

EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU NUMERIQUE EN FRANCE ET ANALYSE PROSPECTIVE

Analyse prospective à 2030 et 2050

**RAPPORT 3/3 -
SYNTHESE**



EXPERTISES

Janv.
2023

REMERCIEMENTS

Pour ce rapport introductif, nous tenons à remercier l'ensemble des personnes ayant participé au projet, notamment les membres du Comité de Pilotage, mais aussi les différents contributeurs sollicités au cours de l'étude.

Membres du Comité de pilotage et de relecture

Erwann Fangeat, ADEME
Raphaël Guastavi, ADEME
Bruno Lafitte, ADEME
David Marchal, ADEME
Ahmed Haddad, Arcep
Charles Joudon-Watteau, Arcep
Edouard Dolley, Arcep
Adrien Haidar, Arcep
Patrick Lagrange, Arcep
Franck Tarrier, Arcep
Anne Yvrande-Billon, Arcep

CITATION DE CE RAPPORT

Auteurs : Etienne Lees Perasso (Bureau Veritas), Caroline Vateau (APL-datacenter), Firmin Domon (Bureau Veritas), avec les contributions de Yasmine Aiouch (Deloitte), Augustin Chanoine (Deloitte), Léo Corbet (Deloitte), Pierrick Drapeau (Deloitte), Louis Ollion (Deloitte), Valentine Vigneron (Deloitte), Damien Prunel (Bureau Veritas), Georges Ouffoué (APL-datacenter), Romain Mahasenga (APL-datacenter), Julie Orgelet (DDemain), Frédéric Bordage (GreenIT.fr) et Prune Esquerre (IDATE). 2022. Evaluation environnementale des équipements et infrastructures numériques en France. 20 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne <https://librairie.ademe.fr/>
www.arcep.fr/actualites/les-publications

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME et l'Arcep

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Arcep

14, Avenue Gerty Archimède
75012 Paris

Numéro de contrat : 2020MA000091

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME et l'Arcep par : LCIE Bureau Veritas,
IDATE

Coordination technique :

- **ADEME** : FANGEAT Erwann - Direction/Service : DECD / SER
- **Arcep** : HAÏDAR Adrien - Direction/Unité : DEN/UAE

1. PRINCIPALES CONCLUSIONS	4
1.1. Situation actuelle :	4
1.2. Quels impacts en 2030 et 2050	4
1.3. Conclusion / mise en perspective	6
2. CONTEXTE DU PROJET	6
2.1. Objectif de l'étude	7
2.2. Périmètre de l'étude	8
3. METHODE DE L'ANALYSE PROSPECTIVE	8
3.1. Objectifs et méthode de l'analyse prospective.....	8
3.2. Analyse prospective 2030.....	9
3.3. Analyse prospective 2050.....	9
4. SCENARIOS 2030	10
4.1. Présentation des scénarios	10
4.2. Résultats 2030	11
5. SCENARIOS 2050	13
5.1. Présentation des scénarios 2050 ADEME déclinés au numérique	14
5.2. Résultats 2050	15
6. LIMITES DE L'ETUDE.....	17

1. Principales conclusions

Le Gouvernement a confié, le 6 août 2020, la réalisation d'une étude conjointe à l'ADEME et à l'Arcep sur l'évaluation de l'impact environnemental du numérique en France, aujourd'hui et demain. Ce document est le dernier livrable de ces travaux, dont les premiers rapports ont été publiés en janvier 2022¹.

Ces travaux reposent sur une évaluation globale basée sur une analyse de cycle de vie (ACV) multi-composants (terminaux, réseaux et centres de données), multicritère (empreinte carbone mais également 10 autres indicateurs environnementaux) et multi-étapes (phases de fabrication, distribution, utilisation et fin de vie).

Cette étude vise à mesurer l'impact environnemental du numérique sans évaluer les impacts évités par le développement du numérique (déplacements évités par exemple).

1.1. Situation actuelle :

L'impact environnemental du numérique en France en 2020 a déjà fait l'objet d'une publication.

- Ainsi l'empreinte carbone générée par un an de consommation de biens et services numériques en France en 2020 représente 2,5 % de l'empreinte carbone nationale soit 17,2 Mt CO₂eq.
- Les terminaux représentent 79 % de l'empreinte carbone du numérique, les centres de données 16 % et les réseaux 5 %.
- Outre l'empreinte carbone, l'épuisement des ressources abiotiques (minéraux & métaux) ressort comme un critère pertinent pour décrire l'impact environnemental du numérique.
- 10 % de la consommation électrique française est liée aux services numériques
- Enfin, c'est la phase de fabrication qui concentre l'essentiel des impacts environnementaux. Elle représente 78 % de l'empreinte carbone et la phase d'utilisation 21 %.

1.2. Quels impacts en 2030 et 2050

Cette étude propose une analyse prospective à 2030 et 2050 de l'impact environnemental du numérique en France en projetant différents scénarios, un tendanciel et plusieurs scénarios alternatifs. Cet exercice de prospective est par nature complexe ; il l'est d'autant plus pour un secteur en évolution très rapide caractérisé par de nombreux effets croisés internes et des externalités positives ou négatives sur les autres secteurs qui ne peuvent ici pas être pris en compte. Ce travail constitue néanmoins une première approche pour mesurer et évaluer les chemins à parcourir et les défis à relever pour le numérique. Pour ce faire, cet exercice prospectif repart de la méthodologie développée dans le deuxième volet de l'étude qui décompose le numérique en trois briques (terminaux, réseaux et centres de données) selon une approche d'analyse de cycle de vie (ACV) multicritère.

HORIZON 2030 :

A horizon 2030, si rien n'est fait pour réduire l'empreinte environnementale du numérique et que les usages continuent de progresser au rythme actuel, le trafic de données serait multiplié par 6 et le nombre d'équipements augmenterait de près de 65 % en 2030 par rapport à 2020, notamment du fait de l'essor des objets connectés. **Dans ce scénario tendanciel en 2030, l'empreinte carbone du numérique en France augmenterait d'environ 45 % en 2030 par rapport à 2020** ce qui représenterait 25 Mt CO₂eq contre 17,2 Mt CO₂eq en 2020.

Les scénarios alternatifs envisagés conduiraient à une moindre hausse, voire une diminution de l'empreinte carbone du numérique.

- **L'écoconception des équipements permettrait** une augmentation de la durée de vie des terminaux et une baisse de leurs consommations électriques unitaires. Les scénarios correspondants (écoconception modérée ou généralisée) permettraient, **par rapport à 2020, de limiter l'augmentation de l'empreinte carbone du numérique de 5 % à 20 %**, de réduire la consommation de ressources abiotiques (métaux & minéraux) de 4 % à 15 % et réduire la consommation électrique finale de 23 % à 42 %.

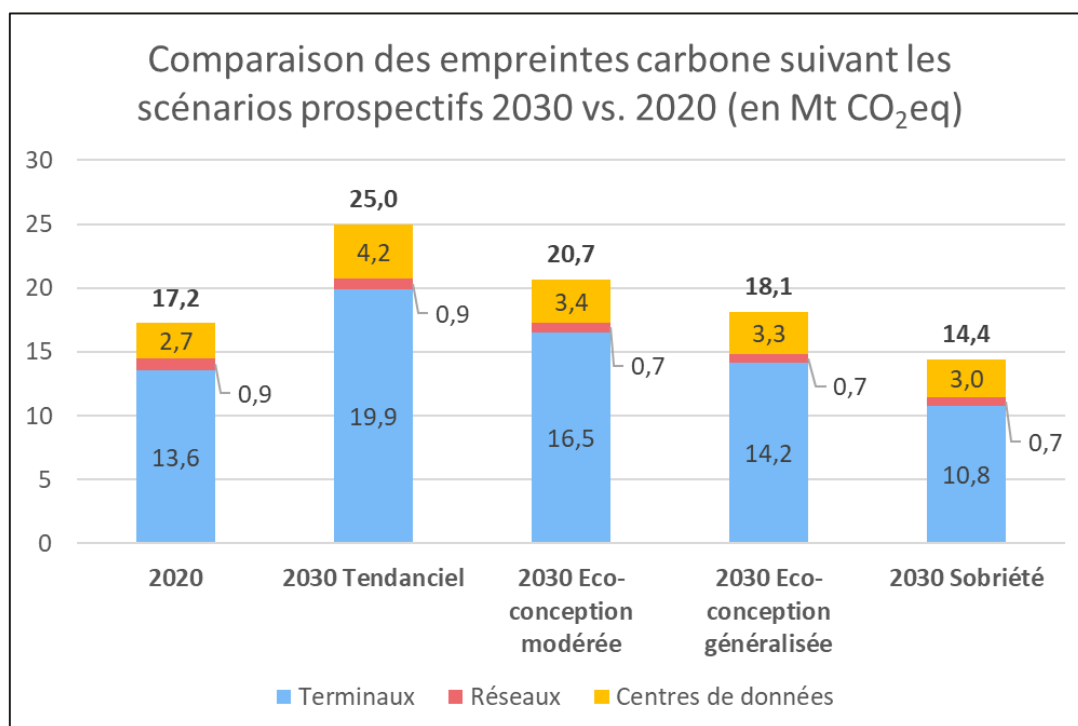
- Dans un scénario de sobriété numérique, les utilisateurs substituent leurs équipements pour des terminaux moins consommateurs, les conservent plus longtemps et adoptent des usages sobres notamment en matière de flux vidéos. L'ensemble des acteurs - industriels également - stabilisent leur nombre de terminaux, en particulier objets connectés, au niveau de 2020. Ce scénario de sobriété numérique représente le levier le plus important pour maîtriser l'empreinte environnementale du numérique. **Ce scénario de sobriété numérique permettrait de réduire l'empreinte carbone de 16 % (soit 14 Mt CO₂eq), la consommation de ressources abiotiques (métaux & minéraux) de 30 % et la consommation électrique de l'ordre de 52 % (soit 25 TWh) par rapport à 2020.**

¹ <https://librairie.ademe.fr/consommer-autrement/5226-evaluation-de-l-impact-environnemental-du-numerique-en-france-et-analyse-prospective.html>

- Dans tous les scénarios, les terminaux représentent la majorité de l'empreinte carbone (environ 80 %) et de l'épuisement des ressources abiotiques (métaux & minéraux, plus de 90 %). Les terminaux sont donc le premier levier d'inflexion de l'empreinte environnementale du numérique.

- Ces scénarios réduisent de manière significative la consommation électrique au global de chacun des composants du numérique (i.e. terminaux, centres de données et réseaux).

La sobriété et l'écoconception ne sont bien entendu pas des stratégies exclusives l'une de l'autre. Il s'agit dès lors de mobiliser l'ensemble des leviers à disposition des différentes parties prenantes. Les utilisateurs doivent être sensibilisés et les fabricants de terminaux, opérateurs de centres de données et opérateurs de communications électroniques ont un rôle clé à jouer.



HORIZON 2050 :

A horizon 2050, l'étude s'appuie sur les quatre modèles de société conçus par l'ADEME dans le cadre de l'exercice « transition(s) 2050 » qui aboutissent à la neutralité carbone du pays : S1 « Génération Frugale », S2 « Coopérations Territoriales », S3 « Technologies Vertes » et S4 « Pari réparateur ». Ces quatre modèles de société sont déclinés à l'échelle du secteur numérique en scénarios alternatifs, qui sont comparés au scénario tendanciel.

Il ressort de cette analyse que, **si rien n'est fait pour réduire l'empreinte environnementale du numérique, l'empreinte carbone pourrait tripler entre 2020 et 2050** dans le scénario tendanciel et représenter plus de 49 Mt CO₂eq. La consommation électrique du numérique en France augmenterait quant à elle d'environ 80 % pour atteindre 93 TWh (dont 39 TWh dus aux centres de données).

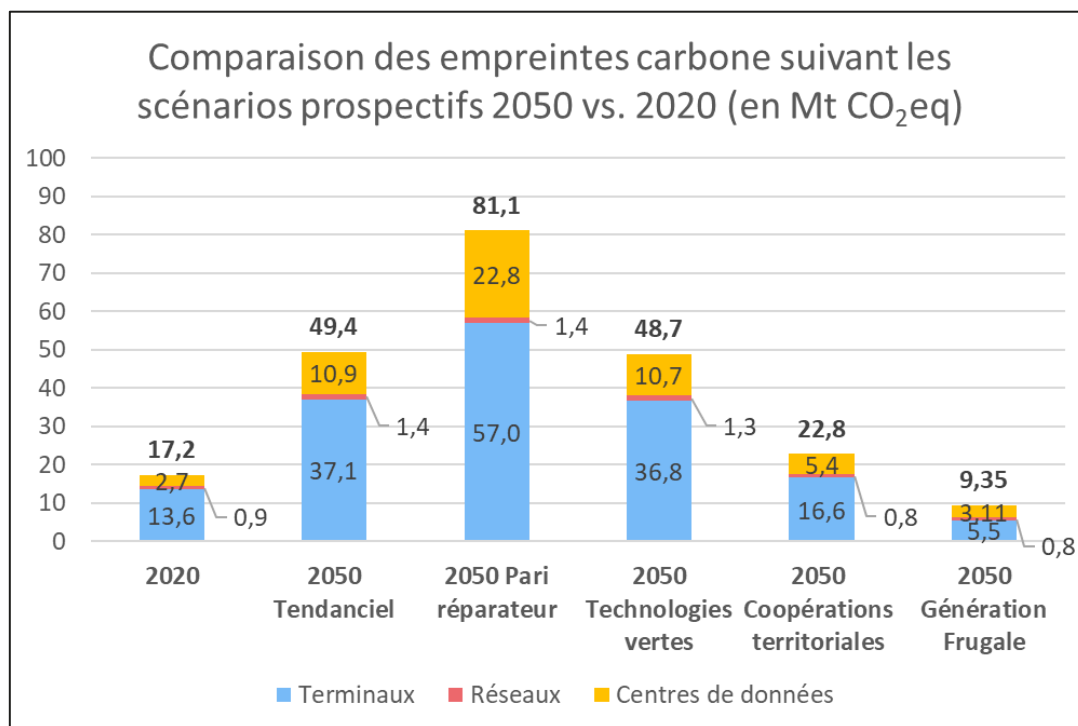
- Dans le scénario le moins sobre, « Pari réparateur », l'empreinte carbone pourrait quintupler par rapport à 2020 (soit 81 Mt CO₂eq) et la consommation électrique pourrait presque tripler (x2,6) par rapport à 2020 (et atteindre 137 TWh) du fait notamment de l'explosion des objets connectés et du développement des centres de données.

- A contrario, elle pourrait être divisée par deux par rapport à 2020 dans le scénario « Génération frugale » (soit 9,3 Mt CO₂eq) et la consommation électrique baisser plus de 75 % (et atteindre 12 TWh). C'est le scénario qui atténue le plus l'empreinte environnementale du numérique.

- Dans tous les scénarios, les terminaux représentent toujours la majorité de l'empreinte carbone. Les centres de données représentent ensuite l'essentiel de l'empreinte en lien avec les besoins de traitement grandissants.

Sur l'ensemble des autres critères, notamment l'épuisement des ressources abiotiques (minéraux & métaux), les terminaux représentent également la majorité de l'impact (entre 61 % et 86 % dans le scénario tendanciel). Le scénario « Pari réparateur » implique un report d'impact important, notamment sur les ressources abiotiques (minéraux & métaux). Ainsi, si tous ces scénarios s'inscrivent effectivement dans une société française atteignant la neutralité carbone en 2050, ils impliquent une part de l'empreinte carbone nationale allouée au numérique largement différente. Le scénario visant à maximiser l'utilisation du numérique pour la décarbonation d'autres secteurs (« Pari réparateur ») implique des reports d'impact sur d'autres critères environnementaux (notamment l'épuisement des ressources abiotiques « métaux et minéraux ») potentiellement très importants et pouvant questionner sa soutenabilité.

A l'horizon 2050 aussi, ces scénarios décrivent des chemins possibles sans être exclusifs les uns des autres et permettant tous la neutralité carbone. **La solution peut être trouvée dans un entre-deux, en mobilisant l'ensemble des leviers disponibles (sobriété, éco-conception, économie circulaire) et en s'appuyant sur le numérique comme levier**



1.3. Conclusion / mise en perspective

Les résultats de cette étude interpellent sur la trajectoire tendancielle que pourrait prendre le numérique si rien n'est fait. Les scénarios envisagés par l'ADEME, qui visent tous la neutralité carbone, impliquent des changements importants de nos sociétés, notamment en matière de recherche et développement, d'évolution des produits et services, dont certains sont encore inconnus, de modes de consommation, de modes de fabrication et de bonnes pratiques de la part des utilisateurs mais aussi des fabricants de terminaux, des opérateurs de réseaux et de centres de données.

L'étude met en évidence qu'un des enjeux environnementaux majeurs du numérique, outre son empreinte carbone, est la disponibilité des métaux stratégiques et autres ressources utilisées pendant la phase de fabrication des terminaux (principalement téléviseurs, ordinateurs, box internet et smartphones jusqu'en 2030 puis essor des objets connectés jusqu'en 2050 en lien notamment avec la mise en place de nouvelles technologies de réseaux mobiles).

Ainsi, il ressort de l'étude que le premier levier d'action pour limiter l'impact du numérique est la mise en œuvre de politiques de sobriété numérique qui commencent par une interrogation du besoin de nouveaux produits ou services et une réduction ou stabilisation du nombre d'équipements. L'allongement de la durée de vie des terminaux, via la mise sur le marché d'équipements éco-conçus, en développant davantage le reconditionnement et la réparation des équipements et en sensibilisant les consommateurs à ces impacts pour viser plus de sobriété est un axe majeur de travail.

De la même manière, l'écoconception doit être systématisée au-delà de la seule question des terminaux et couvrir l'ensemble des équipements (réseaux et centres de données) mais également les services numériques afin de limiter le trafic nécessaire à iso service et d'améliorer l'efficacité énergétique.

Pour atteindre l'objectif des accords de Paris en 2050, le numérique est certes un levier mais il doit également prendre la part qui lui incombe : Un effort collectif impliquant toutes les parties prenantes (utilisateurs, fabricants de terminaux et d'équipements, fournisseurs de contenus et d'applications, opérateurs de réseaux et de centres de données) est donc nécessaire.

2. Contexte du projet

2.1. Objectif de l'étude

La transition numérique, initialement perçue comme vectrice d'emplois, de croissance et de nouveaux modèles économiques, modifie profondément l'ensemble des secteurs d'activités. Du domicile au travail, en passant par l'entreprise, la ville et les services publics, les services numériques sont au cœur de notre quotidien et ont bouleversé nos comportements et nos modes de consommation.

L'immatérialité des services proposés est de plus en plus remise en cause par la matérialité sous-jacente des équipements et infrastructures nécessaires au secteur numérique (énergie, ressources, etc.). Les parties prenantes (entreprises, grand public, institutions, États, administrations) demandent à présent plus de transparence sur le sujet.

Celle-ci ne pourra cependant être mise en place que par la publication de données robustes et précises.

Les études et projets menés ces dix dernières années ont porté sur des thématiques précises, s'intéressant par exemple aux consommations d'énergie des centres de données, à l'obsolescence prématurée des terminaux ou encore à la gestion des déchets électroniques. D'autres études ont porté sur l'ensemble du cycle de vie des équipements du numérique, mais avec une approche monocritère, ou avec peu de critères environnementaux. Depuis plusieurs années, des publications (Empreinte environnementale du numérique mondial- EENM 2019 et Impacts du numérique en France – iNUM 2020 de GreenIT.fr, Rapport du Shift Project, Étude commandée par le Sénat, Rapport du haut conseil pour le climat sur la 5G, etc.) éclairent le débat.

Au vu de la connaissance accumulée sur le sujet des équipements et infrastructures numériques², est mise en évidence la nécessité d'adopter une approche plus globale, robuste et transparente qui soit à la fois :

- **Multicritère**, car les impacts environnementaux du numérique ne se réduisent pas aux émissions de gaz à effet de serre ;
- **Multi-étapes**, afin d'intégrer les impacts générés lors de toutes les étapes du cycle de vie des équipements et sur les 3 tiers du numérique (terminal, réseau, centres de données) ;
- **Multi composants**, afin d'appréhender ce système complexe qu'est l'association des terminaux utilisateurs, centres de données et réseaux de télécommunications, tous composés d'une multitude d'équipements ayant chacun des cycles de vie propre.

Par rapport à cela, la partie logicielle qui permet le pilotage et le fonctionnement des services détermine le besoin d'équipements ainsi que les consommations électriques associées. Elle est donc considérée de manière implicite, à travers ses impacts sur le cycle de vie des équipements.

C'est là tout l'intérêt et la pertinence de la méthode standardisée que constitue l'analyse du cycle de vie.

Or, pour parvenir à un point de vue global permettant de faire des choix éclairés, il est nécessaire de s'accorder sur les données d'inventaires, les données d'impacts, les flux, les méthodes et les scénarios d'usage liés au déploiement des services du secteur numérique à un instant donné. Cette approche permettra également, de manière dynamique, d'anticiper les évolutions à venir.

Le présent volet de l'étude, s'inscrit dans la continuité des travaux initiés par l'ADEME « Transition(s) 2050, Choisir maintenant, Agir pour le Climat »³, intitulée « analyse prospective à horizon 2030 et 2050 et pistes d'action à moyen et long terme ». Son objectif est d'éclairer le débat public, de tracer des scénarii de trajectoires des impacts environnementaux à horizon 2030 et 2050. En effet, ce rapport, qui est le troisième volet de l'étude, se concentre sur l'estimation des impacts environnementaux des équipements et infrastructures numériques à horizon 2030 et 2050. Il fait suite à la tâche 1 sur l'« état des lieux et pistes d'action » et la tâche 2 sur « l'évaluation environnementale des services numériques en France ».

La tâche 3 consiste à construire une vision de moyen / long terme des impacts environnementaux du numérique. Des analyses prospectives à horizon 2030 et 2050 ont été réalisées en s'appuyant sur les évolutions technologiques attendues (évolution des équipements terminaux, réseaux et centres de données) et sur les évolutions d'usage.

² « Impacts environnementaux des objets connectés et des services basés sur leur utilisation : Ordres de grandeurs et recommandations méthodologiques », 2021, Negaoctet pour ScoreLCA

³ Les travaux engagés par l'ADEME à travers l'étude « Transition 2050, Choisir maintenant, Agir pour le Climat » propose quatre scénarios pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. « Ils visent à articuler les dimensions technico-économiques avec des réflexions sur les transformations de la société qu'elles supposent ou qu'elles suscitent ». Site Web de l'ADEME : <https://transitions2050.ademe.fr/>

Le potentiel de réduction de consommation lié à l'émergence de nouvelles technologies et aux mesures d'efficacité énergétique est également pris en considération, compte tenu de la multiplication du nombre et du type de nouveaux équipements.

Afin d'étayer les analyses présentées dans ce rapport, des groupes de travail ont été réalisés avec une sélection d'acteurs experts du domaine.

Dans le cadre de ces différents travaux, les analyses sont basées sur des recherches documentaires, des données chiffrées actuelles et de prospective. Par ailleurs des analyses issues d'échanges, d'entretiens avec différents experts des domaines numériques ont également été réalisées afin de partager les orientations, visions et hypothèses. Pour autant, il demeure des incertitudes liées aux échéances lointaines de la réflexion (2030 – 2050). Enfin des limitations sont clairement identifiées et présentées afin de préciser les périmètres de réalisation de ces travaux de prospective. En effet les difficultés sont liées par exemple au changement technologique, aux nouvelles évolutions et technologies qui pourraient se faire jour dans le futur et qui ne peuvent à ce stade être documentées, évaluées, quantifiées à leur plus juste valeur. L'identification des limites de l'analyse (précisions sur les hypothèses, qualité des données, limitations méthodologiques relatives au besoin de raffinement de la modélisation) permettra par ailleurs de déterminer les pistes d'amélioration dans le cadre d'exercices futurs afin de contribuer à forger une estimation de plus en plus robuste et précise de l'évolution de l'impact environnemental du numérique en France.

2.2. Périmètre de l'étude

Cette étude permet de quantifier les impacts environnementaux des équipements et infrastructures numériques en France à horizon 2030 et 2050, conformément aux trois briques présentées ci-dessous :

- Les **terminaux** fixes et mobiles présents en France tels que les téléviseurs, ordinateurs, tablettes, objets connectés, smartphones, etc. ;
- Les **réseaux** déployés ;
- Les **centres de données** tels que définis par les normes ISO 30134 et EN 50 600 et tout ce qu'ils contiennent (notamment les équipements informatiques tels que les serveurs, les équipements réseaux et baies de stockage).

Cette étude couvre l'ensemble des infrastructures et équipements utilisés en France relatifs aux services numériques : ainsi, par exemple, sont uniquement pris en considération les centres de données localisés en France quelles que soient les données qu'ils hébergent. Les données d'entreprises, administrations, collectivités ou grand public qui pourraient être hébergées à l'étranger et les centres de données qui les hébergent ne sont donc pas comptabilisés. Néanmoins, dans une approche cycle de vie, sont aussi pris en considération l'ensemble des impacts environnementaux au-delà des frontières tels que la fabrication des équipements à l'étranger. La partie logicielle (impacts liés aux ressources humaines tels que le transport, le chauffage ou la nourriture, mais aussi l'influence du code sur la consommation de ressources matérielles et énergétiques) n'est pas couverte par cette étude. Par ailleurs, les impacts potentiels évités dans d'autres secteurs (bâtiment, industrie, mobilité, ...) par l'utilisation du numérique ne sont également pas pris en compte.

3. Méthode de l'analyse prospective

3.1. Objectifs et méthode de l'analyse prospective

Des analyses prospectives à horizon 2030 et 2050 ont été réalisées en s'appuyant sur les évolutions technologiques attendues (évolution des équipements terminaux, réseaux et centres de données) et sur les évolutions des modèles de gouvernance, des modèles économiques et territoriaux du numérique.

L'analyse prospective repose sur une démarche pluridisciplinaire et suppose d'intégrer un processus d'intelligence collective. Afin de garantir une vision partagée, un groupe de travail a suivi les étapes d'élaboration de cette analyse prospective. Il était composé d'acteurs du numérique et d'experts du groupement, sur l'ensemble de la chaîne de valeur :

- Opérateurs de réseaux fixes et mobiles (Orange, SFR, Iliad)
- Equipementiers (Apple, Nokia, Ericsson, HPE)
- Syndicats professionnels (FIEEC, AFNUM)
- Acteurs du contenu et du logiciel (Ekimetrics)

- Chercheurs et ingénieurs (Françoise Berthoud, Philippe Bihouix, Gauthier Roussilhe)
- Association (INR)
- Acteur public (DINUM)
- Experts du groupement

Enfin, il convient de noter que les analyses prospectives 2030 et 2050 correspondent à des logiques différentes. Tandis que l'analyse prospective 2030 propose des variations d'inflexion autour du scénario tendanciel, les scénarios 2050 ont pour objectifs de s'inscrire dans les 4 grands scénarios ADEME à horizon 2050 avec pour objectif d'envisager des modèles de sociétés très différents par scénario mais conduisant tous à la neutralité carbone. Ainsi le seul scénario commun aux deux exercices d'analyse prospective est donc le tendanciel, examiné en 2030 d'une part et 2050 d'autre part.

3.2. Analyse prospective 2030

L'analyse prospective à 2030 a pour objectif d'identifier les potentielles évolutions du numérique et leurs impacts environnementaux. Elle a comme point de départ la modélisation réalisée en tâche 1 et 2 selon une méthode ACV détaillée dans le deuxième des trois volets de l'étude. L'analyse s'est attelée à déterminer les évolutions possibles au travers d'un travail de recherche documentaire soutenu par un travail d'intelligence collective et d'interviews d'experts.

Elle a été menée en 4 étapes :

- Identification des grandes tendances d'usage susceptibles d'exercer une influence à moyen et long terme sur la modélisation établie en tâche 1 et 2 (évolution des usages, des services numériques et des infrastructures).
- Construction des hypothèses du scénario tendanciel 2030 à partir de la littérature et d'interviews d'experts
- Variations du scénario tendanciel en 3 scénarios : 1 scénario basé sur la sobriété numérique reposant sur de nouvelles pratiques dans les modes de consommation et de conception des outils numériques et 2 scénarios de généralisation des pratiques d'écoconception des équipements et services numériques
- Injection des hypothèses dans la modélisation réalisée au cours du volet 2 de l'étude

3.3. Analyse prospective 2050

« Face à l'urgence climatique, les changements à opérer sont d'une telle ampleur qu'il est pourtant indispensable d'accélérer les débats sur les choix de société à conduire mais le chemin pour l'atteindre reste encore flou, voire inconnu, pour les décideurs et les citoyens. C'est pourquoi l'ADEME a souhaité soumettre au débat quatre chemins « types », cohérents et contrastés pour conduire la France vers la neutralité carbone. Imaginés pour la France métropolitaine, ils reposent sur les mêmes données macroéconomiques, démographiques et d'évolution climatique (+2,1°C en 2100). Cependant, ils empruntent des voies distinctes et correspondent à des choix de société différents ». La présente étude a pour objectif d'alimenter la réflexion de l'ADEME et de l'Arcep sur la place du numérique plus ou moins importante dans ces différentes voies. L'analyse prospective à 2050 a pour objectif d'identifier les potentielles évolutions du numérique et leurs impacts environnementaux en fonction de ces 4 scénarios proposés par l'ADEME, en approfondissant la finesse de leur prise en compte. L'analyse prospective à 2050 vise ainsi à dégager des tendances d'évolution du numérique et n'a pas vocation à déterminer des trajectoires normatives/prescriptives en tant que telles du numérique à cet horizon.

Ce deuxième effort de prospective à échéance 2050, date souhaitée de l'atteinte de la neutralité carbone dans le cadre de la Stratégie Nationale Bas Carbone, s'appuie sur les tendances identifiées dans le cadre de la prospective à 2030. Il n'a donc pas vocation à identifier de nouvelles tendances.

Il a été mené en 4 étapes :

- Construction des hypothèses du scénario tendanciel 2050 à partir de la littérature, d'interviews d'experts et de la prolongation de tendance quand la donnée n'était pas disponible
- Analyse des inducteurs présentés dans les grands scénarios ADEME « Génération Frugale », « Coopérations Territoriales », « Technologies Vertes » et « Pari Réparateur »
- Variations du scénario tendanciel selon ces 4 scénarios
- Injection des hypothèses dans la modélisation réalisée en tâche 2

4. Scénarios 2030

4.1. Présentation des scénarios

Quatre scénarios prospectifs sont étudiés : un scénario correspondant à la projection des tendances actuelles (scénario dit tendanciel) et trois scénarios alternatifs (éco-conception modérée, éco-conception généralisée et sobriété numérique).

Les principaux paramètres distinguant les scénarios étudiés à horizon 2030 sont les suivants :

- le parc d'équipements (sur l'ensemble des tiers terminaux, réseaux, centres de données) ;
- la consommation électrique par équipement ou par terminal ;
- la durée de vie des terminaux ;
- la croissance du trafic de données due au développement des usages que permettent notamment les nouvelles technologies de réseaux mobiles comme la 5G.

D'autres paramètres techniques sont pris en compte et détaillés dans le rapport complet (paramètres de modélisation des réseaux et des centres de données).

4.1.1. Scénario tendanciel

Le scénario tendanciel est élaboré à partir de différents rapports, notamment ceux du Sénat (étude Citizing Empreinte carbone du numérique en France 2020⁴), de la Commission Européenne (ICT Impact Study 2020⁵) ou encore le rapport 2019 de l'EDNA⁶ sur les objets connectés⁷, afin d'estimer le taux de croissance des parcs des différents terminaux.

Les hypothèses caractérisant ce scénario sont les suivantes :

- Le réseau fibre se substitue progressivement au réseau de cuivre d'ici 2030 (ceci étant valable pour l'ensemble des scénarios). Les réseaux mobiles continuent d'être déployés avec la 5G de sorte que le nombre de supports (pylônes et toits-terrasse) suit la tendance actuelle. La surface occupée par les centres de données progresse d'environ 10 % entre 2020 et 2030.
- Les caractéristiques techniques propres à chaque équipement et leur empreinte environnementale sont modélisées à l'aide de la base de données Négaoctet et sont considérées comme constantes (pour ce qui relève des phases de fabrication, distribution et fin de vie). Les consommations électriques unitaires de la plupart des terminaux diminuent progressivement de -1 % à -5 % par an, selon le type de terminal considéré mais leur durée de vie reste globalement inchangée par rapport à 2020. Sur les réseaux, les consommations électriques unitaires (i.e. par équipement) sont constantes. Pour les centres de données, les consommations électriques par unité de surface augmentent d'environ 15 % entre 2020 et 2030, du fait de la densification des centres de données.
- La croissance du trafic internet est estimée à partir des projections de l'Agence Internationale de l'Energie (environ +20 % par an, soit une multiplication du trafic par 6 entre 2020 et 2030).

4.1.2. Scénarios d'éco-conception

Alternativement au scénario tendanciel, deux scénarios d'éco-conception (modérée ou généralisée) sont envisagés et se caractérisent par les hypothèses suivantes :

- L'écoconception des équipements permet une baisse des consommations électriques unitaires de respectivement -33 % à -50 % par rapport à 2020 pour la plupart des équipements (terminaux, réseaux et centres de données), selon le scénario d'éco-conception retenu (modérée ou généralisée).
- S'agissant des centres de données, des procédés de refroidissement innovants sont appliqués et permettent de réduire les consommations par unité de surface de -40 % à -55 % selon le scénario d'éco-conception.
- Le nombre de terminaux croît de façon identique au scénario tendanciel (le parc s'accroît de +66 % et atteint 1,3 milliards de terminaux, dont environ 800 millions d'objets connectés).
- Le développement de l'écoconception des terminaux permet d'augmenter leur durée de vie de 1 à 2 ans en moyenne selon le scénario (éco-conception modérée ou généralisée).
- Les usages se développent comme dans le scénario tendanciel.

⁴ https://www.citizing-consulting.com/wp-content/uploads/Rapport_Empreinte-carbone-du-num%C3%A9rique-2019-%C3%A0-2040_Citizing-1.pdf

⁵ [https://www.vhk.nl/downloads/Reports/2020/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://www.vhk.nl/downloads/Reports/2020/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf)

⁶ Electronic Devices & Networks Annex

⁷ <https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/publications/2019/06/A2b - EDNA TEM Report V1.0.pdf>

4.1.3. Scénario de sobriété numérique

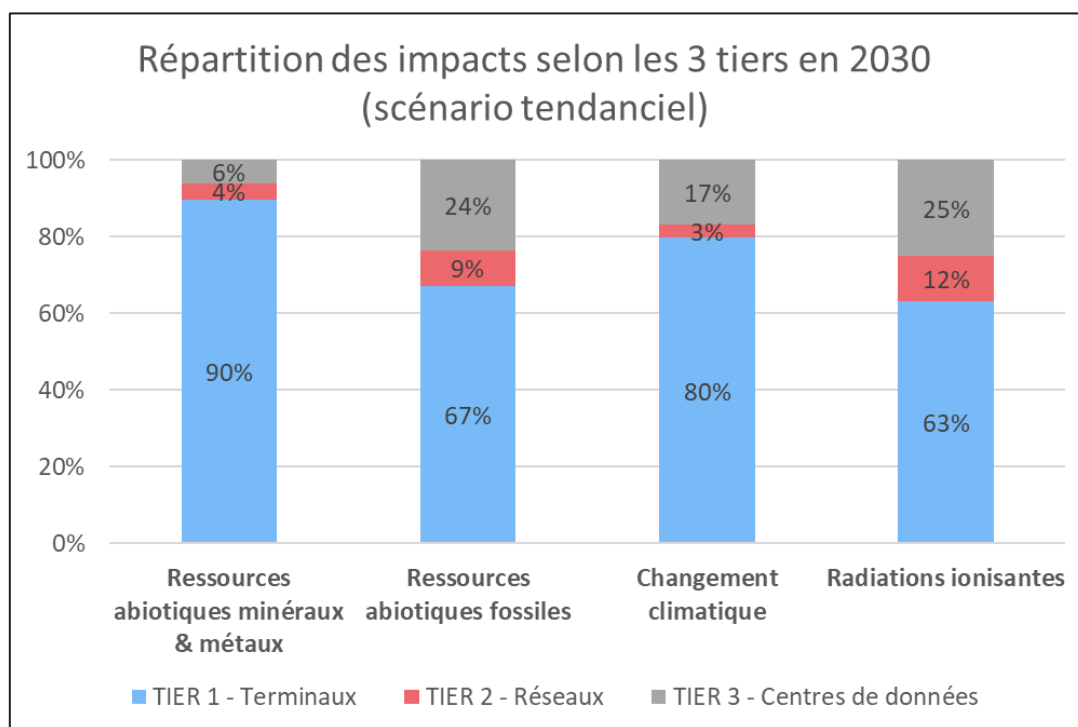
Dans le scénario de sobriété numérique, les consommateurs, entreprises et industriels ont un usage sobre du numérique, qui se caractérise comme suit :

- Des usages plus sobres se généralisent (limitations sur les flux vidéos et services numériques, renouvellement plus lent des équipements numériques). Cela se traduit par une augmentation de la durée de vie des terminaux de 2 ans et une diminution de moitié de la consommation électrique unitaire par rapport à 2020.
- Le nombre de terminaux mis sur le marché se stabilise au niveau de 2020 (en particulier le nombre d'objets connectés se stabilise à environ 250 millions d'unités). Le parc de téléviseurs est remplacé au profit des vidéoprojecteurs dont l'empreinte carbone en phase de fabrication est plus faible.
- Le trafic de données total croît dans des proportions équivalentes au scénario tendanciel (bien que légèrement inférieures) mais avec un report du trafic mobile vers le fixe du fait de l'utilisation du WiFi comme mode de connexion préféré.

4.2. Résultats 2030

A horizon 2030, si rien n'est fait pour réduire l'empreinte environnementale du numérique et que les usages continuent de progresser au rythme actuel (le trafic de données serait multiplié par 6 et le nombre d'équipements augmenterait de près de 65 % en 2030 par rapport à 2020, notamment du fait de l'essor des objets connectés), **l'empreinte carbone du numérique en France augmenterait d'environ 45 % en 2030 par rapport à 2020** ce qui représenterait 25 Mt CO₂eq contre 17,2 Mt CO₂eq soit 2,5 % de l'empreinte carbone nationale en 2020. La consommation de ressources abiotiques (métaux et minéraux) en phase de fabrication augmenterait quant à elle de 14 % par rapport à 2020 et la consommation électrique finale en phase d'usage augmenterait de 5 % par rapport à 2020 (pour atteindre 54 TWh par an).

Comme le montre le graphique ci-dessous, **les terminaux continuent de représenter la majorité de l'impact environnemental (entre 63 % et 90 %) sur l'ensemble des critères étudiés, notamment l'épuisement des ressources abiotiques (minéraux & métaux)** dans le scénario tendanciel en 2030. Ces résultats sont similaires, en ordre de grandeur, aux résultats exposés en 2020.

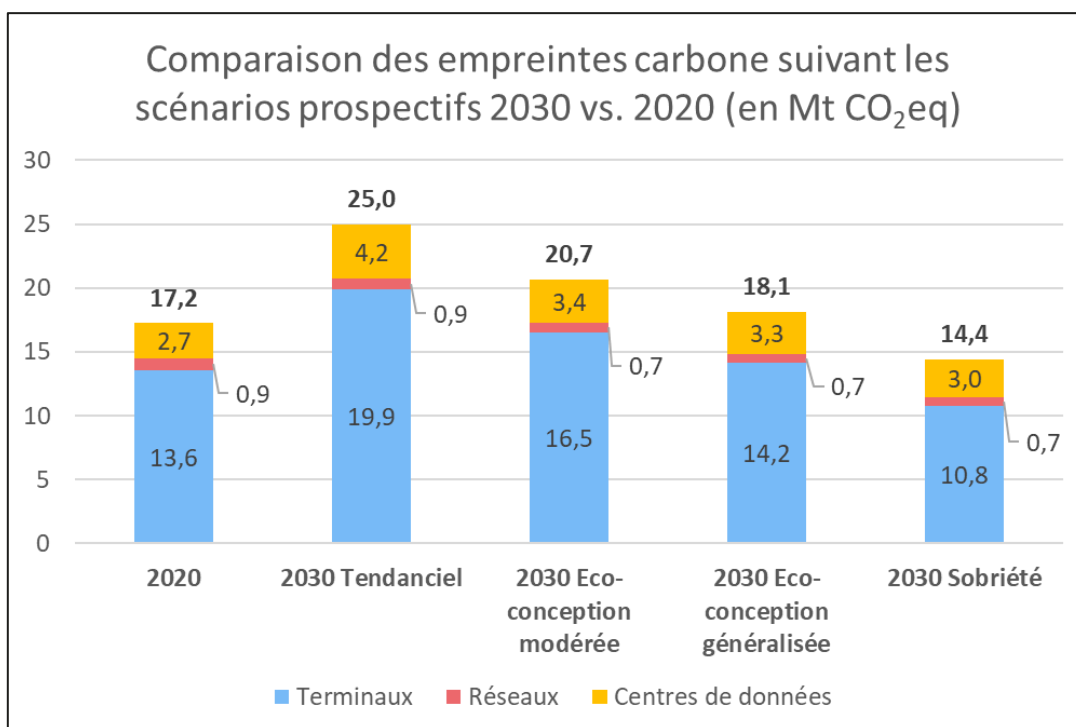


Cette tendance pourrait néanmoins être infléchie. L'étude met en effet évidence que les scénarios alternatifs envisagés conduiraient à une moindre hausse voire une diminution de l'empreinte carbone du numérique :

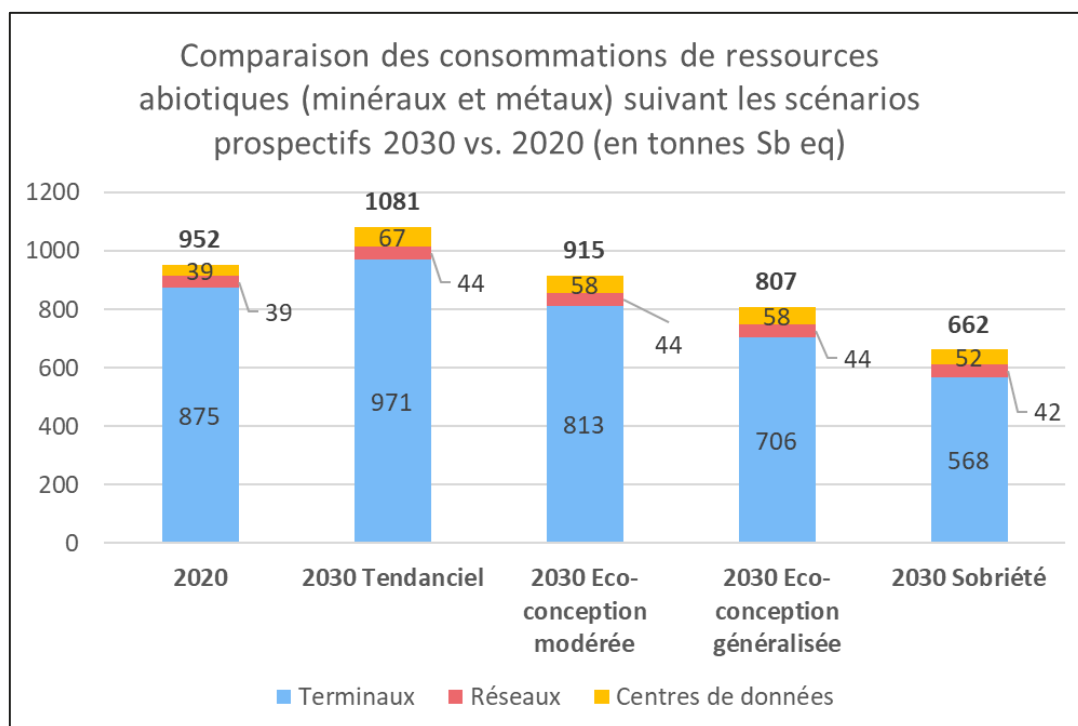
- L'éco-conception des équipements permettrait une augmentation de la durée de vie des terminaux et une baisse de leurs consommations électriques unitaires. Ces scénarios (écoconception modérée ou généralisée) permettraient de limiter l'augmentation de l'empreinte carbone du numérique de 5 % à 20 %, de réduire la consommation de ressources abiotiques (métaux & minéraux) de 4 % à 15 % et réduire la consommation électrique finale de 23 % à 42 % par rapport à 2020.
- L'augmentation de la durée de vie des terminaux de 1 ou 2 ans permettrait d'économiser respectivement 3,2 Mt et 5,2 Mt de CO₂eq en phase de fabrication de ces derniers par rapport au scénario tendanciel et de

diminuer la consommation de ressources abiotiques (métaux & minéraux) de 167 à 274 tonnes Sb eq par rapport au scénario tendanciel.

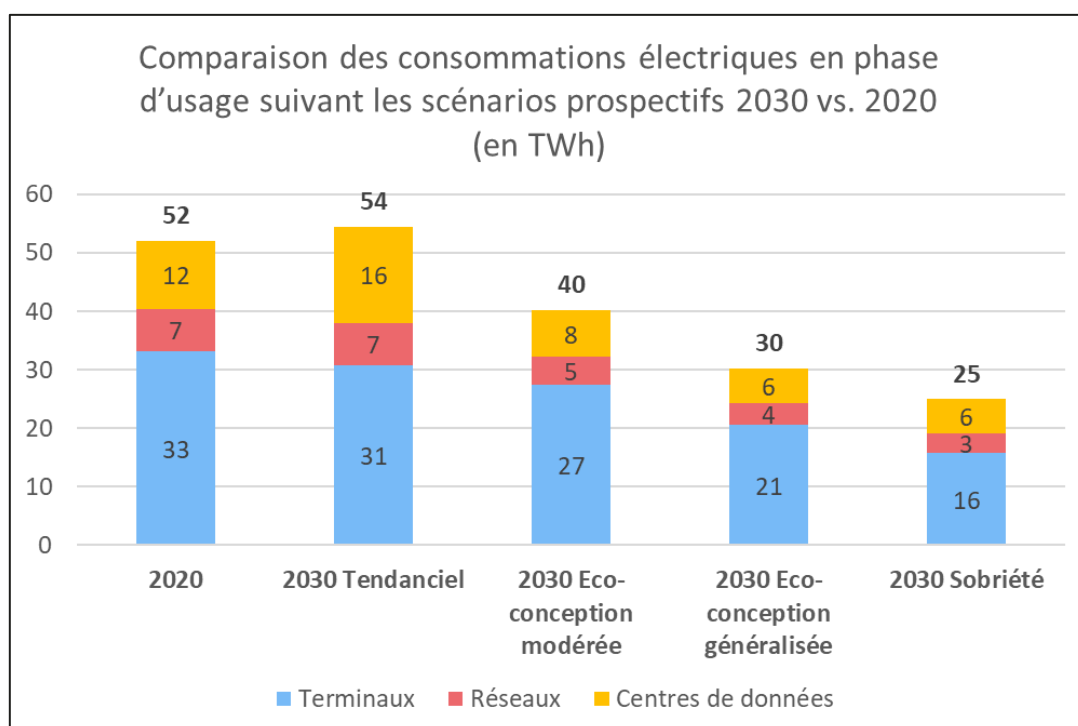
- La baisse de la consommation unitaire des terminaux permet d'économiser entre 0,16 Mt et 0,5 Mt de CO₂eq en phases d'usage par rapport au scénario tendanciel et de diminuer la consommation électrique finale de 14 à 24 TWh par rapport au scénario tendanciel.
- Dans un scénario de sobriété numérique, les utilisateurs substituent leurs équipements pour des terminaux moins consommateurs, les conservent plus longtemps et adoptent des usages sobres notamment en matière de flux vidéos. L'ensemble des acteurs - industriels également - stabilisent leur nombre de terminaux, en particulier objets connectés, au niveau de 2020. Ce scénario de sobriété numérique représente le levier le plus important pour maîtriser l'empreinte environnementale du numérique. Un tel scénario permettrait de réduire l'empreinte carbone de 16 % (soit 14 Mt CO₂eq), la consommation de ressources abiotiques (métaux & minéraux) de 30 % et la consommation électrique de l'ordre de 52 % (soit 25 TWh) par rapport à 2020.
- Les terminaux sont le premier levier d'inflexion de l'empreinte environnementale du numérique, notamment en matière d'empreinte carbone, de ressources abiotiques et de consommation électrique. En effet, dans tous les scénarios, les terminaux représentent la majorité de l'empreinte carbone (environ 80 %).



Dans tous les scénarios, les terminaux représentent la majorité de la consommation de ressources abiotiques (métaux et minéraux) (cf. graphique ci-dessous).



Dans tous les scénarios, les terminaux représentent la majorité de la consommation électrique en phase d'usage mais les centres de données pourraient également représenter une part importante de celle-ci à horizon 2030 (jusque 16 TWh, soit 30 % de la consommation électrique totale en 2030 dans le scénario tendanciel, cf. graphique ci-dessous).



5. Scénarios 2050

L'analyse prospective à horizon 2050 repose sur les quatre scénarios imaginés par l'ADEME en novembre 2020 pour conduire la France vers la neutralité carbone (Génération Frugale, Coopérations Territoriales, Technologies Vertes et Pari Réparateur).

Ces quatre scénarios aboutissent à la neutralité carbone de l'ensemble de l'économie française en 2050 et non par secteur économique. Ces scénarios empruntent des voies distinctes et correspondent à des choix de société différents, avec des implications fortes et variées sur le reste de l'économie.

Ainsi, pour chaque scénario ADEME de neutralité carbone à 2050, un ensemble d'hypothèses structurantes définissent la place du numérique dans la société française à cet horizon. Ces hypothèses permettent ainsi de modéliser ce que

deviendrait l'impact environnemental du numérique en 2050. En conséquence, si l'empreinte carbone du numérique varie d'un scénario à l'autre, les 4 scénarios impliquent bien une neutralité carbone à l'échelle nationale sur l'ensemble de l'économie française contrairement au scénario tendanciel.

Cette étude a permis d'approfondir et préciser les hypothèses de déploiement du numérique retenues dans Transition(s)2050.

5.1. Présentation des scénarios 2050 ADEME déclinés au numérique

5.1.1. Scénario Génération Frugale S1

Dans ce scénario, la sobriété des modes de consommation au plus près des besoins permet une réduction de la demande en énergie, matières et ressources et l'éco-conception généralisée permet de minimiser l'impact environnemental des terminaux :

- Le parc de terminaux diminue sensiblement via un taux d'équipement moindre des foyers poussés par la sobriété : par exemple, le nombre d'ordinateurs par foyer est divisé par 3 et le nombre de téléphones diminue de 20 % par rapport à 2020. Le nombre d'objets connectés reste constant par rapport à 2020.
- La durée de vie des terminaux est allongée en moyenne de 2 ans.
- Les fabricants généralisent l'éco-conception de leurs équipements et les usages sont plus sobres : la consommation électrique unitaire (sur l'ensemble des segments terminaux, réseaux et centres de données) est divisée par 3 par rapport à 2020.
- Les réseaux mobiles recourent à davantage de mutualisation.
- La surface informatique occupée des centres de données est équivalente à celle de 2020 (optimisation des centres de données pour contenir l'évolution des usages).
- Le trafic de données est réduit par rapport au scénario tendanciel, et croît d'un peu plus de 10 % par an (vs. 20 % par an pour le scénario tendanciel). Le trafic sur réseaux mobiles croît moins vite du fait de l'utilisation du WiFi comme mode de connexion préféré.

5.1.2. Scénario Coopérations Territoriales S2

Dans ce scénario, l'ADEME projette une société qui se transforme dans le cadre d'une gouvernance partagée et de coopérations territoriales impliquant organisations non gouvernementales, institutions publiques, secteur privé et société civile. Un maillage territorial des équipements est organisé, avec une décentralisation des centres de données permettant de diminuer les temps d'accès et l'énergie nécessaire aux transferts de données. Les objets connectés sont utilisés principalement dans un objectif de gain énergétique (y compris dans les habitations) et de fluidité des services publics.

En conséquence, les évolutions supposées sur les paramètres du modèle sont les suivants :

- Le parc d'équipements (sur l'ensemble des segments terminaux, réseaux, centres de données) est proche de son niveau de 2020, sauf pour le nombre d'objets connectés qui est multiplié par 3 par rapport à 2020.
- Les fabricants généralisent l'éco-conception de leurs équipements : la consommation électrique unitaire (sur l'ensemble des segments terminaux, réseaux et centres de données) est divisée par 2 par rapport à 2020. La durée de vie des équipements des terminaux est prolongée en moyenne d'un an par rapport à 2020.
- La superficie des centres de données augmente d'environ 50 % par rapport à 2020.
- Le trafic de données est réduit par rapport au scénario tendanciel, et croît d'un peu plus de 15 % par an (vs. 20 % par an pour le scénario tendanciel).

5.1.3. Scénario Technologies Vertes S3

Dans ce scénario, **c'est le développement technologique qui permet de répondre aux défis environnementaux plutôt que les changements de comportements vers plus de sobriété**. Le nombre d'objets connectés est multiplié par un facteur 6 par rapport à 2020. La surface informatique occupée par les centres de données double du fait de la généralisation de l'informatique en nuage.

Ce scénario est proche du scénario tendanciel à la fois en termes de consommation énergétique unitaire, de croissance du parc d'équipements, et de durée de vie.

5.1.4. Scénario Pari Réparateur S4

Le 4ème scénario correspond à une situation où les usages continuent de se développer largement (« tout est digitalisé ») et le développement technologique apporte une solution suffisante pour compenser les impacts environnementaux :

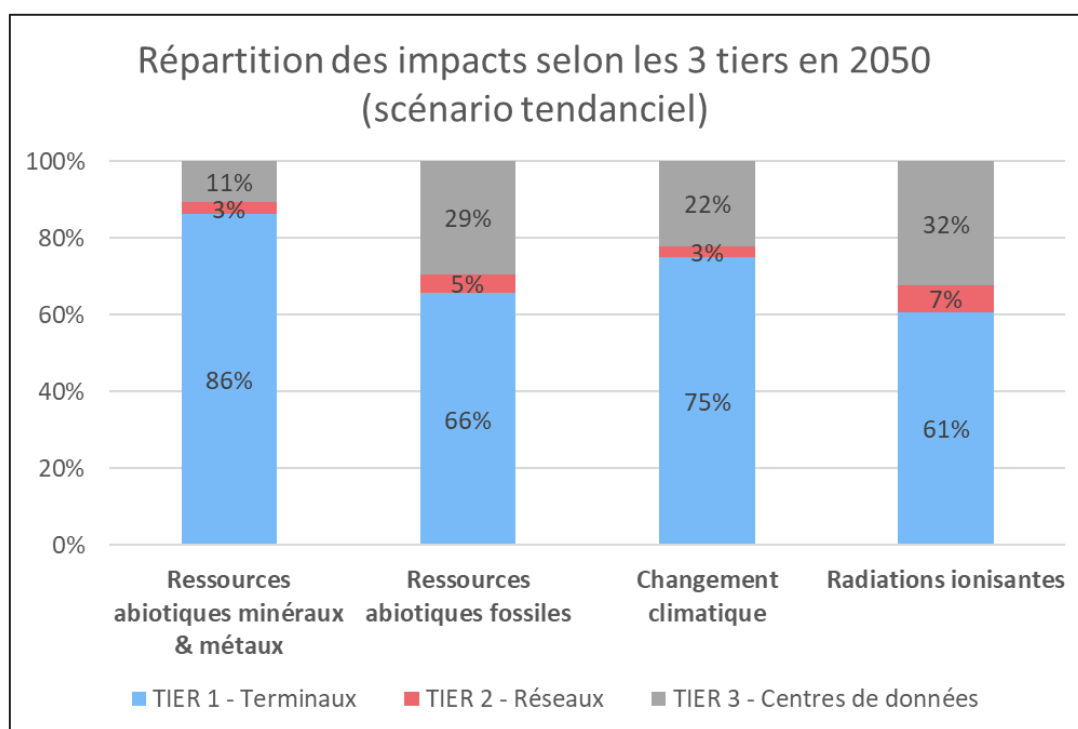
- Le parc de terminaux s'accroît surtout du fait de l'explosion du nombre d'objets connectés (plus de 10 milliards d'objets connectés en 2050, x40 par rapport à 2020).

- Les consommations électriques unitaires (sur l'ensemble des tiers terminaux, réseaux et centres de données) sont équivalentes à celles du scénario tendanciel.
- les déploiements de réseaux se poursuivent à un rythme élevé, notamment pour la 5G et les générations au-delà (6G et plus).
- la surface informatique des centres de données est multipliée par 4 par rapport à 2020.
- La durée de vie des terminaux est identique au scénario tendanciel.
- Le trafic de données augmente plus vite que le scénario tendanciel, et croît d'un peu plus de 25 % par an (vs. 20 % par an pour le scénario tendanciel).

5.2. Résultats 2050

A horizon 2050, si rien n'est fait pour réduire l'empreinte environnementale du numérique l'empreinte carbone pourrait quasiment tripler par rapport à 2020 dans le scénario tendanciel (plus de 49 Mt CO₂eq). La consommation électrique augmenterait d'environ 80 % par rapport à 2020 (et atteindrait 93 TWh).

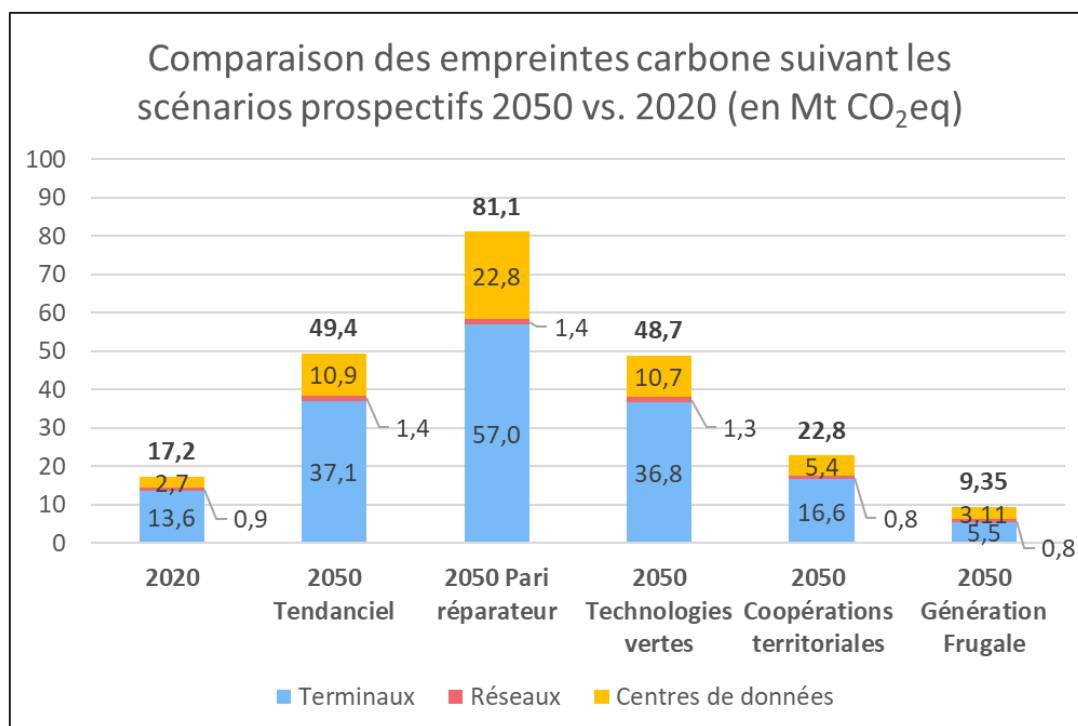
L'analyse prospective montre que les terminaux représentent toujours la majorité de l'impact (entre 61 % et 86 %) sur l'ensemble des indicateurs étudiés, notamment l'épuisement des ressources abiotiques (minéraux & métaux). La typologie des terminaux a évolué par rapport à 2020, notamment avec l'essor des objets connectés. De plus, la part de l'impact des terminaux diminue légèrement sur la plupart des indicateurs considérés alors que celle des centres de données progresse par rapport à la répartition observée en 2020.



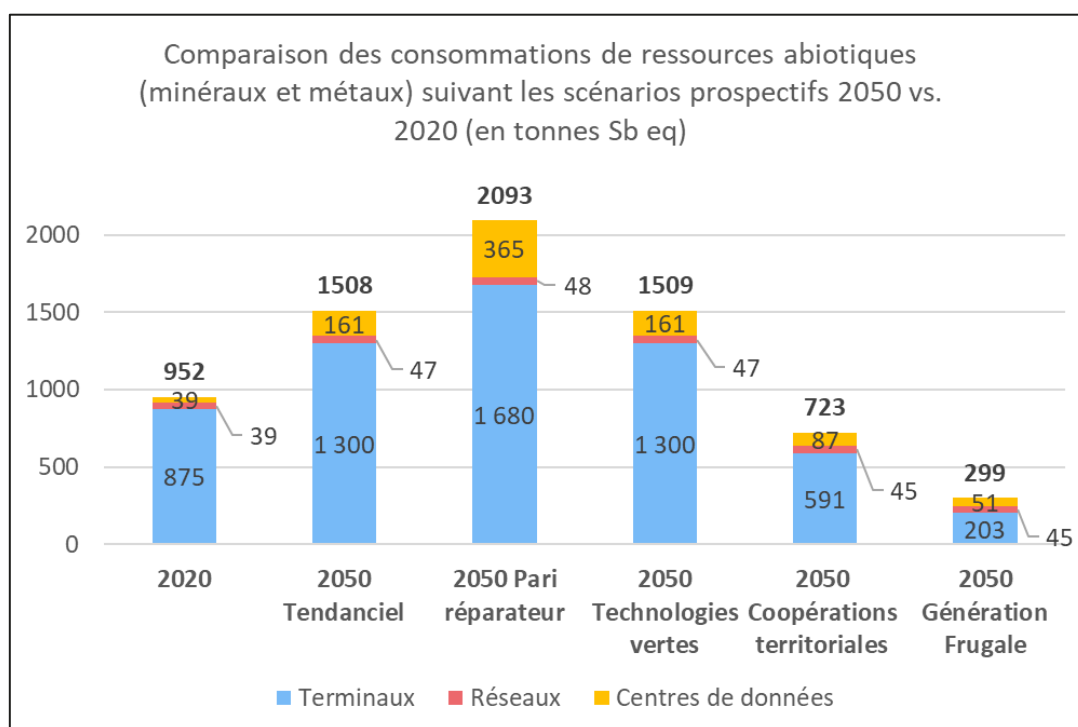
Dans le scénario « Pari réparateur », l'empreinte carbone pourrait quintupler par rapport à 2020 (soit 81 Mt CO₂eq), la consommation de ressources abiotiques (métaux & minéraux) pourrait doubler par rapport à 2020 (pour atteindre 2090 tonnes Sb eq) et la consommation électrique pourrait presque tripler (x2,6) par rapport à 2020 (et atteindre 137 TWh) du fait notamment de l'explosion des objets connectés et du développement des centres de données.

A l'inverse, dans le scénario « Génération frugale », l'empreinte carbone pourrait être divisée par deux par rapport à 2020 (pour atteindre 9,3 Mt CO₂eq), la consommation de ressources abiotiques (métaux & minéraux) pourrait être divisée par trois par rapport à 2020 (pour atteindre 299 tonnes Sb eq) et la consommation électrique baisser de près de 75 % par rapport à 2020 (et atteindre 12 TWh). C'est le scénario qui atténue le plus l'empreinte environnementale du numérique.

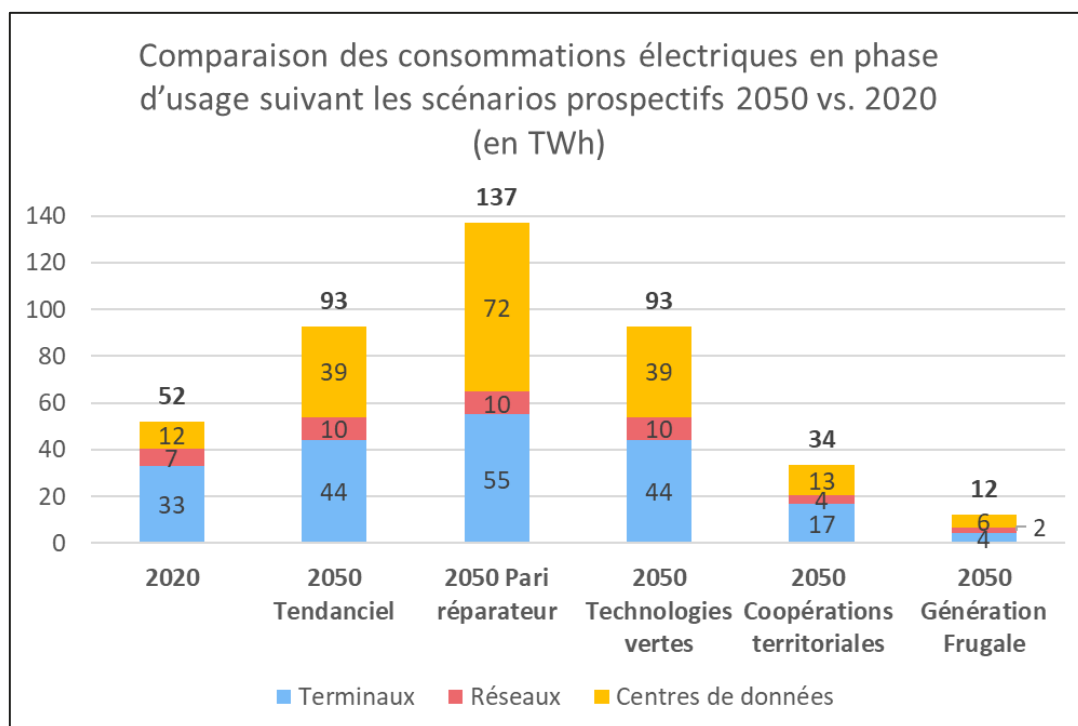
Dans tous les scénarios, les terminaux représentent toujours la majorité de l'empreinte carbone. Les centres de données représentent ensuite l'essentiel de l'empreinte en lien avec les besoins de traitement grandissants (cf. graphique ci-dessous). Si tous les scénarios ADEME visent à atteindre la neutralité carbone, ils impliquent une part de l'empreinte carbone nationale allouée au numérique largement différente.



Le scénario visant à maximiser l'utilisation du numérique pour la décarbonation d'autres secteurs (« Pari réparateur ») implique possiblement des reports d'impact sur d'autres aspects (notamment l'épuisement des ressources abiotiques « métaux et minéraux ») possiblement très important et pouvant questionner par là sa soutenabilité (cf. graphique ci-dessous).



Les centres de données pourraient représenter la part majoritaire de la consommation électrique à horizon 2050 (jusque 72 TWh, soit 52 % de la consommation électrique totale du numérique en 2050 dans le scénario « Pari réparateur ») et dépasser la consommation électrique induite par les terminaux (cf. graphique ci-dessous).



6. Limites de l'étude

L'incertitude sur la projection de données est inhérente à l'exercice de prospective, a fortiori dans un secteur numérique en évolution très rapide et à des horizons aussi lointains que 2050. Par ailleurs, la modélisation retenue ici (approche essentiellement Top-Down qui repose sur des hypothèses de projections de données d'inventaires et de consommation énergétique) ne permet pas de tenir compte de la complexité de l'évolution de l'infrastructure du numérique. Cela requiert une approche de modélisation plus fine et trop complexe ici afin de capturer l'interdépendance entre les différents tiers du numérique.

Le rapport détaille les limites méthodologiques et notamment concernant :

- Incertitude sur le nombre d'équipements, leurs caractéristiques, leurs impacts hors phase d'usage, leurs durées de vie et leurs consommations d'énergie.
- Caractéristiques techniques et données d'impact des équipements sont celles des équipements de 2020.
- Réseaux et équipements exclus
- Prise en compte de taux de collecte et de recyclage qui sont les mêmes qu'en 2020
- Maintenance et upgrade non prise en compte
- Services numériques hors France et services numériques associés à l'usage hors France
- Calcul de la consommation électrique des réseaux basé sur le deuxième volet de l'étude (résultats qui devront être réactualisés suite aux travaux de l'ARCEP notamment sur la réparation entre réseaux fixes et mobiles)
- Energie verte, obligations vertes, autoconsommation, compensation carbone, neutralité carbone non prises en compte
- Objets connectés dont l'approche nécessiterait d'être renforcée par une analyse plus fine des équipements concernés afin de réduire l'incertitude associée
- Technologies nouvelles non prises en compte
- Différences entre cette étude sectorielle sur les impacts environnementaux du numérique en France et les travaux transition(s) 2050
 - Périmètre ainsi que les approches de modélisation différents
 - Dans l'exercice transition(s) 2050 de l'ADEME, l'impact du numérique n'a pas été pris en compte de manière sectorielle mais plutôt intégré comme une partie d'autres secteurs notamment dans le secteur du bâtiment (par exemple consommation des terminaux dans le résidentiel et le tertiaire, ou des centres de données dans le tertiaire).

L'ARCEP EN BREF

L'Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse, arbitre expert et neutre au statut d'autorité administrative indépendante, est l'architecte et la gardienne des réseaux d'échanges internet, télécoms fixes, mobiles, postaux et de la distribution de la presse en France.

A sa création, le Parlement lui a confié la mission d'accompagner l'ouverture à la concurrence du secteur des communications électroniques, afin que de nouveaux opérateurs puissent émerger aux côtés de l'opérateur historique (France Télécom, devenu Orange), et ce, au bénéfice de l'utilisateur final. Veiller à ce que les réseaux se développent comme un bien commun est la mission de l'Arcep.

Aujourd'hui, la place des nouvelles technologies est interrogée dans notre société, notamment quant à leur impact environnemental. L'Arcep a pris acte de cet enjeu en ouvrant un nouveau chapitre de la régulation. Elle se met à l'écoute de ces interrogations et anime le débat sur les réseaux du futur et leur place dans la société en tant qu'expert neutre du secteur.

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique - nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, alimentation, déchets, sols, etc., nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES MISSIONS DE L'ARCEP



Définir la réglementation applicable à tout ou partie des opérateurs.



Attribuer, par des décisions individuelles, des ressources **en fréquences ou en numérotation**.



Veiller au financement et à la **fourniture du service universel**.



Faire part de son expertise, au moyen des avis et actes de « droit souple » qu'elle rend à la demande **du Gouvernement, du Parlement ou des autres autorités de régulation**



Dialoguer régulièrement avec les acteurs du secteur, pour conserver une connaissance fine des marchés qu'elle régule.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.