

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.

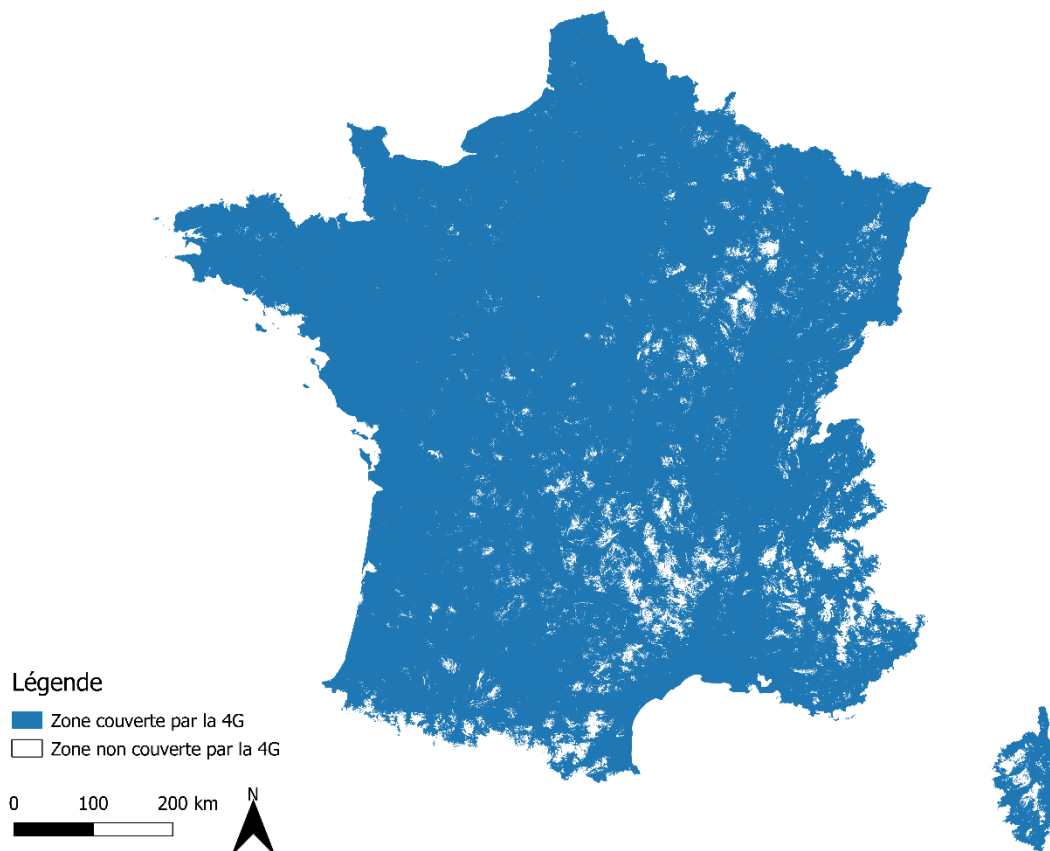
2.3. Les réseaux

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...).

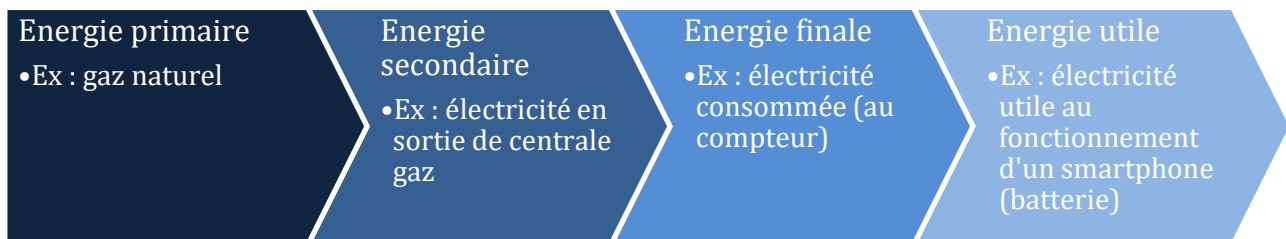


Figure 1. Stades de l'énergie

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 :

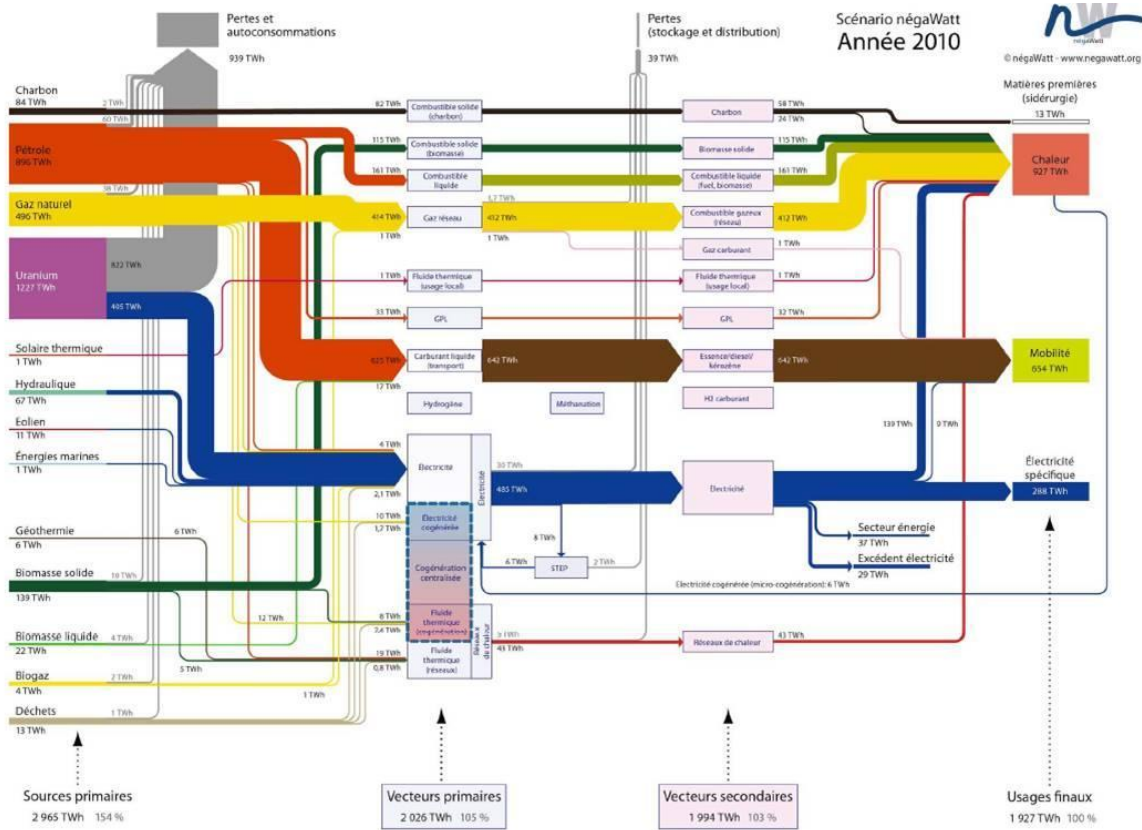


Figure 2. De l'énergie primaire à l'énergie finale
 Source : Négawatt, 2012, « Le scénario Négawatt », présentation de Thierry Salomon

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.

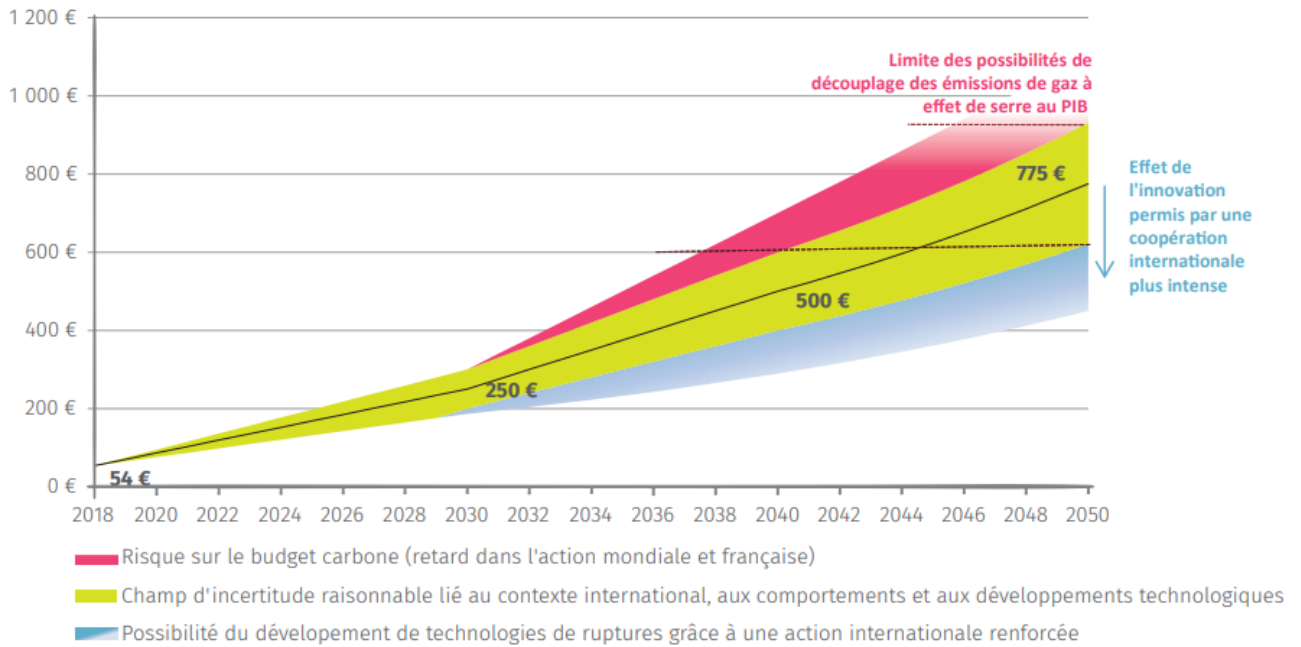


Figure 3. L'évolution de la valeur de l'action pour le climat

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.

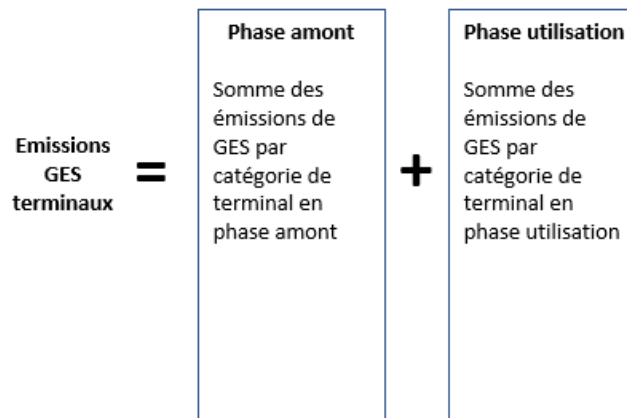


Figure 4. La méthodologie d'estimation de l'empreinte carbone des terminaux

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 :

$$CP\ RéseauxAmont_{2019} = CP\ RéseauxScope2Domestique_{2019} * 15\%$$

L'**empreinte carbone** de la phase amont (scope 3)²⁸, en 2019, est alors égale à :

$$EC\ RéseauxAmont_{2019} = CP\ RéseauxAmont_{2019} * 213,8gCO_2/kWh$$

La logique d'estimation des émissions de GES des réseaux est reprise de façon schématique ci-dessous.

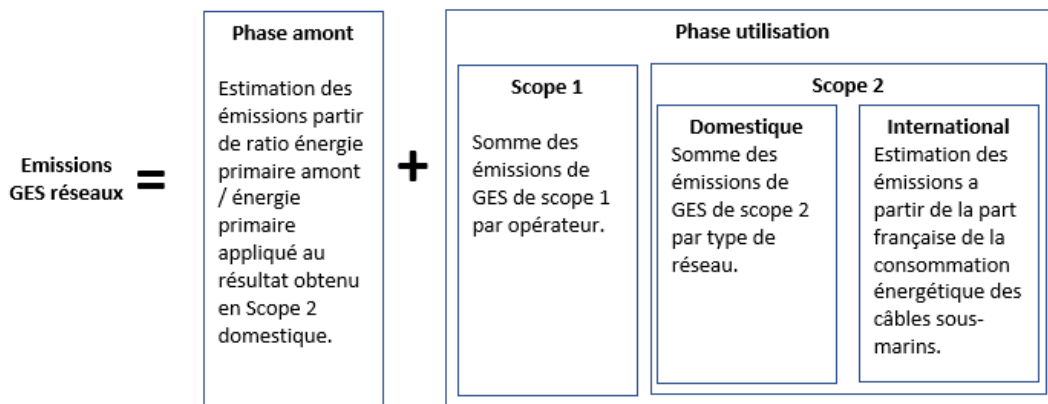


Figure 5. La méthodologie d'estimation de l'empreinte carbone des réseaux

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

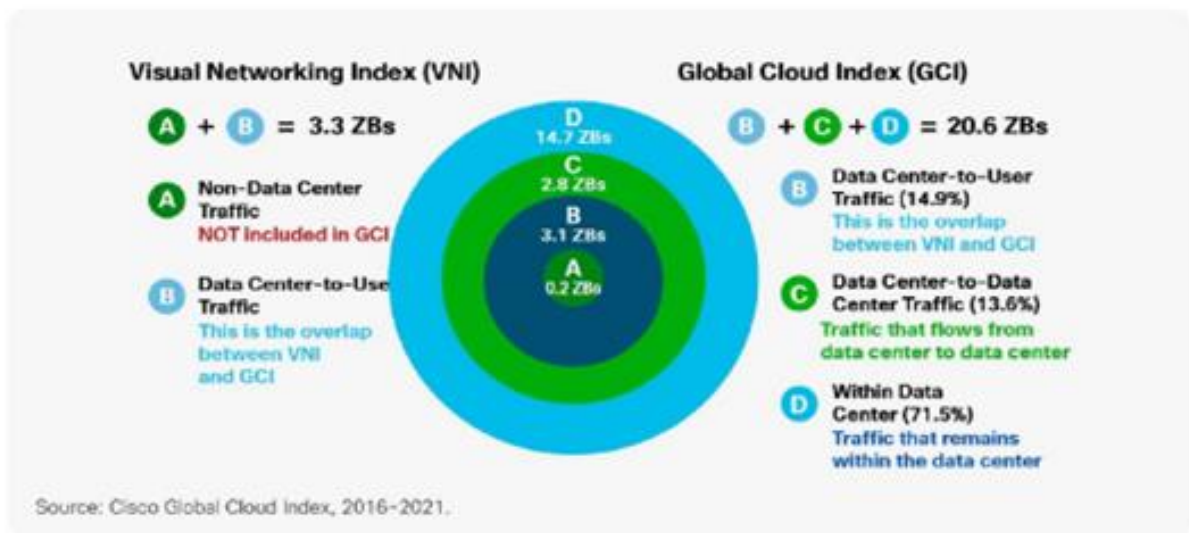


Figure 6. Les différents types de flux de données

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.

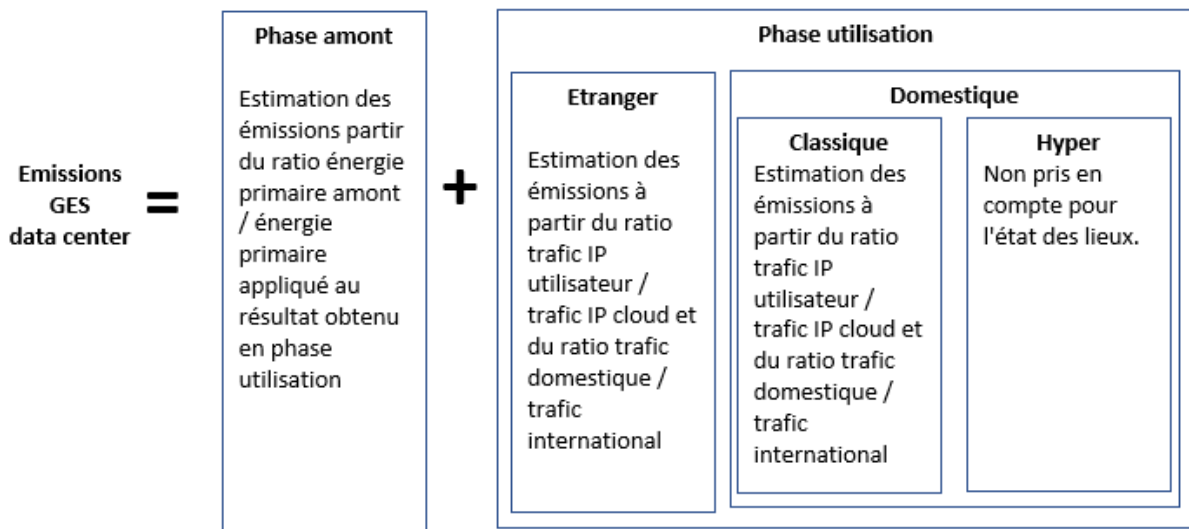


Figure 7. La méthodologie d'estimation des émissions de GES des centres de données

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.

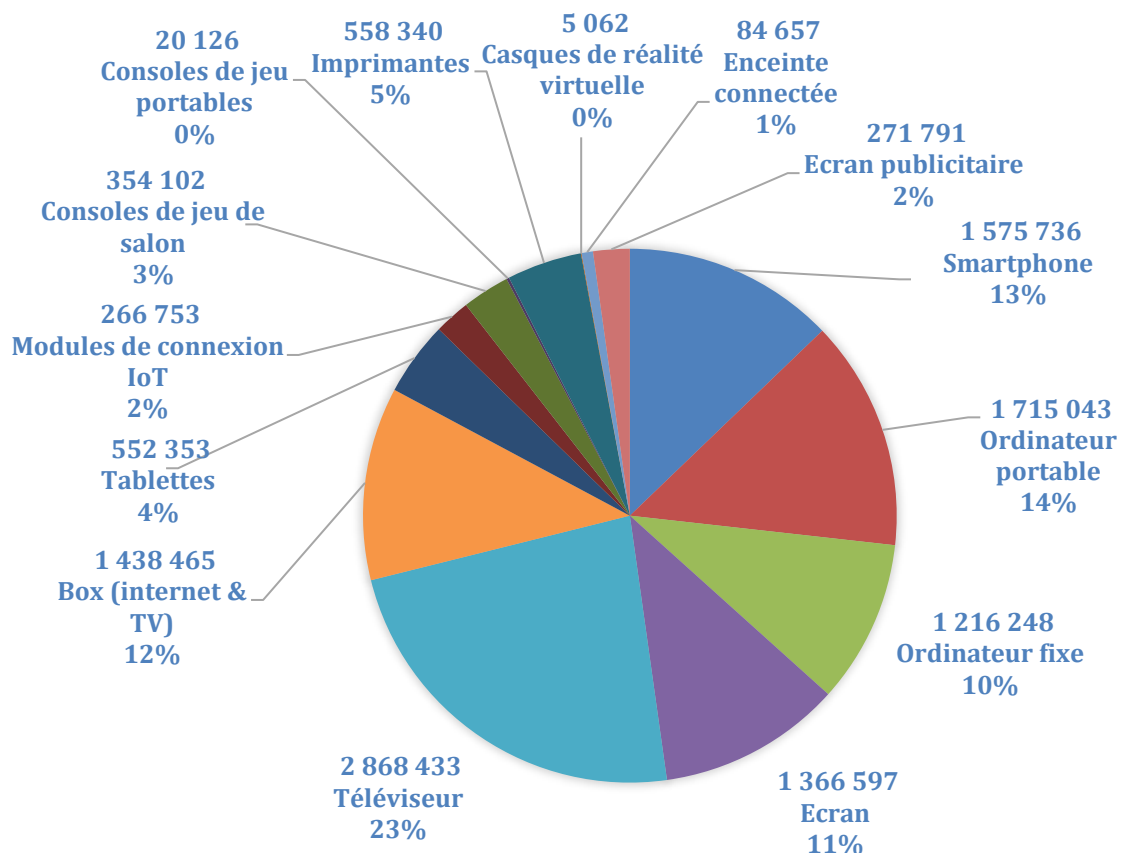
4. Empreinte carbone du numérique : un état des lieux pour 2019

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)

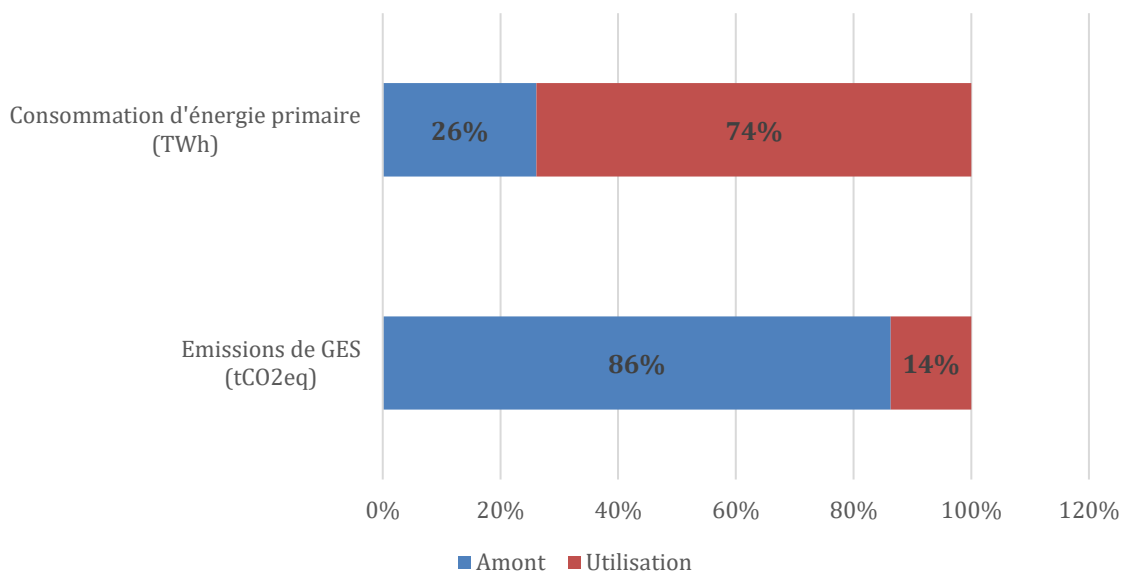
4.1.1. Ventilation entre la phase amont et la phase utilisation

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).



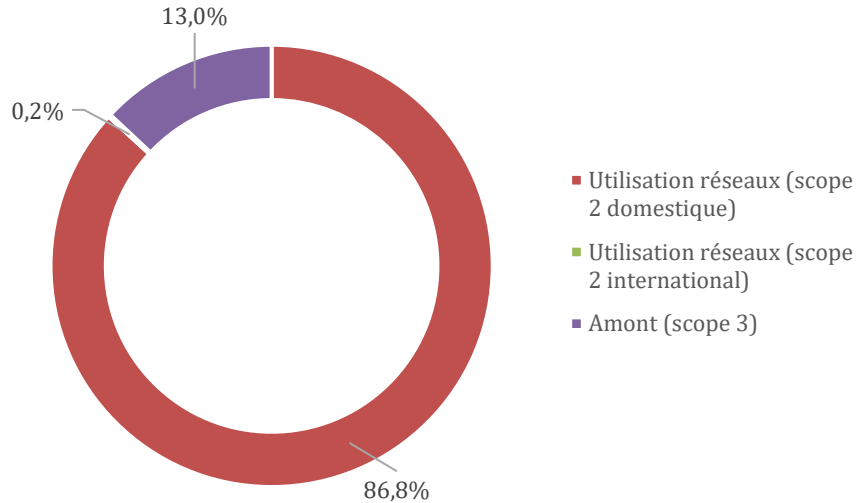
Graphique 2. Consommation d'énergie primaire et émissions de gaz à effet de serre des 14 terminaux de l'étude, distingués entre phase amont et phase utilisation, en valeur relative

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)

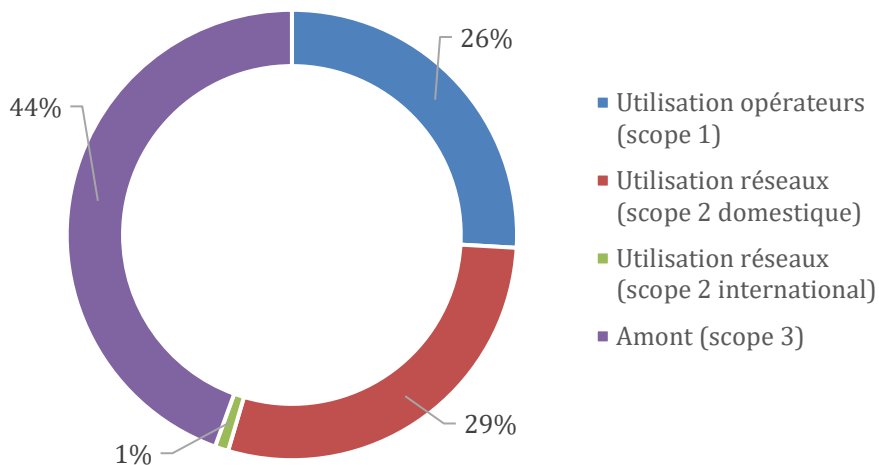
4.2. Les réseaux

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.

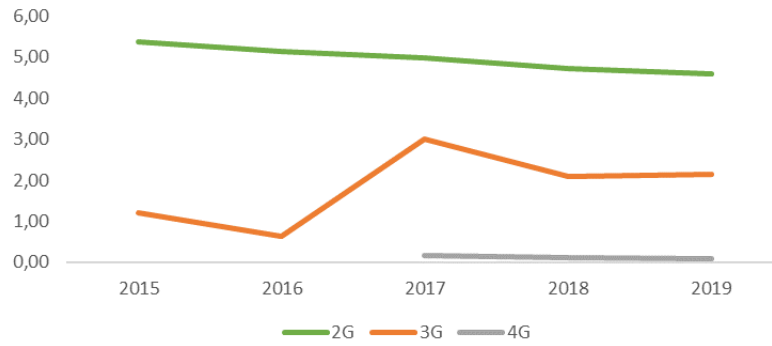
De façon surprenante, les **émissions directes des opérateurs réseaux** (scope 1) représentent plus d'un quart des GES totales des réseaux (26%) et plus de la moitié des émissions de GES de la phase utilisation, soit près de 0,2 MtCO₂eq (graphique 4).

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.

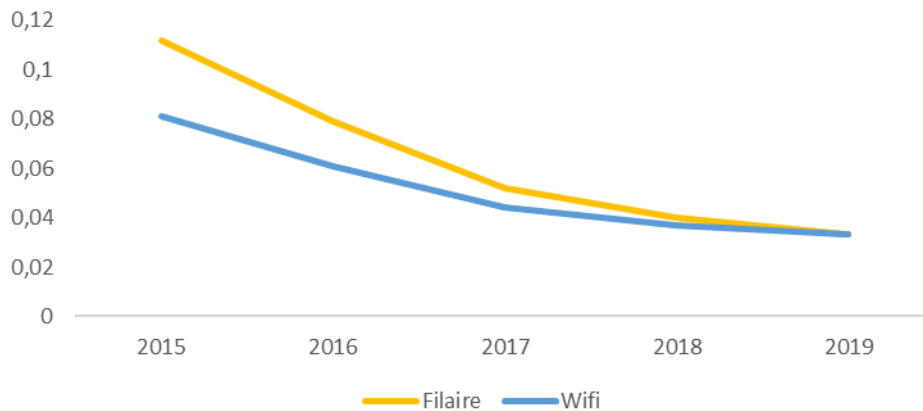
Les émissions liées à l'utilisation des **réseaux domestiques** (scope 2 domestique) représentent environ 0,2 MtCO₂eq et une consommation de 3,7 TWh d'électricité en 2019, soit 9,65 TWh d'énergie primaire. C'est seulement 0,8% de la consommation finale d'électricité en France en 2019⁴¹. En effet, malgré 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

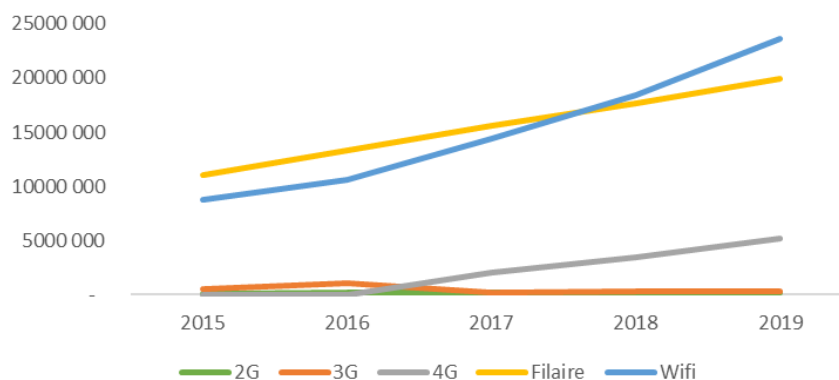


Graphique 5. Efficacité électrique (TWh/EB) des réseaux mobiles, par type de réseau mobile, entre 2015 et 2019

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.

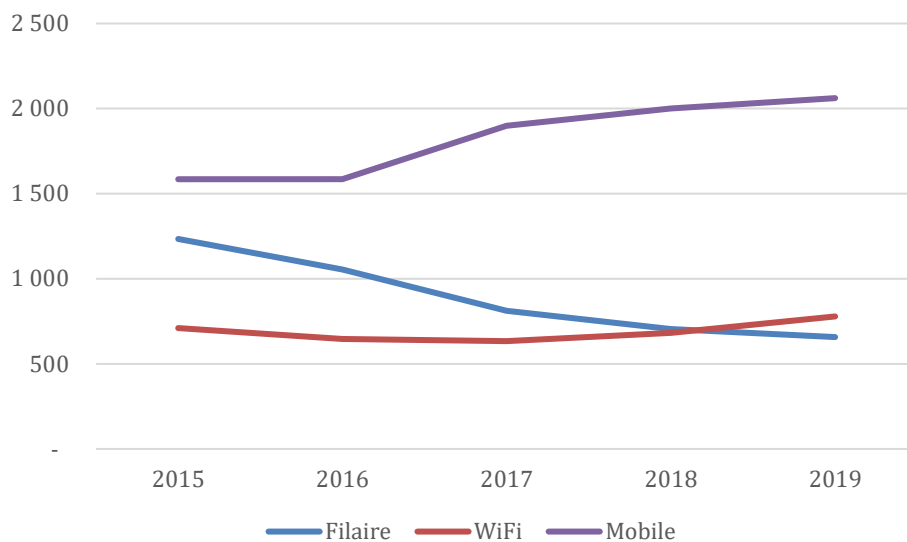


Graphique 6. Efficacité électrique (TWh/EB) des réseaux fixes, par type de réseau fixe, entre 2015 et 2019



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.

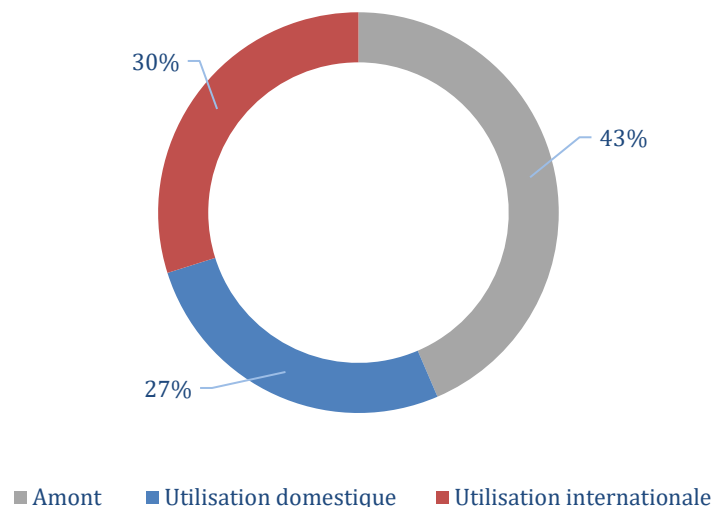
Les **réseaux internationaux** ont consommé 0,02 TWh d'énergie primaire, et 6 766 tCO₂eq. C'est donc une part marginale de la consommation énergétique (0,2%) et des émissions (1,75%) attribuables aux réseaux. Cette part, très faible, est sûrement sous-évaluée : elle comporte seulement la consommation 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.

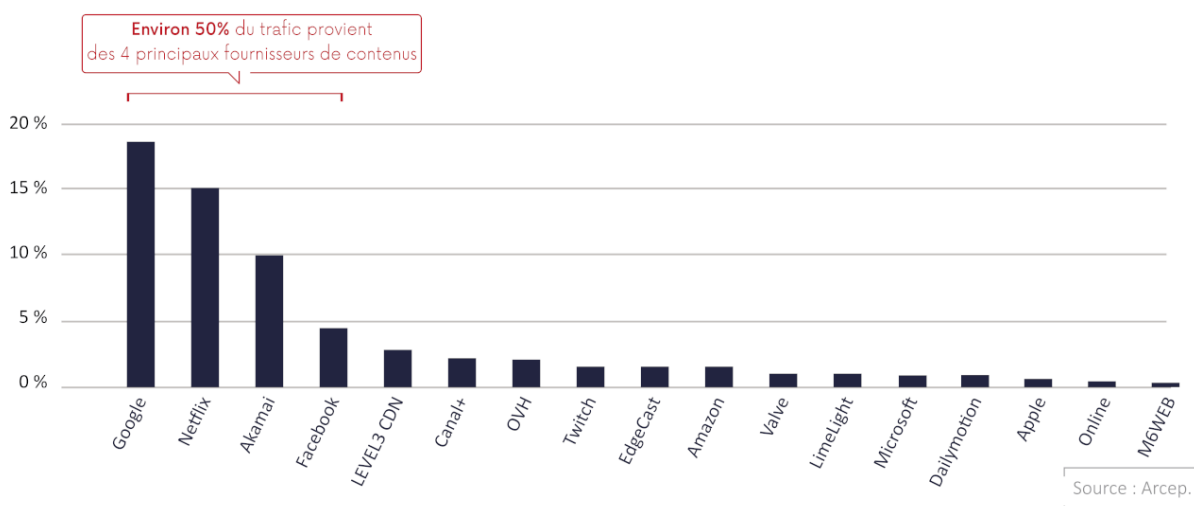


Figure 9. Décomposition du trafic en France selon l'origine au premier semestre 2018, Arcep (2019)

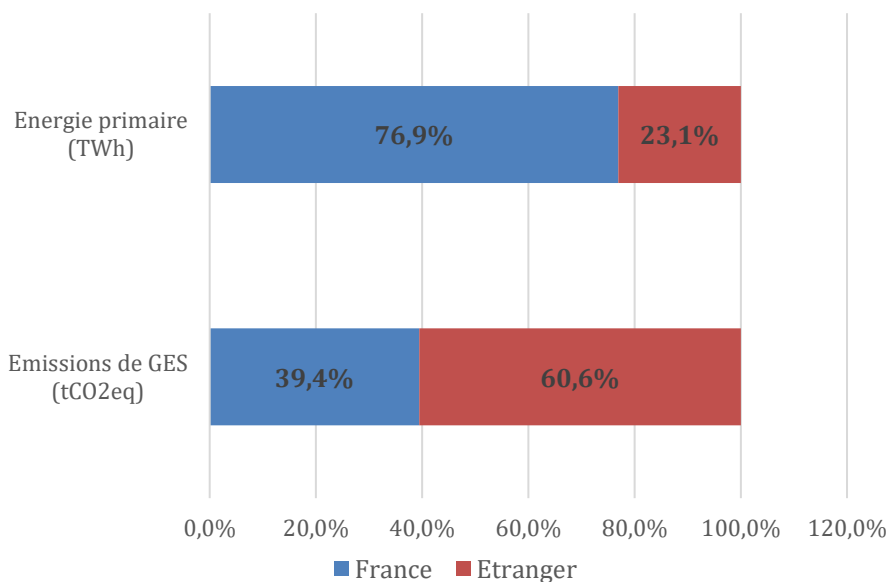
⁴² 493 gCO₂éq par KWh selon le Shift Project (2019)

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.



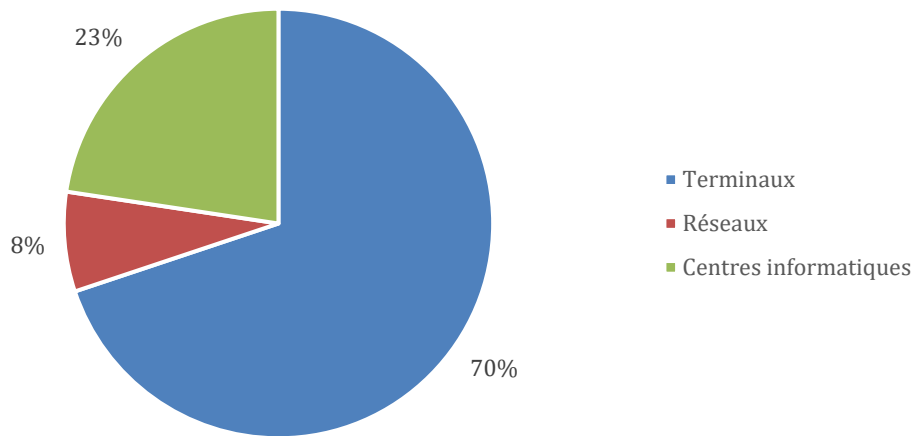
Graphique 10. Localisation des émissions de GES émises et de l'énergie primaire consommée en 2019 par les centres informatiques

⁴⁴ Cette hypothèse permet de tenir compte de l'empreinte carbone liée à la construction des bâtiments hébergeant les centres informatiques français.

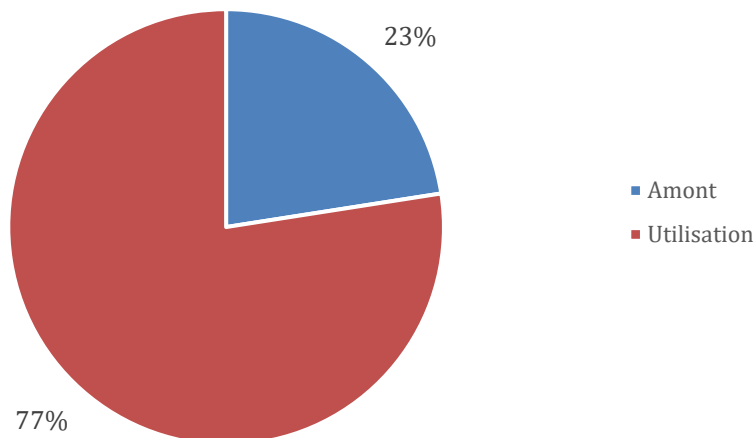
4.4. Données agrégées du numérique en France en 2019

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).



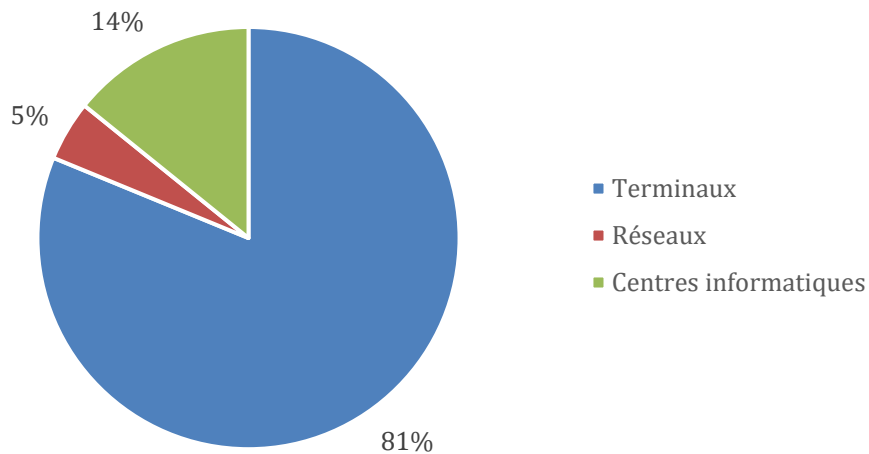
Graphique 11. Consommation d'énergie primaire du numérique, par sous-ensemble, valeur relative



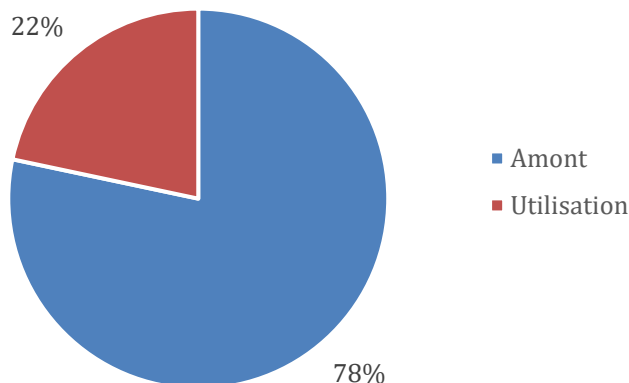
Graphique 12. Consommation d'énergie primaire du numérique, par phase, valeur relative

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).

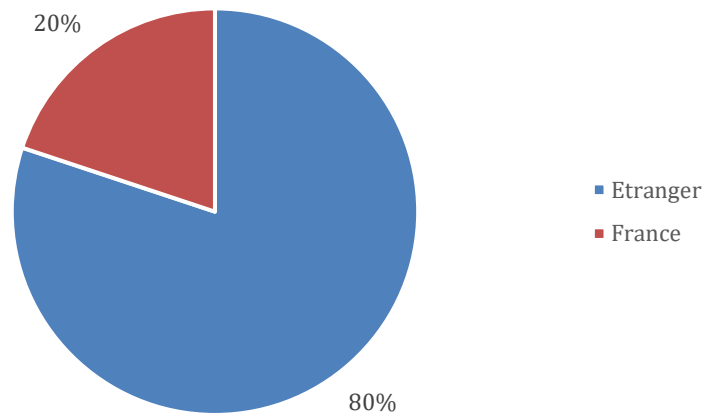


Graphique 13. Émissions de gaz à effet de serre du numérique, par sous-ensemble, valeur relative



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.

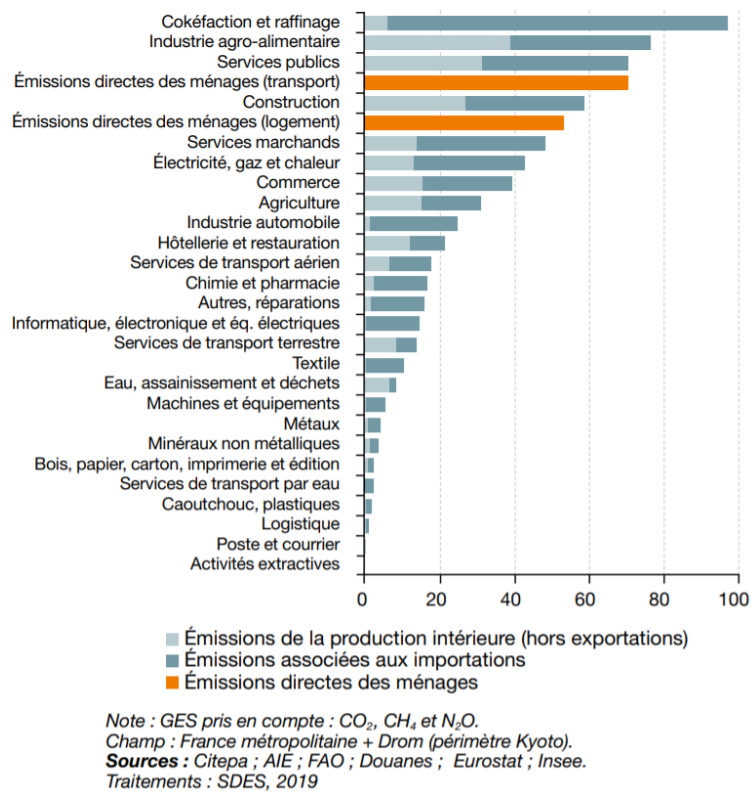


Figure 10. Décomposition de l'empreinte carbone des français en 2018, MTES (2020) en MtCO₂eq

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

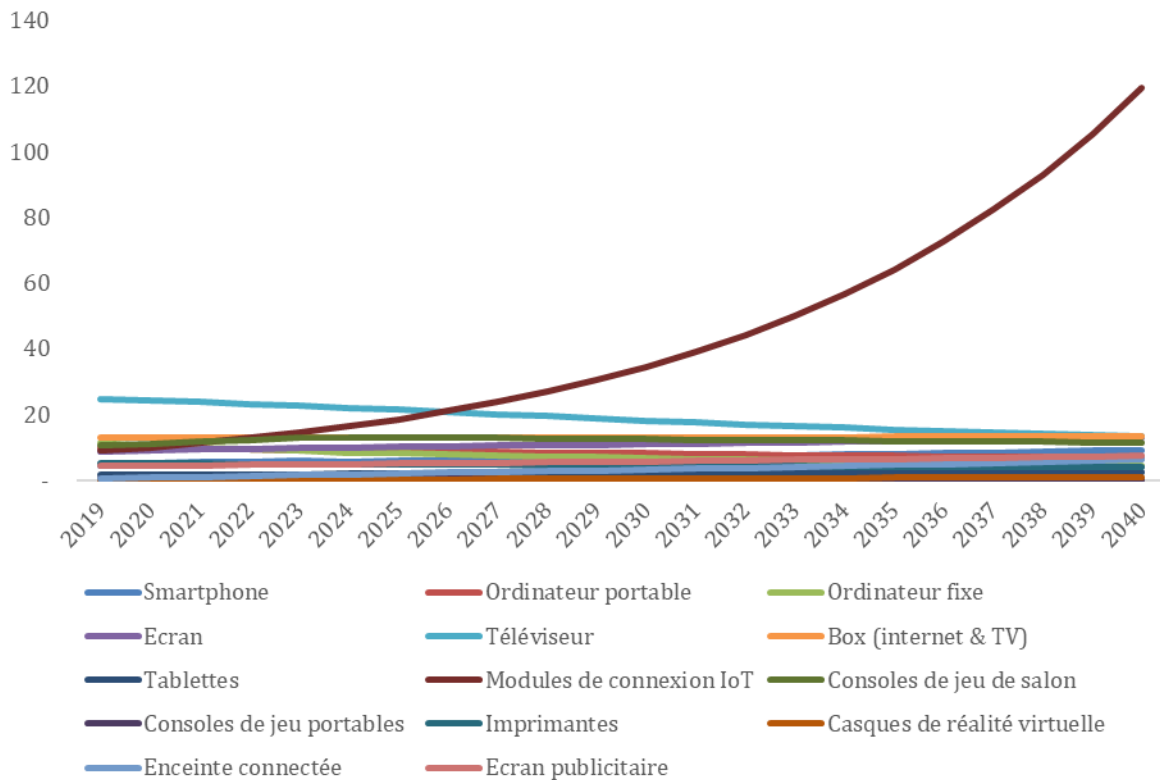
négalif en termes de bien-être). Si le coût de ces mesures est égal 1 milliard d'euros au plus, mais qu'elles permettent d'éviter 15 millions de TCO₂eq, alors ce sont de « bonnes » mesures, si tant est que ces mesures ne génèrent pas une hausse des émissions par d'autres secteurs. Les mesures peuvent 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

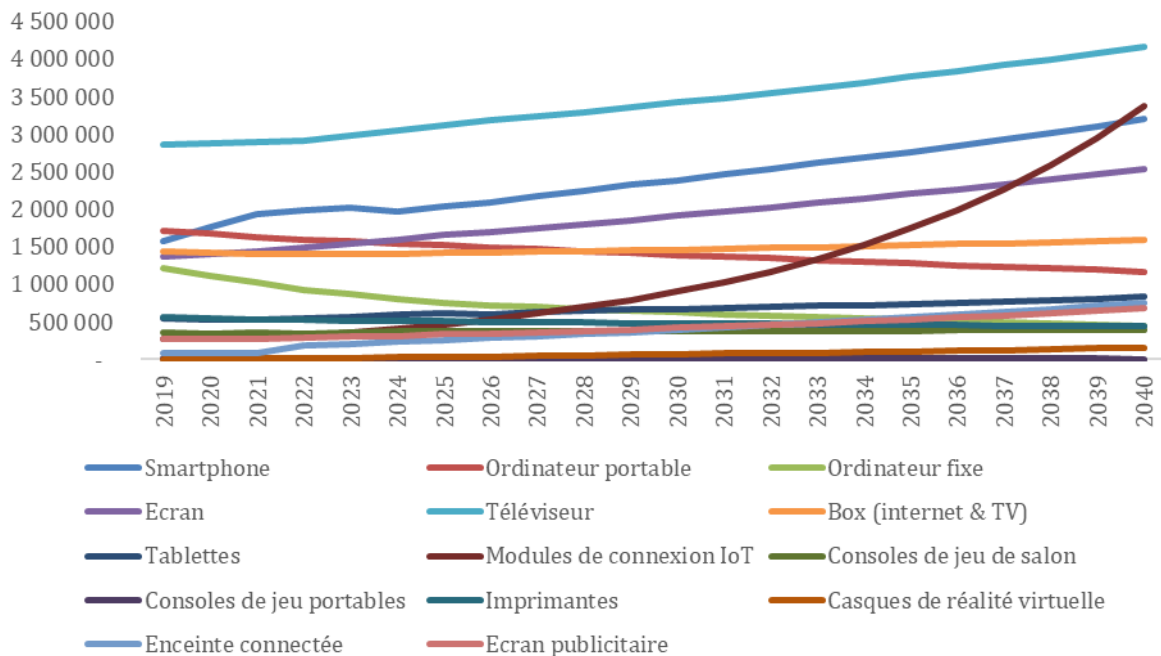
A l’horizon 2025, la mission évalue que les terminaux émettront, en borne centrale, environ 13 millions de tCO₂eq ; en 2040, les émissions atteindraient 20 millions de tCO₂eq. Pour rappel, la mission a évalué que les terminaux ont émis 12,3 millions de tCO₂eq en 2019.

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.



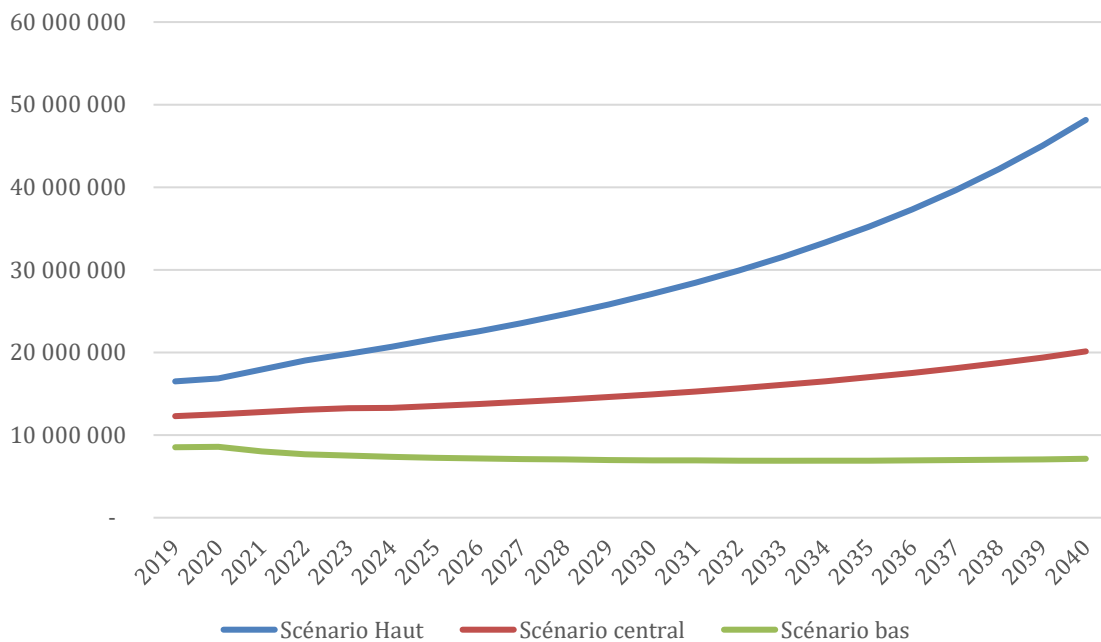
Graphique 17. Projection à l'horizon 2040 des émissions de gaz à effet de serre des 14 terminaux de l'étude, phase amont et phase utilisation confondues

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.

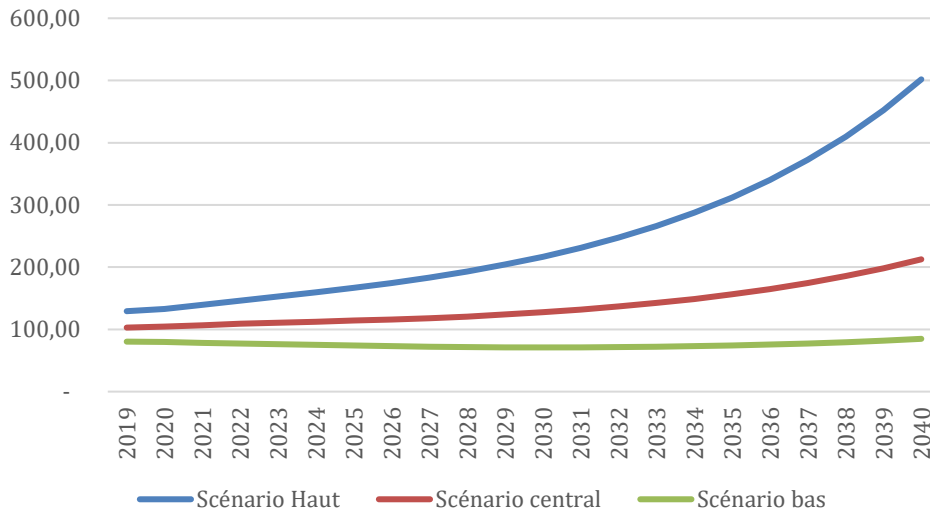
A l'horizon 2040, seuls quatre terminaux connaissent une décroissance de leurs émissions de GES : les ordinateurs fixes et portables, les consoles de jeux portables et les imprimantes. Cela peut s'expliquer par la combinaison de plusieurs phénomènes : les gains d'efficacité d'une part, et la poursuite 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).



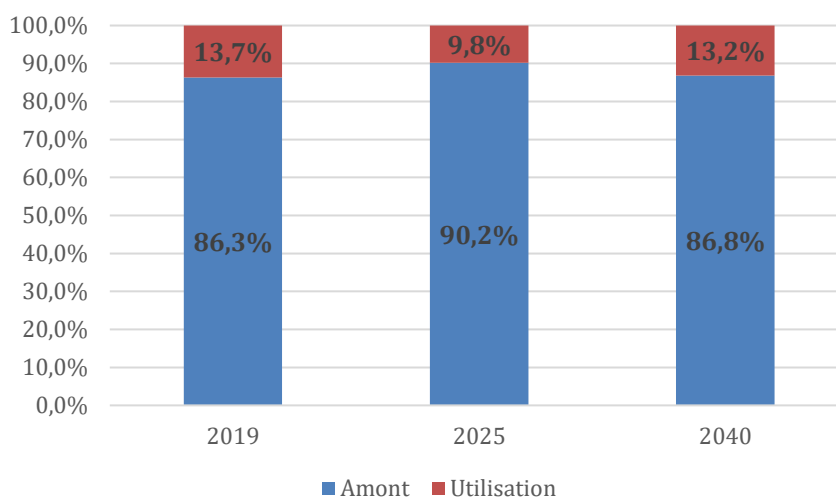
Graphique 18. Comparaison à l'horizon 2040 des émissions de gaz à effet de serre des terminaux selon le scénario

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

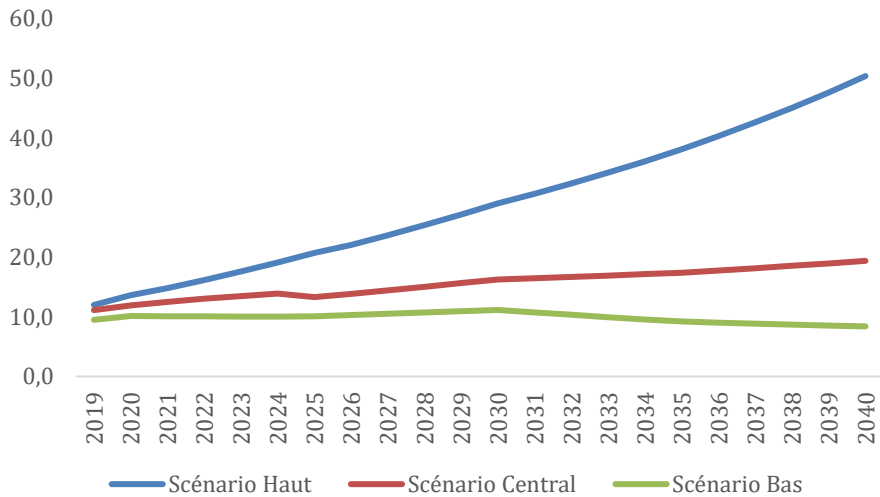
S'agissant enfin de la répartition entre phase amont et phase utilisation, les écarts devraient dans un premier temps se creuser : rappelons qu'en 2019, la part des émissions de GES des terminaux en phase utilisation (13,7%) est inférieure à celle en phase amont (86,3%). Les projections à horizon 2025 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

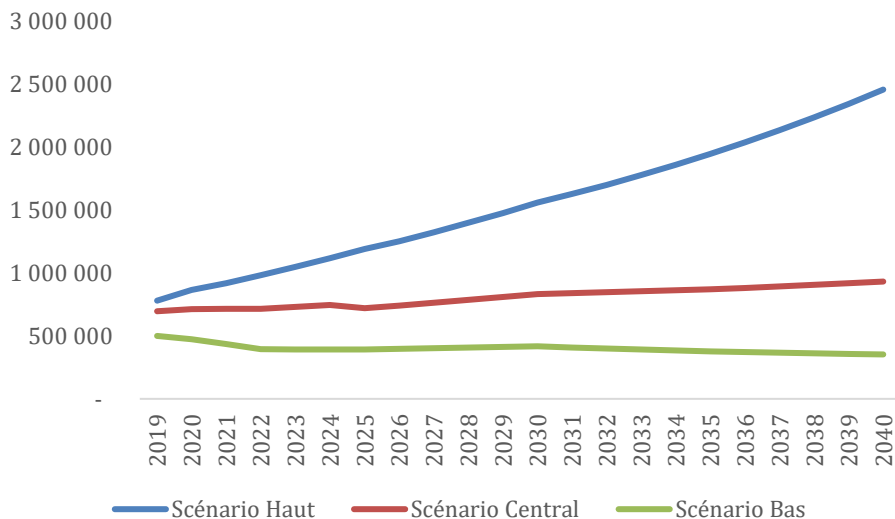
5.2. Projections pour les réseaux

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.

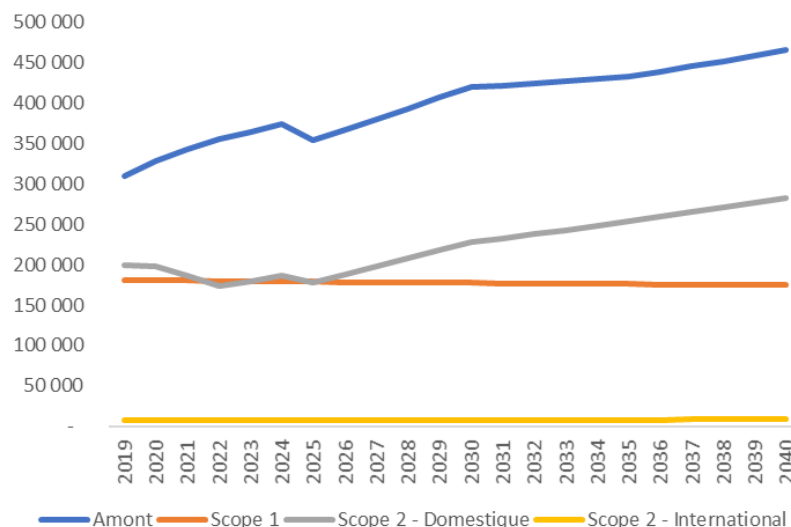


Graphique 22. Comparaison à l'horizon 2040 des émissions de gaz à effet de serre des réseaux, en tCO₂eq, différenciés par scénario

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.

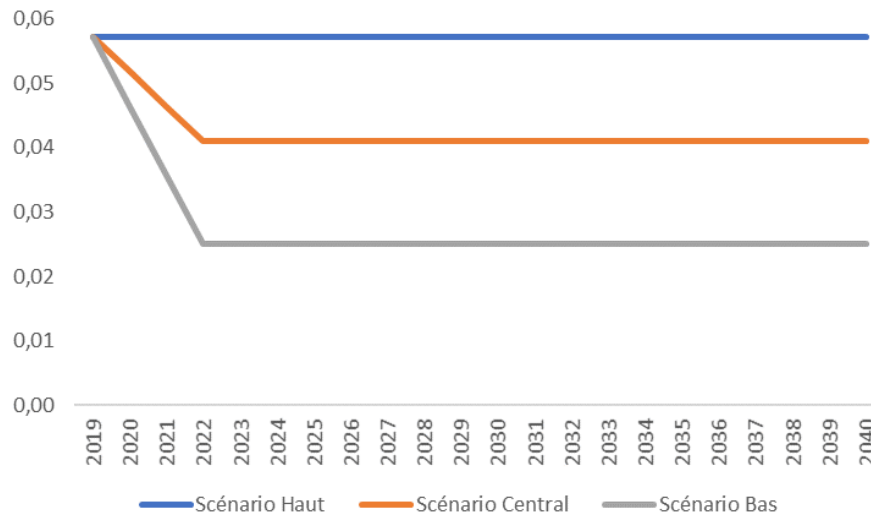
D'autre part, les émissions de gaz à effet de serre liées au scope 2 domestique (correspondant, pour rappel, à l'utilisation des réseaux domestiques) augmenteraient en scénario central d'environ 40 % d'ici à 2040 ; en scénario haut, de plus de 300%. En scénario bas, ces émissions se réduiraient de moitié 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).



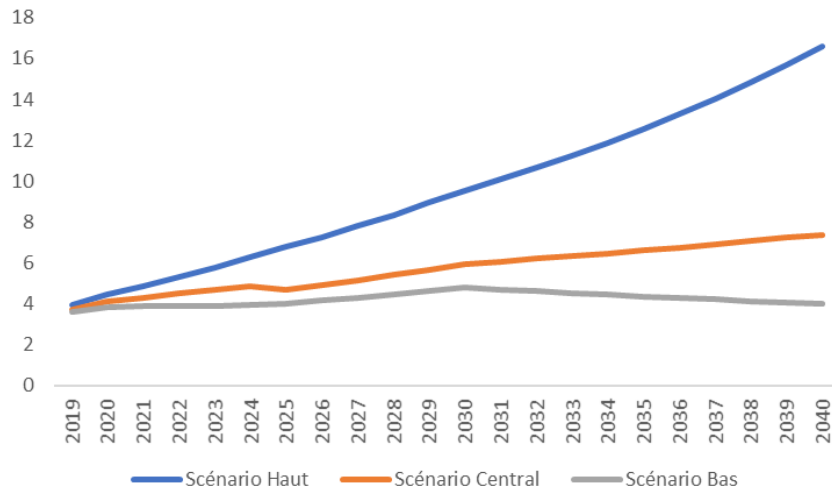
Graphique 24. Intensité carbone de l'électricité, en kgCO₂eq/kWh, par scénario

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.

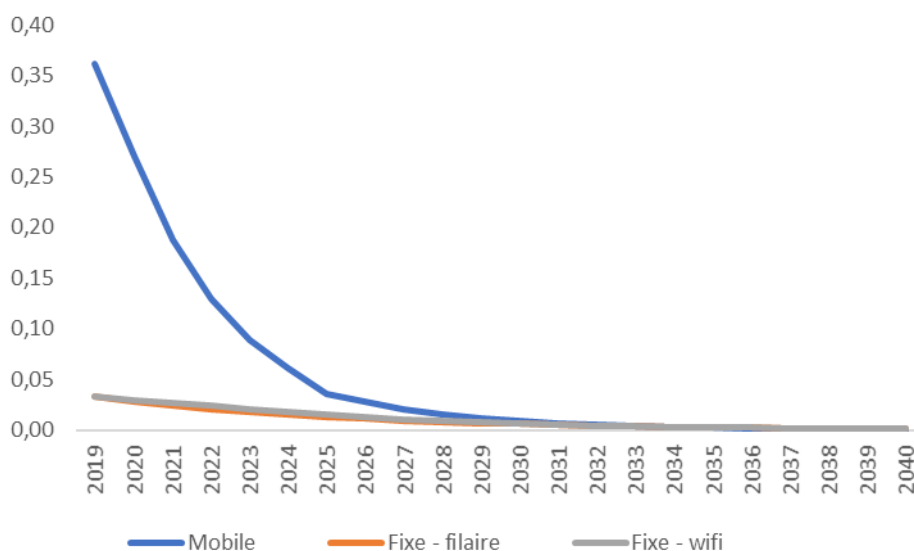
Le scénario central modélise une évolution à mi-chemin entre le scénario haut et le scénario bas. Une réduction de l'intensité carbone en début de période (2019-2022) ne suffit pas à contrebalancer une consommation électrique plus rapide qu'en scénario bas ; les émissions de gaz à effet de serre augmentent (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

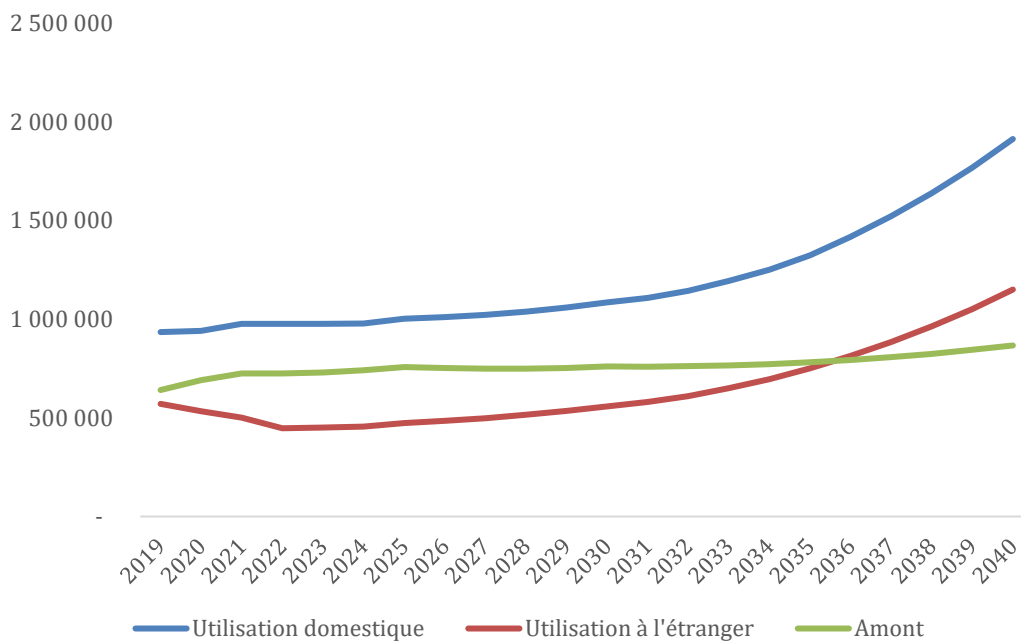
La mission a également modélisé des projections d'efficacité électrique des réseaux, par type de réseau (fixe/mobile). Il est projeté que le réseau mobile dans son ensemble (tous types de réseaux confondus - 2G, 3G, 4G et 5G) connaîtra une amélioration rapide de son efficacité énergétique, passant, en 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)

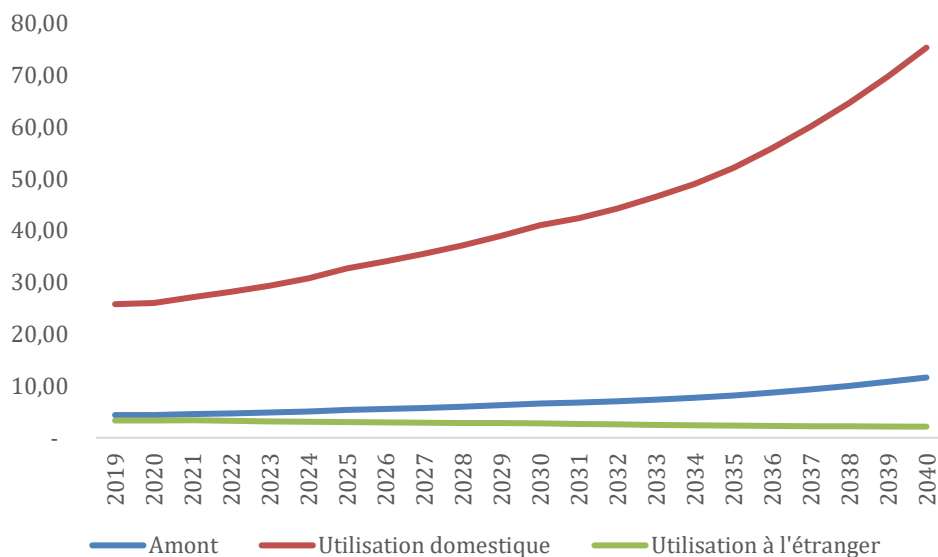
Une « relocalisation » des centres informatiques en France est modélisée dans cette étude. Les émissions en phase utilisations domestiques devraient dépasser les émissions à l'étranger à partir de 2025 (graphique 29). Il s'agit d'une inflexion de tendance et donc d'un parti pris important. Cette hypothèse 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.

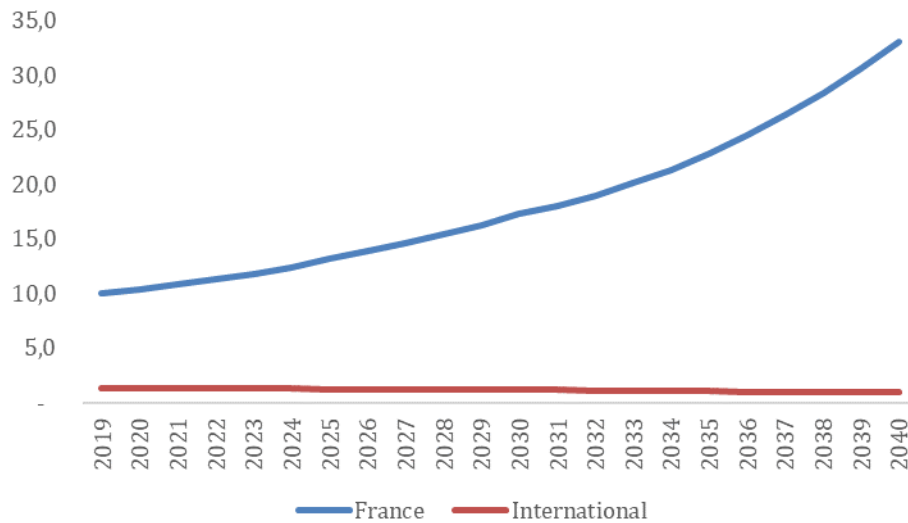
L'étude anticipe une forte hausse de l'énergie primaire consommée par les centres informatiques en France, à un rythme de croissance annuelle moyen de 4% jusque 2025 puis 6% (graphique 28). Cela s'explique par les « relocalisations » présentées ci-dessus avec la mise en service d'hyperdatacenters, ainsi 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



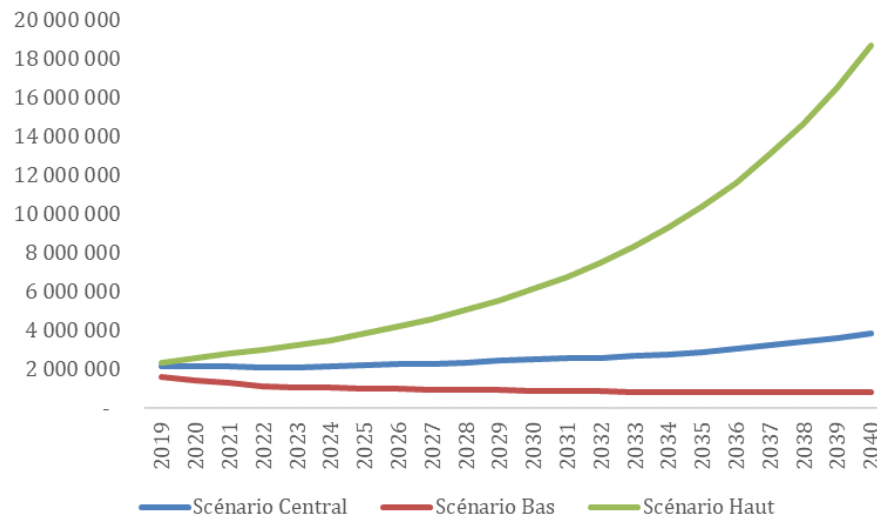
Graphique 29. Projection de la consommation électrique des centres informatiques installés en France

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



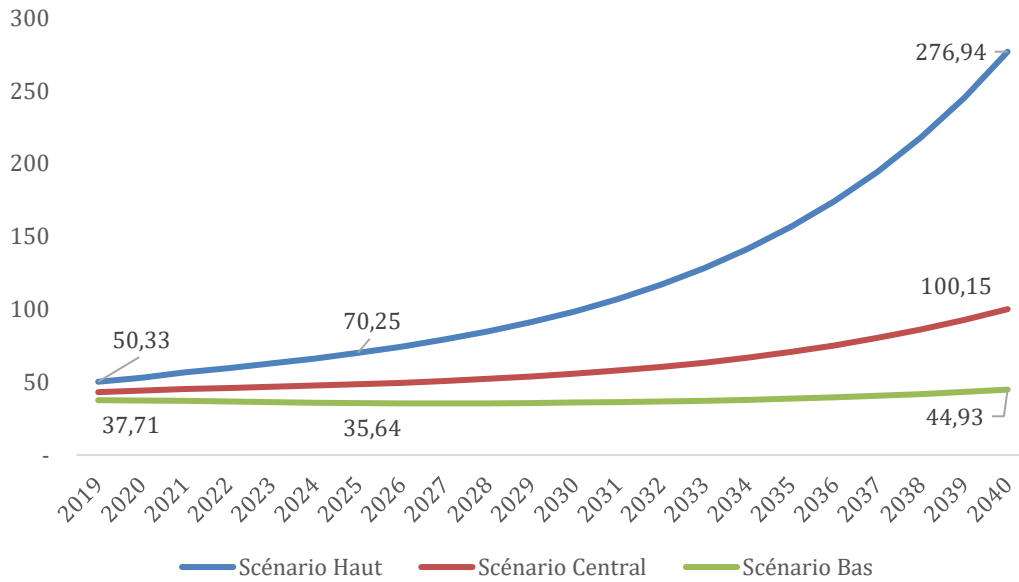
Graphique 30. Projections des émissions totales des centres informatiques par scénario

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

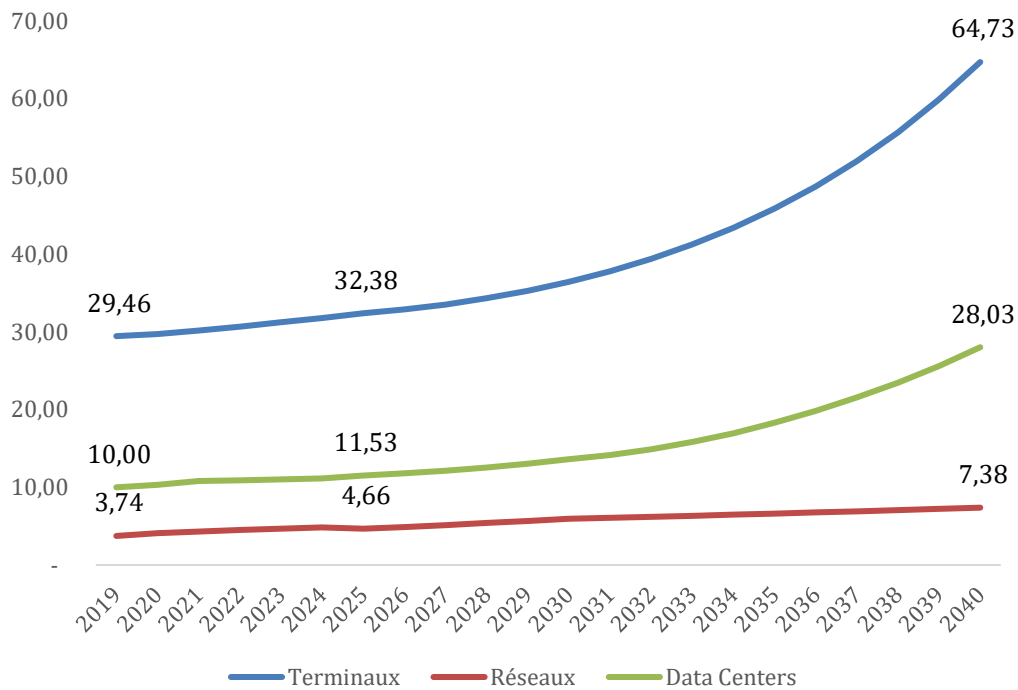
De 148 TWh en 2019, la mission estime, en scénario central, que la consommation d'énergie primaire du secteur du numérique pourrait augmenter à 165 TWh en 2025, et à 311 TWh en 2040. Selon les estimations du scénario haut, la consommation d'énergie primaire pourrait atteindre 891 TWh en 2040 ; en scénario 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

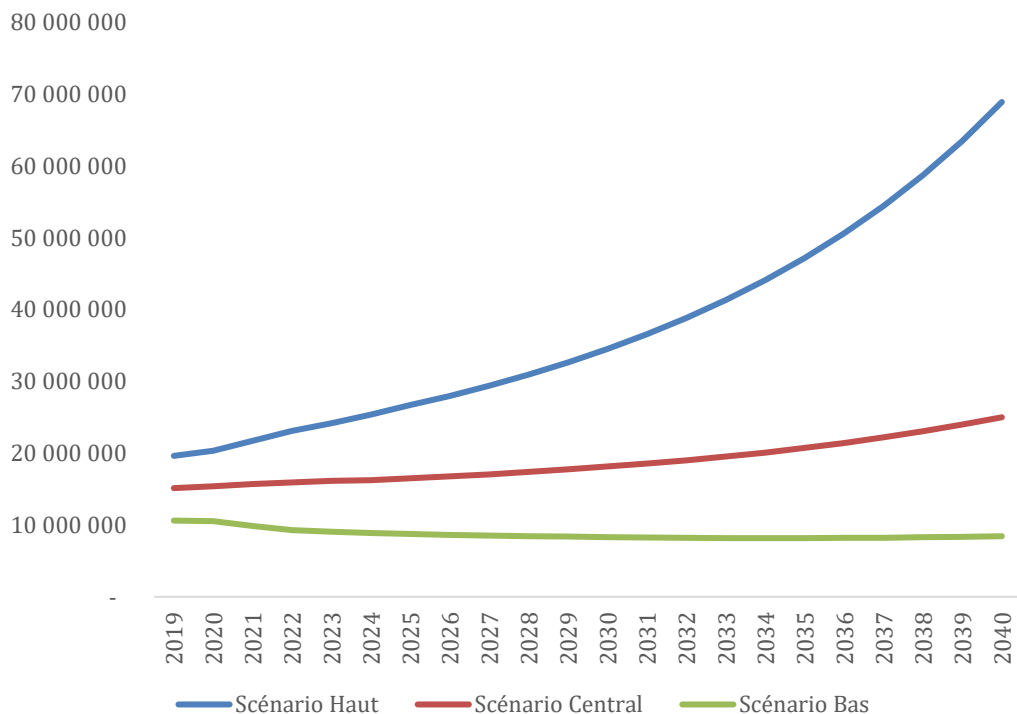
⁵⁵ Stratégie Nationale Bas Carbone - Programmation Pluriannuelle de l'Énergie 2019-2023 & 2024-2028, Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (2020), 400 pages

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.**

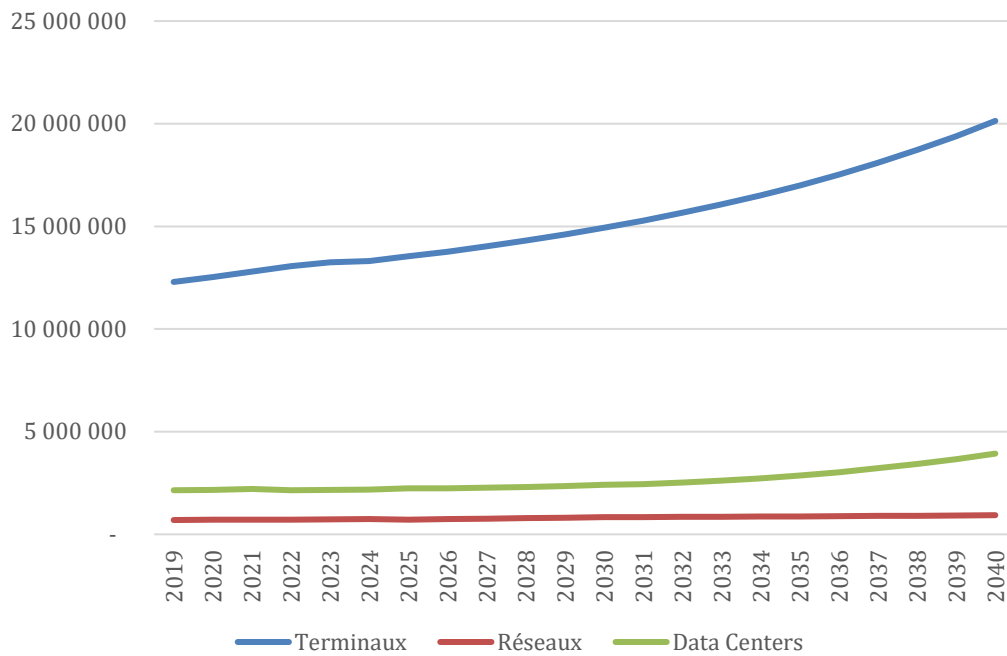
Les émissions de gaz à effet de serre suivraient une trajectoire similaire. **Elles atteindraient, en scénario central, 25 millions de tCO₂eq en 2040, contre 16,5 millions de tCO₂eq en 2025 et 15 millions de tCO₂eq en 2019.** En scénario haut, la mission estime que les émissions de gaz à effet de serre 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

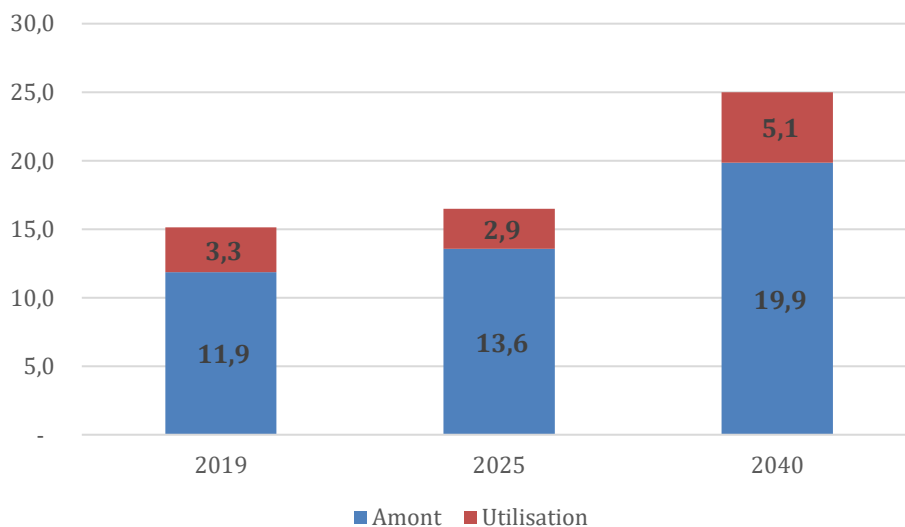
Les émissions de GES du numérique continueraient d'être très largement portées par les terminaux (graphique 34).

⁵⁶ Stratégie Nationale Bas Carbone révisée complète, p.57, Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (mars 2020)



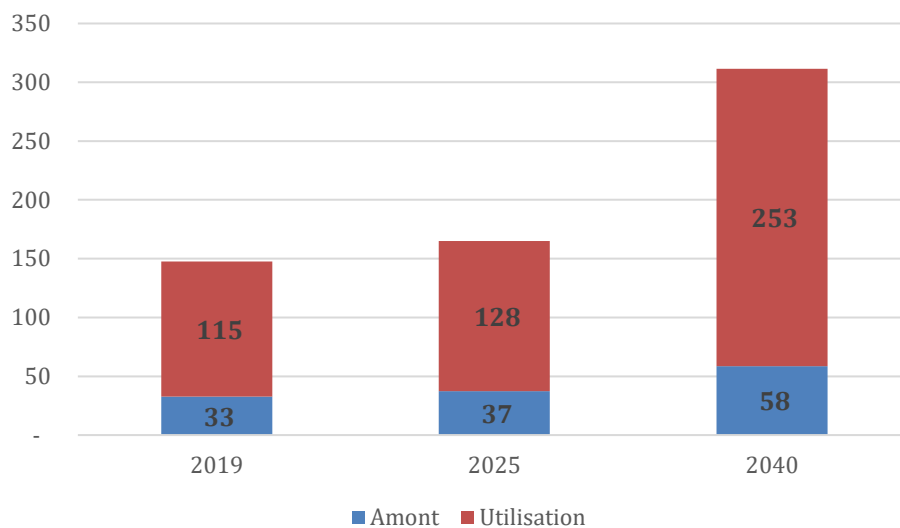
Graphique 34. Émissions de GES du numérique en scénario central, en tCO₂eq, par type de sous-ensemble

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>

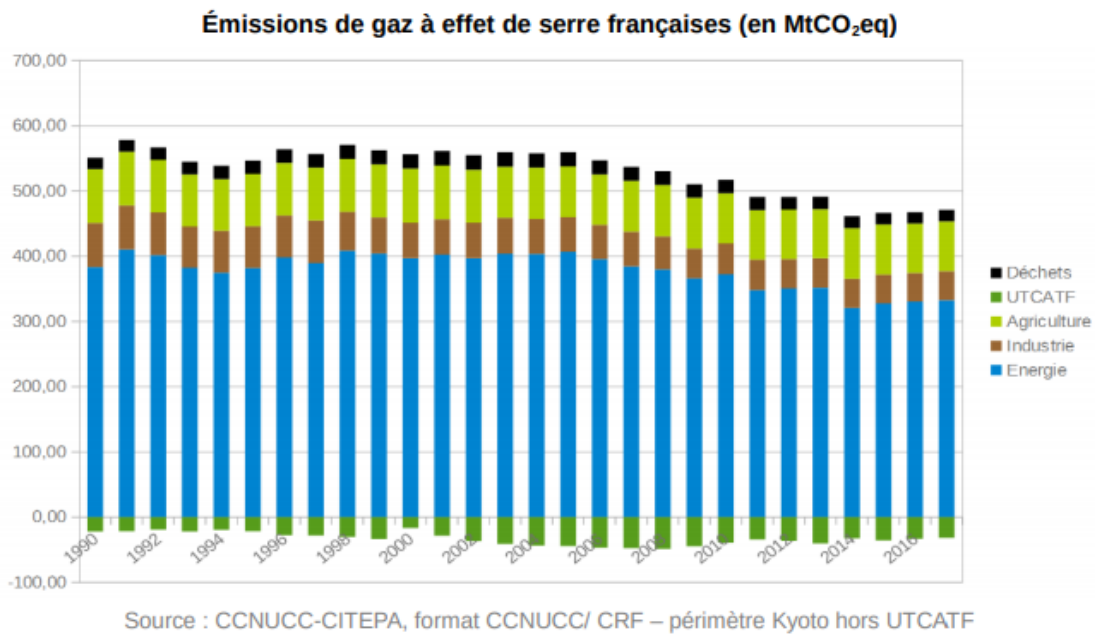


Figure 11. Emissions de GES de la France selon le périmètre Kyoto

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.

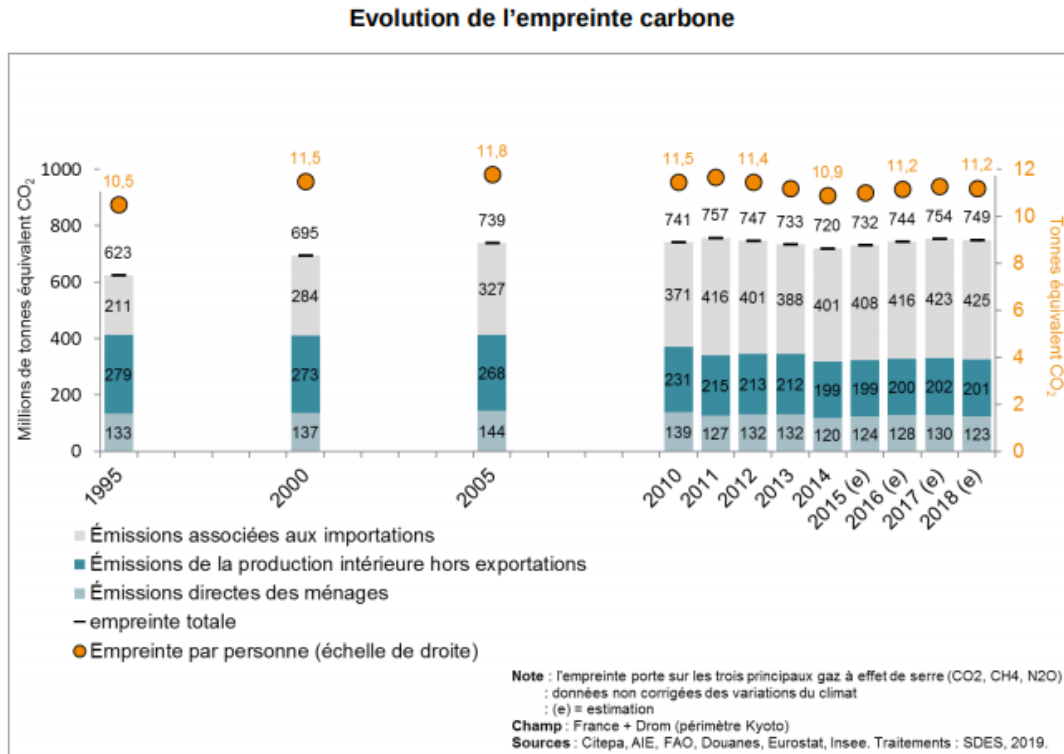


Figure 12. Empreinte carbone des Français selon leurs consommations (MTES & CiTEPA, 2020)

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.**

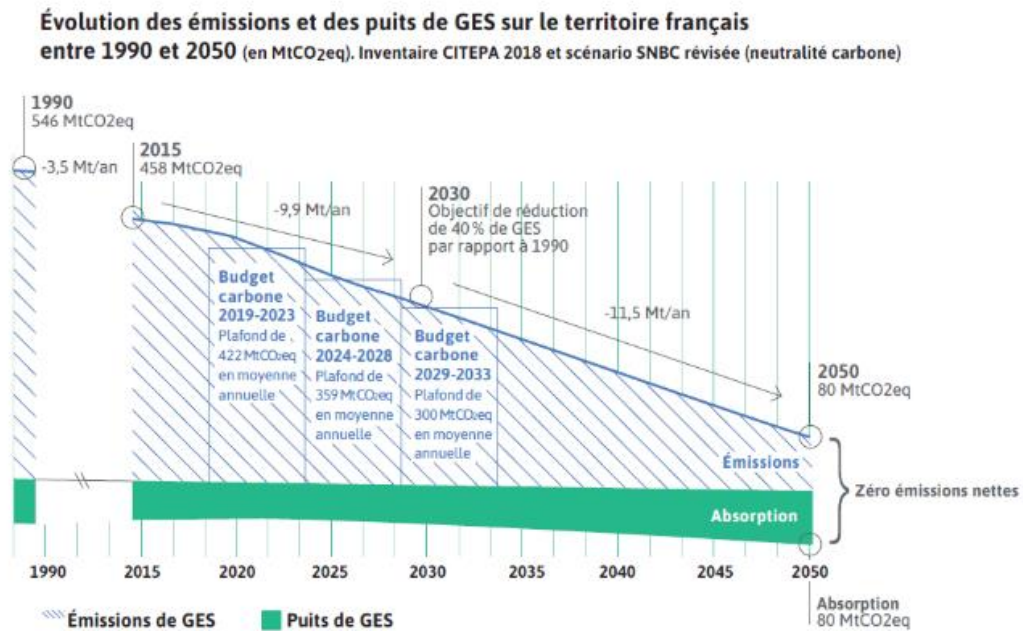


Figure 13. Trajectoire cible des émissions de GES de la France (périmètre Kyoto) selon l'Accord de Paris, MTES

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 | kgCO2e / 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 | kgCO2e / 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 | kgCO2e / 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 | kgCO2e / 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 | kgCO2e / 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 | kgCO2e / 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 |