs 2G	unités	Arcep, série sites opérateurs mobiles 2017-20 ; ANFR, L'observatoire 2020	62404	Recoupements ANFR-ARCEP ; DOM-COM inclus
Nombre de sites opérateurs 3G	unités	Arcep, série sites opérateurs mobiles 2017-20 ; ANFR, L'observatoire 2020	84 359	Recoupements ANFR-ARCEP ; DOM-COM inclus
Nombre de sites opérateurs 4G	unités	Arcep, série sites opérateurs mobiles 2017-20 ; ANFR, L'observatoire 2020	74328	Recoupements ANFR-ARCEP ; DOM-COM inclus
Nombre de sites opérateurs 5G	unités	Arcep, 2019 ; Tactis, 2020	0	
Consommation électrique par site 2G	kWh/an	Mission	13 943	Consommation passée des réseaux / Nombre de sites
Consommation électrique par site 3G	kWh/an	Mission	8 654	Consommation passée des réseaux / Nombre de sites
Consommation électrique par site 4G	kWh/an	Mission	6 203	Consommation passée des réseaux / Nombre de sites
Consommation électrique par site 5G	kWh/an	Mission	12 405	2 fois la consommation d'un site 4G
Ratio trafic / bande passante		Mission	1,5	Calcul à partir du CGE

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Part d'énergie primaire en phase amont	%	Mission	15%	
Scope 1 Orange	tCO2	Mission	135 450	Projection linéaire du total puis répartition par opérateur ; intervalle de confiance de 15 000 t en 2020 puis croissant
Scope 1 Free	tCO2	Mission	10 531	Projection linéaire du total puis répartition par opérateur ; intervalle de confiance de 15 000 t en 2020 puis croissant
Scope 1 Bouygues	tCO2	Mission	12 500	Projection linéaire du total puis répartition par opérateur ; intervalle de confiance de 15 000 t en 2020 puis croissant
Scope 1 SFR	tCO2	Mission	17 217	Projection linéaire du total puis répartition par opérateur ; intervalle de confiance de 15 000 t en 2020 puis croissant
Scope 1 TDF	tCO2	Mission	2 902	Projection linéaire du total puis répartition par opérateur ; intervalle de confiance de 15 000 t en 2020 puis croissant
Part des autres opérateurs en scope 1	%	Mission	10%	Constant
Croissance annuelle du trafic mobile	%	Mission	49%	Hypothèse rythme d'évolution à +/-2% celui en 2019 et constant jusque 2030
Croissance annuelle du trafic fixe (cable)	%	Mission	16%	Constant
Croissance annuelle du trafic fixe (WiFi)	%	Mission	35%	Rythme constant
Gains d'efficacité énergétique fixe (cable)	%	Mission	14%	Hypothèse d'une poursuite du ralentissement des gains d'efficacité +/-0,5% ; recoupé avec perspectives Cisco
Gains d'efficacité énergétique fixe (wifi)	%	Mission	15%	WiFi 6 arrive vers 2022, au moment de la 5G environ, donc les gains d'efficacité devraient s'accélérer
Nombre de sites opérateurs 2G	unités	Mission	58 752	Arrêt de la 2G envisagé et souhaité par Orange en 2025 (Les Echos, 01.02.2020) qui se réalise plus ou moins vite en hypothèses centrales et basses, ou au contraire poursuite de la 2G jusque 2040 au moins avec une baisse tendancielle de 2% par an
Nombre de sites opérateurs 3G	unités	Mission	104 666	
Nombre de sites opérateurs 4G	unités	Mission	97 830	Nombre de sites opérateurs actifs en croissance linéaire jusqu'à atteindre le nombre de site autorisés mi-2020 en 2025 (+/-2% de déviation annuelle en Haut et Bas)
Nombre de sites opérateurs 5G	unités	Mission	46 200,0	
Consommation électrique par site 2G	kWh/an	Mission	15 107	Hypothèse conservatrice de stabilité
Consommation électrique par site 3G	kWh/an	Mission	9 760	Hypothèse conservatrice de stabilité
Consommation électrique par site 4G	kWh/an	Mission	7 171	Hypothèse conservatrice de stabilité
Consommation électrique par site 5G	kWh/an	Mission	14 342	Hypothèse conservatrice de stabilité
Ratio trafic / bande passante		Mission	1,5	

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Part d'énergie primaire en phase amont	%	Mission	15%	
Scope 1 Orange	tCO2	Mission	134 264	
Scope 1 Free	tCO2	Mission	10 439	
Scope 1 Bouygues	tCO2	Mission	12 391	
Scope 1 SFR	tCO2	Mission	17 066	
Scope 1 TDF	tCO2	Mission	2 876	
Part des autres opérateurs en scope 1	%	Mission	10%	Constant
Croissance annuelle du trafic mobile	%	Mission	35%	Baisse progressive à partir de 2030 ; marge d'erreur +/-2%
Croissance annuelle du trafic fixe (cable)	%	Mission	16%	Constant
Croissance annuelle du trafic fixe (WiFi)	%	Mission	25%	Ralentissement plus ou moins fort à partir de 2030
Gains d'efficacité énergétique mobile	%	Mission	0,22	Poursuite d'un léger ralentissement des gains EE
Gains d'efficacité énergétique fixe (cable)	%	Mission	14%	Hypothèse d'une poursuite du ralentissement des gains d'efficacité +/-0,5% ; recoupé avec perspectives Cisco
Gains d'efficacité énergétique fixe (wifi)	%	Mission	15%	WiFi 6 arrive vers 2022, au moment de la 5G environ, donc les gains d'efficacité devraient s'accélérer
Nombre de sites opérateurs 2G	unités	Mission		Arrêt de la 2G envisagé et souhaité par Orange en 2025 (Les Echos, 01.02.2020) qui se réalise plus ou moins vite en hypothèses centrales et basses, ou au contraire poursuite de la 2G jusque 2040 au moins avec une baisse tendancielle de 2% par an
Nombre de sites opérateurs 4G	unités	Mission		Approche différente : à partir de l'intensité électrique selon le volume de données mobiles
Ratio trafic / bande passante		Mission	1,5	

Centres Informatiques

Hypothèse centrale

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Intensité carbone de l'électricité des DC étrangers	kgCO2e / kWh	IEA, 2019	0,49	Moyenne pour la génération électrique aux Etats-Unis en 2018
Efficacité énergétique à l'étranger	TWh/EB	Mission	0,00714	Calcul aux Etats-Unis
Ratio trafic IP utilisateurs / Trafic IP entre et vers data centers	%	Cisco VNI, 2017 ; Cisco GCI, 2018	0,15	Ratio entre types de trafic sur les réseaux relativement constant
Gains d'efficacité énergétique des DC classiques en France	%	Mission	17%	Calibré à partir de l'évolution du trafic DC en France (Arcep et Cisco) et l'évolution de la consommation électrique des DC (recoupements de sources multiples)
Efficacité énergétique des hyperdatacenters	TWh/EB	LBNL, 2016 ; Cisco GCI, 2018	0,0000	Pas de site en activité hors expérimentation
Baisse de proportion des DC classiques	%	Mission	0%	Afin de rendre compte de l'arrivée des hyperdatacenters

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Intensité carbone de l'électricité des DC étrangers	kgCO2e / kWh	Mission	0,44	Moins 2% par an
Efficacité énergétique à l'étranger	TWh/EB	Mission	0,00251	Gains d'efficacité de 20% par an +/- 2%
Ratio trafic IP utilisateurs / Trafic IP entre et vers data centers	%	Mission	0,15	Constant
Gains d'efficacité énergétique des DC classiques en France	%	Mission	17%	Rythme constant
Efficacité énergétique des hyperdatacenters	TWh/EB	Mission	0,0026	Gains d'efficacité de 20% par an +/- 2%
Baisse de proportion des DC classiques	%	Mission	5%	Le trafic edge computing modère la baisse de proportion

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Intensité carbone de l'électricité des DC étrangers	kgCO2e / kWh	Mission	0,32	Moins 2% par an
Efficacité énergétique à l'étranger	TWh/EB	Mission	0,00023	Ralentissement des gains d'efficacité
Ratio trafic IP utilisateurs / Trafic IP entre et vers data centers	%	Mission	0,15	Constant
Gains d'efficacité énergétique des DC classiques en France	%	Mission	12%	Ralentissement plus ou moins fort attendu après 2025 du fait de l'émergence de DC edge, soit au plus proche des utilisateurs
Efficacité énergétique des hyperdatacenters	TWh/EB	Mission	0,0002	Ralentissement des gains d'efficacité
Baisse de proportion des DC classiques	%	Mission	3%	Le trafic edge computing modère la baisse de proportion

Hypothèse basse

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Intensité carbone de l'électricité des DC étrangers	kgCO2e / kWh	IEA, 2020	0,3636	Moyenne pour la génération électrique dans les économies avancées en 2019
Efficacité énergétique à l'étranger	TWh/EB	Mission	0,0071	Calcul aux Etats-Unis
Ratio trafic IP utilisateurs / Trafic IP entre et vers data centers	%	Cisco VNI, 2017 ; Cisco GCI, 2018	14,8%	Ratio entre types de trafic sur les réseaux relativement constant
Gains d'efficacité énergétique des DC classiques en France	%	Mission	18,0%	Calibré à partir de l'évolution du trafic DC en France (Arcep et Cisco) et l'évolution de la consommation électrique des DC (recoupements de sources multiples)
Efficacité énergétique des hyperdatacenters	TWh/EB	LBNL, 2016 ; Cisco GCI, 2018	-	- Pas de site en activité hors expérimentation
Baisse de proportion des DC classiques	%	Mission	-	- Afin de rendre compte de l'arrivée des hyperdatacenters

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Intensité carbone de l'électricité des DC étrangers	kgCO2e / kWh	eia, 2019	0,29	Poursuite de la tendance des dix dernières années : Baisse linéaire des émissions des économies avancées pour une génération presque constante
Efficacité énergétique à l'étranger	TWh/EB	Mission	0,00225	Gains d'efficacité de 20% par an +/- 2%
Ratio trafic IP utilisateurs / Trafic IP entre et vers data centers	%	Mission	0,15	Constant
Gains d'efficacité énergétique des DC classiques en France	%	Mission	18%	Rythme constant
Efficacité énergétique des hyperdatacenters	TWh/EB	Mission	0,002295354	Gains d'efficacité de 20% par an +/- 2%
Baisse de proportion des DC classiques	%	Mission	6%	Le trafic edge computing modère la baisse de proportion

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Intensité carbone de l'électricité des DC étrangers	kgCO2e / kWh	eia, 2019	0,21	Moins 2% par an
Efficacité énergétique à l'étranger	TWh/EB	Mission	0,00017	Ralentissement des gains d'efficacité
Ratio trafic IP utilisateurs / Trafic IP entre et vers data centers	%	Mission	0,15	Constant
Gains d'efficacité énergétique des DC classiques en France	%	Mission	13%	Ralentissement plus ou moins fort attendu après 2025 du fait de l'émergence de DC edge, soit au plus proche des utilisateurs
Efficacité énergétique des hyperdatacenters	TWh/EB	Mission	0,00017	Ralentissement des gains d'efficacité
Baisse de proportion des DC classiques	%	Mission	4%	Le trafic edge computing modère la baisse de proportion

Hypothèse haute

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Intensité carbone de l'électricité des DC étrangers	kgCO2e / kWh	IEA, 2019	0,49	Moyenne pour la génération électrique aux Etats-Unis en 2018
Efficacité énergétique à l'étranger	TWh/EB	Mission	0,00714	Calcul aux Etats-Unis
Ratio trafic IP utilisateurs / Trafic IP entre et vers data centers	%	Cisco VNI, 2017 ; Cisco GCI, 2018	0,15	Ratio entre types de trafic sur les réseaux relativement constant
Gains d'efficacité énergétique des DC classiques en France	%	Mission	15%	
Efficacité énergétique des hyperdatacenters	TWh/EB	LBNL, 2016 ; Cisco GCI, 2018	0	Pas de site en activité hors expérimentation
Baisse de proportion des DC classiques	%	Mission	0%	Afin de rendre compte de l'arrivée des hyperdatacenters

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Intensité carbone de l'électricité des DC étrangers	kgCO2e / kWh	Mission	0,44	Moins 2% par an
Efficacité énergétique à l'étranger	TWh/EB	Mission	0,00287	Gains d'efficacité de 20% par an +/- 2%
Ratio trafic IP utilisateurs / Trafic IP entre et vers data centers	%	Mission	0,15	Constant
Gains d'efficacité énergétique des DC classiques en France	%	Mission	15%	
Efficacité énergétique des hyperdatacenters	TWh/EB	Mission	0,0029	Gains d'efficacité de 20% par an +/- 2%
Baisse de proportion des DC classiques	%	Mission	4%	Le trafic edge computing modère la baisse de proportion

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Intensité carbone de l'électricité des DC étrangers	kgCO2e / kWh	Mission	0,44	Constant
Efficacité énergétique à l'étranger	TWh/EB	Mission	0,00033	Ralentissement des gains d'efficacité
Ratio trafic IP utilisateurs / Trafic IP entre et vers data centers	%	Mission	0,15	Constant
Gains d'efficacité énergétique des DC classiques en France	%	Mission	10%	
Efficacité énergétique des hyperdatacenters	TWh/EB	Mission	0,00033	Ralentissement des gains d'efficacité
Baisse de proportion des DC classiques	%	Mission	2%	Le trafic edge computing modère la baisse de proportion

Paramètres communs

Hypothèse centrale

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Facteur énergie primaire/finale		Valeur institutionnelle	2,58	Correspond à des pertes d'énergie de 62% depuis la génération électrique jusqu'à la distribution
Intensité carbone de l'électricité (conso métropole)	kgCO ² eq/kWh	ADEME, 2018	0,0571	valeur moyenne sur les 4 dernières années (N-4 à N-1), pondérée par la quantité annuelle
Intensité carbone de l'électricité à l'étranger	kgCO ² eq/kWh	The Shift Project, 2019	0,493	Intensité des USA
Valeur de l'action pour le climat	€constants/tCO ₂ eq	Rapport Quinet, 2019	71,11	A partir de la valeur Quinet 2013 en 2015, puis calibration par la méthode des coûts-efficacité qui réévalue la valeur de l'action pour le climat à la hausse
GES/énergie primaire	kgCO ² eq/MJ	Andrae, 2017	0,059	
Population française	individus	INSEE, 2016	66 977 703	Projections nationales
Population française âgée de 12 ans et plus	individus	INSEE, 2016	57 320 268	Projections nationales
Nombre de ménages	foyers	INSEE, 2016	29 939 228	Projections nationales

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Facteur énergie primaire/finale		Valeur institutionnelle	2,475	Constant (par défaut)
Intensité carbone de l'électricité (conso métropole)	kgCO ² eq/kWh	Mission	0,04105	Moyenne valeur Basse et Haute
Intensité carbone de l'électricité à l'étranger	kgCO ² eq/kWh	Mission	0,460	Moyenne valeur Haute et Basse
Valeur de l'action pour le climat	€constants/tCO ₂ eq	Mission	170,19 0	
GES/énergie primaire	kgCO ² eq/MJ	Andrae, 2017	0,057	Projection d'Andrae autour de -0,7% par an à partir de 2015
Population française	individus	INSEE, 2016	68 337 480	Projections nationales
Population française âgée de 12 ans et plus	individus	Mission	58 483 980	Projections de 2016
Nombre de ménages	foyers	Mission	31 349 334	Projections de 2016

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Facteur énergie primaire/finale		Valeur institutionnelle	2,28	Constant (par défaut)
Intensité carbone de l'électricité (conso métropole)	kgCO ² eq/kWh	Mission	0,04105	Moyenne valeur Basse et Haute
Intensité carbone de l'électricité à l'étranger	kgCO ² eq/kWh	Mission	0,379	Moyenne valeur Haute et Basse
Valeur de l'action pour le climat	€constants/tCO ₂ eq	Mission	505,5 0	
GES/énergie primaire	kgCO ² eq/MJ	Mission	0,051	
Population française	individus	INSEE, 2016	71 695 251	Projections nationales
Population française âgée de 12 ans et plus	individus	Mission	61 357 598	Projections de 2016
Nombre de ménages	foyers	Mission	34 874 598	Projections de 2016

Hypothèse basse

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Facteur énergie primaire/finale		Valeur institutionnelle	2,49	Correspond à des pertes d'énergie de 62% depuis la génération électrique jusqu'à la distribution
Intensité carbone de l'électricité (conso métropole)	kgCO ² eq/kWh	ADEME, 2018	0,0571	valeur moyenne sur les 4 dernières années (N-4 à N-1), pondérée par la quantité annuelle
Intensité carbone de l'électricité à l'étranger	kgCO ² eq/kWh	The Shift Project, 2019	0,493	Intensité des USA
Valeur de l'action pour le climat	€constants/tCO ₂ eq	Rapport Quinet, 2019	71,11	A partir de la valeur Quinet 2013 en 2015, puis calibration par la méthode des coûts-efficacité qui réévalue la valeur de l'action pour le climat à la hausse
GES/énergie primaire	kgCO ² eq/MJ	Andrae, 2017	0,059	
Population française	individus	INSEE, 2016	66 977 703	Projections nationales
Population française âgée de 12 ans et plus	individus	INSEE, 2016	57 320 268	Projections nationales
Nombre de ménages	foyers	INSEE, 2016	29 939 228	Projections nationales

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Facteur énergie primaire/finale		Mission	2,37	audition ADEME
Intensité carbone de l'électricité (conso métropole)	kgCO ² eq/kWh	Mission	0,025	Constant depuis 2022
Intensité carbone de l'électricité à l'étranger	kgCO ² eq/kWh	IEA, 2019	0,401	TCAM : -3,4% (Projection de baisse de l'IEA)
Valeur de l'action pour le climat	€constants/tCO ₂ eq	Mission	170,19	0
GES/énergie primaire	kgCO ² eq/MJ	Andrae, 2017	0,057	Projection d'Andrae autour de -0,7% par an à partir de 2015
Population française	individus	INSEE, 2016	68 337 480	Projections nationales
Population française âgée de 12 ans et plus	individus	Mission	58 483 980	Projections de 2016
Nombre de ménages	foyers	Mission	31 349 334	Projections de 2016

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Facteur énergie primaire/finale		Mission	1,98	audition ADEME
Intensité carbone de l'électricité (conso métropole)	kgCO ² eq/kWh	Mission	0,025	Constant depuis 2022
Intensité carbone de l'électricité à l'étranger	kgCO ² eq/kWh	IEA, 2019	0,238	TCAM : -3,4% (Projection de baisse de l'IEA)
Valeur de l'action pour le climat	€constants/tCO ₂ eq	Mission	505,5	0
GES/énergie primaire	kgCO ² eq/MJ	Mission	0,051	
Population française	individus	INSEE, 2016	71 695 251	Projections nationales
Population française âgée de 12 ans et plus	individus	Mission	61 357 598	Projections de 2016
Nombre de ménages	foyers	Mission	34 874 598	Projections de 2016

Hypothèse haute

2019				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Facteur énergie primaire/finale		Valeur institutionnelle	2,58	Correspond à des pertes d'énergie de 62% depuis la génération électrique jusqu'à la distribution
Intensité carbone de l'électricité (conso métropole)	kgCO ² eq/kWh	ADEME, 2018	0,0571	valeur moyenne sur les 4 dernières années (N-4 à N-1), pondérée par la quantité annuelle
Intensité carbone de l'électricité à l'étranger	kgCO ² eq/kWh	The Shift Project, 2019	0,519	moyenne mondiale
Valeur de l'action pour le climat	€constants/tCO ₂ eq	Rapport Quinet, 2019	71,11	A partir de la valeur Quinet 2013 en 2015, puis calibration par la méthode des coûts-efficacité qui réévalue la valeur de l'action pour le climat à la hausse
GES/énergie primaire	kgCO ² eq/MJ	Andrae, 2017	0,059	-
Population française	individus	INSEE, 2016	66 977 703	Projections nationales
Population française âgée de 12 ans et plus	individus	INSEE, 2016	57 320 268	Projections nationales
Nombre de ménages	foyers	INSEE, 2016	29 939 228	Projections nationales

2025				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Facteur énergie primaire/finale		Valeur institutionnelle	2,58	Constant (par défaut)
Intensité carbone de l'électricité (conso métropole)	kgCO ² eq/kWh	Mission	0,0571	Constant depuis 2019
Intensité carbone de l'électricité à l'étranger	kgCO ² eq/kWh	Mission	0,519	Constant
Valeur de l'action pour le climat	€constants/tCO ₂ eq	Mission	170,19	-
GES/énergie primaire	kgCO ² eq/MJ	Andrae, 2017	0,057	Projection d'Andrae autour de -0,7% par an à partir de 2015
Population française	individus	INSEE, 2016	68 337 480	Projections nationales
Population française âgée de 12 ans et plus	individus	Mission	58 483 980	Projections de 2016
Nombre de ménages	foyers	Mission	31 349 334	Projections de 2016

2040				
Variable	Unité	Sources	Valeur	Logique d'estimation
Facteur énergie primaire/finale		Valeur institutionnelle	2,58	Constant (par défaut)
Intensité carbone de l'électricité (conso métropole)	kgCO ² eq/kWh	Mission	0,0571	Constant depuis 2019
Intensité carbone de l'électricité à l'étranger	kgCO ² eq/kWh	Mission	0,519	Constant
Valeur de l'action pour le climat	€constants/tCO ₂ eq	Mission	505,5	-
GES/énergie primaire	kgCO ² eq/MJ	Mission	0,051	
Population française	individus	INSEE, 2016	71 695 251	Projections nationales
Population française âgée de 12 ans et plus	individus	Mission	61 357 598	Projections de 2016
Nombre de ménages	foyers	Mission	34 874 598	Projections de 2016