

POTENTIEL DE CONTRIBUTION DU NUMÉRIQUE A LA RÉDUCTION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX : ÉTAT DES LIEUX ET ENJEUX POUR LA PROSPECTIVE

Décembre 2016

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par *Deloitte Développement Durable, EcoInfo, Futuribles et le CRÉDOC*

Contrat n°15 10 C0035

Coordination technique ADEME : *Laurent Meunier, Patrick Jolivet, Service Économie et Prospective, ADEME*



REMERCIEMENTS

Membres contributeurs :

DELOITTE DEVELOPPEMENT DURABLE	Benoît Tinetti Pierre-Alexis Duvernois Yannick Le Guern
ECOINFO	Françoise Berthoud Carole Charbuillet Cédric Gossart Anne-Cécile Orgerie Laurent Lefèvre
FUTURIBLES	François de Jouvenel Cécile Desaunay
CREDOC	Pascale Hébel

Nous tenons également à remercier les membres du Comité de Pilotage qui ont activement participé à l'étude.

ADEME	Alain Anglade Philippe Bajeat Marion Berthelon Fabienne Benech Cyrielle Borde Daniel Clément Amandine Crambes Alain Geldron Patrick Jolivet Laurent Meunier Marie Payeur Hervé Pernin Gabriel Plassat Olivier Réthoré
DGE	Marie-Catherine Lejard

CITATION DE CE RAPPORT

Tinetti B., Duvernois P-A., Le Guern Y., Berthoud F., Charbuillet C., Gossart C., Orgerie A-C., Lefèvre L., de Jouvenel F., Desaunay C., Hébel P. (2016), Potentiel de contribution du numérique à la réduction des impacts environnementaux : Etat des lieux et enjeux pour la prospective – Rapport Final ADEME, 145 pages.

Copyright :

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

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	4
II. ENSEIGNEMENTS DE LA RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE	6
II.1. LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU NUMERIQUE, UN SUJET DE PLUS EN PLUS INVESTIGUE	6
II.2. CONCLUSIONS DE LA RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE	6
III. FOCUS SUR PLUSIEURS USAGES DES TICS	8
III.1. SELECTION DE PUBLICATIONS POUR ANALYSE APPROFONDIE.....	8
III.2. LE TELETRAVAIL	8
III.3. LA DEMATERIALISATION	9
III.4. LE E-COMMERCE	10
III.5. AUTRES FOCUS	11
IV. INTEGRATION DU NUMERIQUE DANS LES ETUDES PROSPECTIVES.....	12
IV.1. ENSEIGNEMENTS SUR LES TRAVAUX PROSPECTIFS PREEXISTANTS EN LIEN AVEC LES TICS	12
IV.2. RELECTURE CRITIQUE DES TRAVAUX PROSPECTIFS DE L'ADEME	12
V. RECOMMANDATIONS POUR DES TRAVAUX FUTURS	13
V.1. RECOMMANDATIONS POUR AMELIORER LES CONNAISSANCES DE L'ADEME SUR LES IMPACTS DU NUMERIQUE	13
V.2. RECOMMANDATIONS EN VUE D'INTEGRER LE NUMERIQUE DANS LES ETUDES PROSPECTIVES DE L'ADEME	15
VI. CONCLUSIONS	16

I. INTRODUCTION

Contexte

Le numérique est présent dans quasiment tous les aspects de notre quotidien et de notre économie. Certaines technologies de l'information et de la communication (TICs) et les usages associés paraissent maintenant incontournables (téléphone portables, moyens de communication en ligne, e-commerce, etc.).

Le soutien de l'économie numérique et du développement des TICs est fréquemment présenté comme faisant partie intégrante d'une démarche globale de développement d'une économie verte.

Malgré les vertus « écologiques » largement communiquées du numérique, force est de constater que les impacts environnementaux sont encore aujourd'hui relativement mal connus. On trouve relativement peu d'études environnementales complètes et publiques dans ce domaine. La plupart se basent sur des données génériques, relativement anciennes alors que ces technologies évoluent à une rapidité extraordinaire.

Il paraît essentiel donc aujourd'hui d'apporter des éléments plus complets permettant aux décideurs et autres acteurs des sphères publiques et privées de comprendre, évaluer, et a minima avoir une idée plus étendue des impacts directs, indirects et systémiques des services proposés par l'économie numérique.

Objectifs de la mission

Dans ce contexte, l'ADEME souhaite améliorer ses connaissances sur la contribution du numérique à la réduction des impacts environnementaux et disposer d'une revue bibliographique des études menées récemment sur ce sujet afin de pouvoir dresser la typologie des effets du numérique. Les objectifs opérationnels qui en découlent sont les suivants :

- Dresser un état des lieux des données disponibles sur les impacts environnementaux liés au numérique, et identifier les zones d'incertitudes ou de manques ;
- Analyser les points de convergence entre les études, et les points de divergence en se focalisant sur les éléments explicatifs ;
- Approfondir certaines études déjà réalisées ou en cours au sein de l'ADEME (et les autres exercices prospectifs menés par l'ADEME) ;
- Identifier les conditions permettant d'optimiser les bénéfices environnementaux liés au numérique ; et
- Établir des recommandations d'actions à conduire et identifier les besoins en études supplémentaires.

Pour atteindre les objectifs précédemment mentionnés, l'étude s'articule en deux volets :

- **Volet 1** : Réalisation d'un état des lieux des connaissances sur les impacts directs, indirects et systémiques du numérique, en vue d'identifier les principaux enjeux et les principales zones d'ombre ; et
- **Volet 2** : Éléments d'appréciation de la contribution du numérique à la réduction des impacts environnementaux et croisement avec les études prospectives de l'ADEME.

Périmètre de l'étude

Au regard des objectifs de l'étude, il a été convenu que rentrent dans le périmètre de l'étude les impacts directs des TICs elles-mêmes (impacts de 1^{er} ordre), les impacts indirects (de 2^{ème} ordre) liés à l'application des TICs à d'autres secteurs (effets d'optimisation ou de substitution), et les impacts dits systémiques (de 3^{ème} ordre) qui concernent les transformations structurelles permises par le numérique (économie collaborative, télétravail, etc.).

Le Volet 2 de l'étude correspond à un focus sur trois usages en particulier : le télétravail, le e-commerce et la dématérialisation. Ce volet comprend également une analyse critique des travaux de prospective existants.

Méthodologie

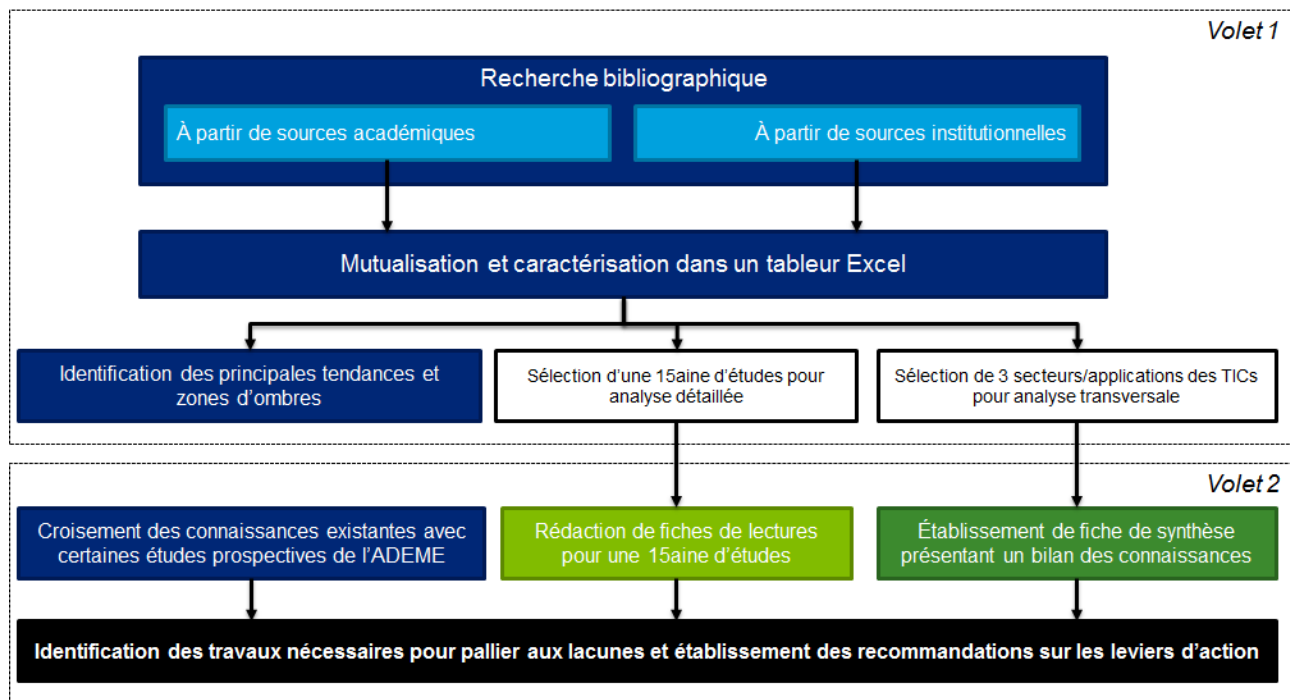


Figure 1 – Méthodologie générale de la mission

II. ENSEIGNEMENTS DE LA RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

II.1. LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU NUMERIQUE, UN SUJET DE PLUS EN PLUS INVESTIGUE

114 documents jugés pertinents ont été identifiés et analysés. Une des premières tendances analysées a été l'évolution du nombre de publications pertinentes identifiées en fonction de l'année, comme le montre le graphique ci-dessous.

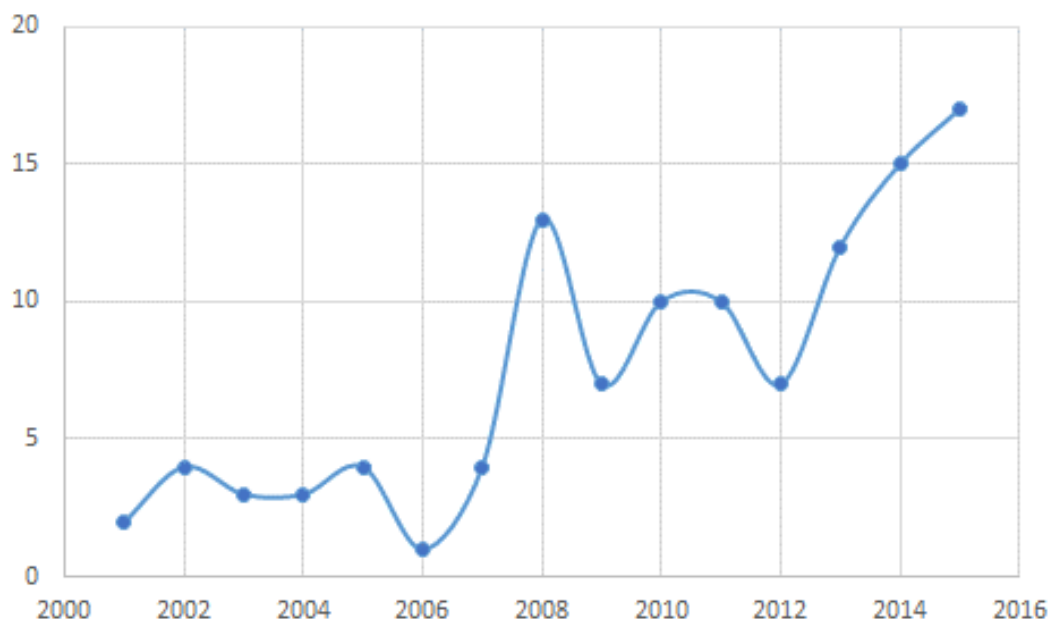


Figure 2 – Évolution entre 2000 et 2015 du nombre de publications pertinentes identifiées au cours de l'étude

La sélection ne s'est basée que sur les articles jugés les plus pertinents au vu des objectifs de la présente étude et les statistiques d'évolution du nombre d'articles sont donc à prendre avec précaution.

Cependant, il est intéressant de relever la fluctuation du nombre d'études/articles scientifiques en fonction de facteurs non scientifiques comme l'arrivée d'une nouvelle réglementation (cas du télétravail aux USA au début des années 2000 avec un grand nombre de publications entre 2002 et 2006 puis une diminution), le développement de l'e-commerce pour lequel l'argument écologique a été utilisé, ou évidemment l'émergence de nouvelles technologies (visio-conférences, e-reader, smartx notamment). À l'évidence, le nombre d'articles est boosté par le regain d'intérêt pour la question du changement climatique et un « effet COP21 », comme le démontre le nombre très important d'articles proposés à la conférence ICT4S¹ ou EnviroInfo² cette année.

II.2. CONCLUSIONS DE LA RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

L'objectif de ce premier volet de l'étude était de dresser l'état des connaissances, données disponibles et zones d'ombres sur les impacts environnementaux des TICs. Ces éléments sont détaillés ci-après, mais sont complétés ultérieurement, grâce aux enseignements fournis par les fiches de lecture élaborées pour une sélection de publications pertinentes, ainsi que les focus sur trois usages particuliers associés au numérique.

- Concernant **l'état des connaissances** sur les impacts environnementaux des technologies du numérique :

¹ International conference « ICT for Sustainability » : <http://ict4s.org/>

² <http://enviroinfo2016.org/>

Les connaissances les plus abouties à l'heure actuelle concernent la phase d'utilisation des équipements terminaux, en caractérisant les consommations d'électricité associées. À cet égard, sont très souvent associés aux enjeux environnementaux du numérique les impacts en termes de consommations d'énergie et d'émissions de GES. Néanmoins, des progrès restent à faire pour considérer les impacts des TICs selon une approche ACV multicritère et multi-étapes. Peu d'études sont abordées sous cet angle complet.

Si les impacts directs des TICs commencent à être bien identifiés, les impacts indirects restent encore à caractériser plus finement. Un certain nombre d'études identifient déjà les TICs comme « solution » pour réduire les impacts environnementaux. En revanche, les TICs en tant que « problème », et plus précisément les effets rebond qu'elles génèrent, sont encore peu documentés. Toutefois, le sujet commence à être abordé dans certains articles scientifiques et rapports provenant des pouvoirs publics.

Enfin, on notera que les connaissances se concentrent aujourd'hui encore principalement sur les objets numériques ancrés dans notre quotidien depuis un certain temps déjà (ordinateur, téléphone, etc.). Les technologies émergentes, comme les objets connectés ou les services collaboratifs, sont peu abordés dans leurs aspects en lien avec l'environnement.

- Concernant **la qualité des données disponibles** :

La disponibilité des données est de façon logique en lien avec l'état des connaissances actuelles. Les données relatives aux consommations d'énergie des appareils sont assez bien documentées en comparaison des données relatives aux phases de fabrication ou de fin de vie, malgré l'importance significative de ces phases amont et aval dans la répartition des impacts environnementaux.

Si l'on considère la représentativité temporelle des données environnementales utilisées (facteurs d'émissions, inventaires de cycle de vie), on observe une distinction nette entre mix électrique et équipements. D'un côté, les impacts environnementaux associés à la consommation d'électricité sont bien documentés et régulièrement mis à jour. De l'autre, les données sur les équipements sont fréquemment anciennes et se basent sur un seul modèle d'appareil. De fait, dans la mesure où il s'agit d'appareils complexes, aux évolutions technologiques rapides, la collecte de données environnementales les concernant est peu aisée.

De façon globale, on pourra tout de même regretter l'absence quasi-systématique d'analyse de la qualité des données dans les articles scientifiques et les études, et donc d'évaluation de la robustesse des résultats.

- Concernant **les zones d'incertitudes restantes** :

Plusieurs zones d'ombres ont été identifiées. À propos des phases amont et aval du cycle de vie des TICs, outre l'étape de fabrication, on note l'absence de modélisation complète et réaliste de l'étape de fin de vie. Les incertitudes concernent d'une part les scénarios de fin de vie des DEEE (part recyclée, part envoyée à l'étranger, etc.) et d'autre part la caractérisation des impacts environnementaux associés. Des travaux sont en cours sur ce sujet ; un réel approfondissement est nécessaire, notamment afin de mieux évaluer les impacts associés aux émissions dans l'environnement de métaux et composants chimiques.

Enfin, l'importante variabilité sur les hypothèses de scénario (durée d'usage des produits, temps de lecture des documents numériques, type d'équipement, etc.) couplée à la complexité et l'évolutivité des technologies mises en œuvre rendent les résultats non comparables entre eux, et parfois discutables, même pour des études ou articles qui ont bénéficié de revue critique. Ceci constitue un véritable frein à la consolidation des données et des résultats scientifiques. Un travail de « standardisation », comme ce qui est proposé pour les ACV sur les datacentres³ pourrait constituer une piste intéressante.

³ Pour plus d'informations voir : EBRC (2016) La normalisation et les référentiels dans le cycle de vie d'un datacentre, dernier accès le 25 mai 2016 : http://ecoinfo.cnrs.fr/IMG/pdf/8_fery_presentation_generale_ebrc_ecoinfo_paris_v1.pptx.pdf

III. FOCUS SUR PLUSIEURS USAGES DES TICS

III.1. SELECTION DE PUBLICATIONS POUR ANALYSE APPROFONDIE

Le Volet 2 de l'étude comporte une phase d'élaboration de fiches de lecture sur une quinzaine de publications particulièrement pertinentes. L'objectif est qu'elles puissent nourrir la réflexion sur les impacts environnementaux des TICs en lien avec la Vision 2030 de l'ADEME. La sélection des publications a été faite au regard des objectifs de la présente étude. Ont été privilégiées autant que possible les publications transparentes et complètes, recouvrant l'ensemble du cycle de vie, multicritère, considérant à la fois effets directs et indirects.

Les focus faits sur plusieurs usages spécifiques en lien avec les TICs se nourrissent des enseignements de ces fiches de lecture.

III.2. LE TELETRAVAIL

Contexte et champ des études

Les articles sélectionnés dans le champ de cette étude proposent des analyses environnementales sur les bénéfices apportés par le télétravail. Différents scénarios en termes de nombres de salariés impactés, nombre de jours télétravaillés, mode et type de déplacement, impacts sur les entreprises (surface de bureau, etc.) sont étudiés et comparés dans chacune des études.

Résultats marquants et principales tendances

Toutes les études démontrent que le télétravail permet de réduire les émissions de GES, la consommation d'énergie, les émissions de particules, l'oxydation photochimique et l'épuisement de ressources non renouvelables. Le principal contributeur de cette réduction est le poste déplacements (réduction du nombre de km lié aux déplacements domicile-travail), ensuite le mode de déplacement et enfin l'optimisation énergétique des lieux de travail. Dans [33]⁴, le télétravail permet de réduire de 16 km à 43 km le déplacement en fonction de la fréquence du télétravail. Ceci conduit à une réduction d'émissions de GES de 300 kg CO₂ éq./personne/an pour une fréquence de 1 à 5 jours par mois à 2 805 kg CO₂ éq./personne/an pour une fréquence d'au moins 20 jours par mois. Selon [13]⁵, le télétravail permet de réduire d'environ 30% les impacts environnementaux associés aux trajets entre le domicile et le lieu de travail pour un nombre moyen de jours télétravaillés de 2,9 par semaine.

En revanche, une tendance divergente se distingue nettement entre les études basées sur des approches bibliographiques et l'étude basée sur des données empiriques. En effet, les études [33] et [81]⁶ estiment que les bénéfices environnementaux associés au télétravail croissent quasi-linéairement avec le nombre de jours télétravaillés. L'étude [13] fait la distinction selon les profils de télétravailleurs et conclut que les profils de « gros » télétravailleurs (indépendants, personnes à cheval sur plusieurs sites, homeshoring⁷) ne sont pas les plus vertueux du point de vue environnemental. Ceci amène à penser que l'évolution des impacts du télétravail est régie par des facteurs plus complexes que le simple nombre de jours télétravaillés.

Les trois études prennent en compte plusieurs effets indirects du télétravail. Selon [13] par exemple, pour les effets indirects sur les habitudes de transport : il y a des variations significatives selon le type de télétravail : une réduction de 19% pour le télétravail en indépendant et augmentation de 41% pour le homeshoring. Mais en moyenne sur tous les critères de variation du télétravail, cela représente une très faible variation (environ 1%).

Pour les impacts indirects sur le logement, une augmentation des émissions de GES dues à la consommation d'énergie au domicile peut être constatée. La prise en compte de ces impacts permet de définir des scénarios maximisant et minimisant permettant de borner les impacts environnementaux [33].

⁴ « The Energy and Greenhouse Gas Emissions Impacts of Telecommuting and e-Commerce », Fraunhofer USA (D. Harbor, K. Roth, Michael Zeifman, V. Shmakova) pour la Consumer Electronics association (CEA), 2015

⁵ « Impact du télétravail, des tiers lieux et du coworking sur la réduction des consommations d'énergie et émissions de GES, et sur l'organisation des entreprises », BIO by Deloitte, Greenworking, BVA, pour l'ADEME, 2015

⁶ « Teleworking Life Cycle Analysis », Rapport URS Melbourne pour Société Telstra, 2008

⁷ Télétravail cadré et majoritaire (3 à 5 jours/semaine) qui consiste à industrialiser l'externalisation de métiers de production à plus faible valeur ajoutée dans une logique gagnant-gagnant (productivité vs. qualité de vie)

Il est important de mettre en avant ce réel effort d'évaluation de ces impacts indirects (ex : surface de bureaux, consommation d'énergie, transport personnel) mais il reste encore de fortes incertitudes, associées notamment aux données [13]. On n'observe pas forcément de consensus entre les différentes études quant à la magnitude des impacts associés à ces effets indirects.

Les gains annuels à l'échelle d'un pays du télétravail en termes d'émissions de GES restent faibles :

- Gain de 0,09 à 0,12% pour les États-Unis [33] ; et
- Gain de 0,5%, équivalent aux émissions de GES de 366 000 Français dans le cadre d'un scénario de diffusion ambitieux du télétravail en France [13].

Principales limites, besoins complémentaires

Sur l'ensemble de ces études, la réalisation d'une revue indépendante conforme aux attentes de la norme ISO 14040 relative à l'analyse de cycle de vie est rare.

Malgré un réel effort de prise en compte des effets indirects, les études (et les approches méthodologiques développées) comportent encore de trop grandes incertitudes.

Plusieurs limites apparaissent dans ces études : non-considération des impacts directs des équipements et leurs infrastructures, évaluation majoritairement bi-indicateur (consommation d'énergie et émissions de GES), non-exhaustivité en termes de couverture du cycle de vie, manque de transparence sur certaines données.

Les besoins pour les études sur le télétravail portent principalement sur : la prise en compte de l'impact matériel, le nombre d'indicateurs mesurés et la prise en compte des effets rebond.

III.3. LA DEMATERIALISATION

Contexte et champ des études

Les articles sélectionnés dans le champ de cette étude proposent des analyses environnementales de services dématérialisés. En général, ces analyses comparent le service dématérialisé avec son équivalent conventionnel : les cas les plus couramment traités dans la littérature comparent la visio-conférence aux déplacements, les e-books aux ouvrages papier, la lecture de journaux sur tablette versus l'achat de journal papier, etc.

Résultats marquants et principales tendances

Les résultats de comparaison d'un service dématérialisé à son équivalent conventionnel ne sont pas unanimes du fait des variations concernant les scénarios d'utilisation (durée de vie des produits, taux d'utilisation, mix électrique utilisé...) et de fin de vie.

En général, des transferts de pollution sont mis en exergue (par exemple vers l'épuisement des ressources ou l'écotoxicité) même si globalement, il apparaît un avantage au numérique (dans les scénarios envisagés, les hypothèses posées, les données utilisées et avec les limites soulignées ci-dessous... Ce qui fait beaucoup de conditions !)

Principales limites, besoins complémentaires

Les unités fonctionnelles se rapportent le plus souvent à un produit ou service plutôt qu'à un usage. Ce choix ne permet pas de rendre compte réellement du comportement de l'utilisateur qui dispose le plus souvent de nombreuses solutions alternatives non exclusives. Par ailleurs, le choix de l'unité fonctionnelle est rarement discuté alors qu'il peut se révéler subjectif et dans tous les cas, il est évident que la définition de l'unité fonctionnelle influence fortement les résultats [35][36].

Les effets indirects et les effets rebond ne sont jamais pris en compte de façon globale.

Se pose la question de la pertinence du choix de la méthodologie de type ACV. En effet, l'évolution actuelle de ces technologies réduit la taille et la consommation en énergie des produits mais entraîne un transfert d'impact aux phases pour lesquelles les données sont moins fiables : l'extraction des matières premières, le traitement de fin de vie et l'usage d'Internet. Par ailleurs, les choix d'indicateurs peuvent se révéler subjectifs.

- Il paraît nécessaire de fixer un cadre méthodologique pour ce type d'étude avec un nombre d'indicateurs restreints mais pertinents : a minima les catégories d'impacts liées aux GES (la consommation d'énergie pourrait être ajoutée comme indicateur de flux), la pollution de l'eau,

l'épuisement des ressources naturelles non renouvelables. Des indicateurs reliés à la toxicité seraient également indispensables car cela peut faire la différence entre une solution papier et une solution TIC.

- Il est nécessaire de comparer des usages et non des produits en tenant compte de la diversité des usages et en se rapprochant le plus possible de la réalité de terrain.
- Les analyses de sensibilité donnent des résultats en général plus intéressants que le cas de référence lui-même, tel que proposé dans l'ACV. Il s'agit d'un point pas suffisamment mis en exergue et à développer dans les messages finaux des différentes publications (notamment par rapport aux hypothèses sur les usages).
- Il serait également intéressant de conduire des études à un niveau plus « macroscopique » pour accroître le potentiel de généralisation de ces études, ou au moins la reprise d'éléments dans des travaux prospectifs.

III.4. LE E-COMMERCE

Contexte et champ des études

En termes de cadre général, les études cherchent souvent à comparer les impacts du e-commerce avec le commerce traditionnel.

Un aspect intéressant à considérer est la diversité de biens de consommations étudiés. Or, le sujet des études est très souvent restreint. Globalement, on peut observer que certaines formes « nouvelles » de e-commerce (on pensera aux biens alimentaires par exemple) sont encore très peu traitées par la littérature.

Quelques publications vont plus loin et couplent à la fois e-commerce et dématérialisation (achat et usage sur des appareils électroniques, comme la lecture d'un e-book sur liseuse).

Résultats marquants et principales tendances

Si l'on regarde de manière individuelle les résultats des différentes études analysées, on constate que le e-commerce permet une réduction des impacts environnementaux sur une majorité d'indicateurs.

Autre tendance que l'on peut observer à partir de l'étude [89]⁸ : le mode d'acheminement « final » du bien peut quasiment faire varier du simple au double le bilan environnemental du e-commerce. L'étude analyse que pour l'achat d'un livre, le bilan GES peut varier de 1,3 kg CO₂ éq. pour l'achat en librairie avec déplacement en voiture, à 0,68 kg CO₂ éq. pour la livraison au domicile par courrier classique.

Seule l'étude [33] fournit une extrapolation des impacts du e-commerce à une échelle macroscopique. Selon cette étude, les livres numériques et les journaux numériques permettraient des gains de l'ordre de 0,02% à 0,03% et 0,04% à 0,05% respectivement des émissions de GES des États-Unis. Bien qu'appliqué uniquement à un type de bien, le chiffre est faible.

Principales limites, besoins complémentaires

La principale limite des différentes études analysées est un manque de robustesse méthodologique. L'adoption d'une approche multi-étapes et multicritère n'est pas encore un réflexe et montre que l'évaluation environnementale du e-commerce est un sujet qui nécessite encore de mûrir. Les impacts directs (liés à l'achat sur internet) ne sont pas systématiquement inclus et se restreignent souvent à une seule évaluation des impacts de la logistique. Enfin, une revue indépendante systématique devrait également être mise en place (ce qui n'est pas le cas de la publication [33]).

Considérant les types d'effets des TICs couverts, le périmètre est souvent incomplet. Par ailleurs, aucune étude analysée ne considère les effets rebonds associés au e-commerce, et notamment les achats supplémentaires induits par le e-commerce. Selon nous, ces effets rebonds nécessiteraient une approche plus fine pour caractériser les modifications de comportements des consommateurs.

En termes de données, l'étude [89] montre que le mode de livraison est un paramètre sensible, alors que beaucoup de publications analysées modélisent cette phase de manière simplifiée ([33] et autres publications également citées précédemment). A l'opposé sur le commerce traditionnel, on remarque également que la modélisation des impacts associés au stockage en magasin est limitée par un manque

⁸ « Books from an environmental perspective – Part 1: environmental impacts of paper books sold in traditional and internet bookshops », Clara Borggren, Åsa Moberg, Göran Finnveden, International Journal of LCA, 2011

général de données [89][90]. Ceci s'explique par une méconnaissance (du moins dans les évaluations environnementales) des chaînes logistiques associées au e-commerce et au commerce de façon générale. Il est aussi difficile pour l'ensemble des publications d'allouer les impacts de la livraison entre les différents colis.

Enfin, on peut s'interroger sur l'évolution du bilan environnemental selon le type de bien acheté en ligne. On peut suspecter de fortes variations d'impacts environnementaux dans certaines configurations, par exemple pour les services de courses alimentaires en ligne qui nécessitent de respecter la chaîne du froid. Ce point, ainsi que la question des effets rebond, figurent parmi les sujets méthodologiques à mieux investiguer à court-moyen terme. L'étude ADEME qui vient de se lancer sur les impacts environnementaux du e-commerce avec une analyse réaliste des divers modes logistiques associés permettra sûrement d'apporter des avancées sur les principales limites relevées dans la présente étude.

III.5. AUTRES FOCUS

- Dans le cadre de la recherche bibliographique effectuée dans le premier volet de l'étude, une seule publication liant **consommation collaborative** et impact environnemental a été identifiée : il s'agit de l'étude à paraître de l'ADEME « Potentiels d'extension de la consommation collaborative pour réduire les impacts environnementaux ». L'étude de l'ADEME ne comporte pas de focus précis sur les impacts des TICs.
- Bien que relativement nombreuses, les études sur les **smart grids** sont cependant souvent limitées à quelques critères d'études (typiquement consommation d'énergie et émissions de GES), concernant principalement l'Amérique du Nord et l'Europe et sont souvent commanditées par des acteurs du secteur ou des organismes gouvernementaux.
- Les **autres nouveaux usages des TICs** (smart cities, objets connectés, etc.) ne bénéficient pas encore d'études poussées et leurs impacts ne sont pas encore analysés.

IV. INTEGRATION DU NUMERIQUE DANS LES ETUDES PROSPECTIVES

IV.1. ENSEIGNEMENTS SUR LES TRAVAUX PROSPECTIFS PREEXISTANTS EN LIEN AVEC LES TICS

Dans le cadre de la recherche bibliographique réalisée dans le premier volet de l'étude, 16 publications présentant un travail de prospective ont été identifiées.

La majorité des études ciblées **aboutissent au même consensus** : les impacts potentiels (sur le réchauffement climatique) indirects positifs sont supérieurs à la somme des impacts directs négatifs générés par la fabrication et l'usage des équipements électroniques dans un scénario « Business-as-Usual ». Par exemple, les études SMART2020 commandités par le Global eSustainability Initiative (GeSI), réalisées en 2008, 2012 et 2015 concluent que les impacts indirects positifs des TICs seraient 9,7 fois plus importants en 2030 que leurs impacts directs.

Les méthodologies déployées dans ces études sont très simplifiées. Outre la question de la partialité des commanditaires de ces études, on peut relever qu'il n'y a pas d'approche systémique, de prise en compte des effets de seuil, ou de considération des évolutions technologiques, comme cela devrait être considéré. De façon plus juste, **on pourrait donc qualifier ces publications d'extrapolations plutôt que d'études prospectives.**

IV.2. RELECTURE CRITIQUE DES TRAVAUX PROSPECTIFS DE L'ADEME

Les démarches prospectives visent à comprendre les dynamiques en cours, à explorer les différents futurs possibles en germe dans la situation actuelle, pour identifier des enjeux majeurs sur lesquels il est possible d'agir.

Les publications issues de la revue bibliographique et analysées pâtissent de limites importantes :

- **Elles sont très rarement systémiques** et négligent notamment fortement les évolutions de comportements dont le numérique est devenu une composante essentielle et qui peuvent jouer de façon importante sur les impacts environnementaux de modes de vie devenus en partie numériques ; et
- **Elles prennent peu en compte la nouveauté**, que ce soit les nouveautés techniques, ou les innovations comportementales alors même que ces nouveautés sont les germes des futurs alternatifs.

En revanche, les publications analysées permettent de faire le point sur l'état de l'art scientifique sur la question des impacts environnementaux du numérique, ce qui constitue la base de toute réflexion prospective rigoureuse. Sur ce point également, force est de constater que les méthodologies sont encore relativement balbutiantes même s'il existe de nombreux travaux intéressants. **Le champ reste neuf.**

Le défi est donc de pouvoir articuler de façon pertinente au regard des enjeux que l'ADEME cherche à éclairer l'état des connaissances, la prise en compte de la nouveauté, et la nature systémique des analyses.

C'est au regard de cette exigence qu'on a analysé trois études de prospective de l'ADEME : « Alléger l'empreinte environnementale des Français » ; « Visions 2030-2050 » ; et l'étude sur le « potentiel d'extension de la consommation collaborative pour réduire les impacts environnementaux ».

L'analyse conduite amène à dire que les publications scientifiques analysées dans le cadre de notre étude se cantonnent à des approches précises mais très parcellaires des impacts du numérique sur l'environnement, tandis que les études de l'ADEME privilégient des approches larges mais peu précises sur les impacts du numérique.

V. RECOMMANDATIONS POUR DES TRAVAUX FUTURS

V.1. RECOMMANDATIONS POUR AMELIORER LES CONNAISSANCES DE L'ADEME SUR LES IMPACTS DU NUMERIQUE

L'articulation entre les différentes recommandations proposées dans l'étude est organisée dans la figure suivante. Un code couleur spécifique distingue les bonnes pratiques (vert clair) des éléments à intégrer dans de futurs cahiers des charges (vert foncé) et des sujets à investiguer (bleu). Nous avons distingué ces recommandations selon plusieurs horizons de temps. Le court-terme correspond à un pas de temps de moins de deux ans, tandis que le long-terme est plutôt à horizon de cinq ans. Enfin, on notera qu'un certain nombre de recommandations sont liées, ou s'enchaînent les unes avec les autres. Ceci est représenté par des flèches dans la figure.

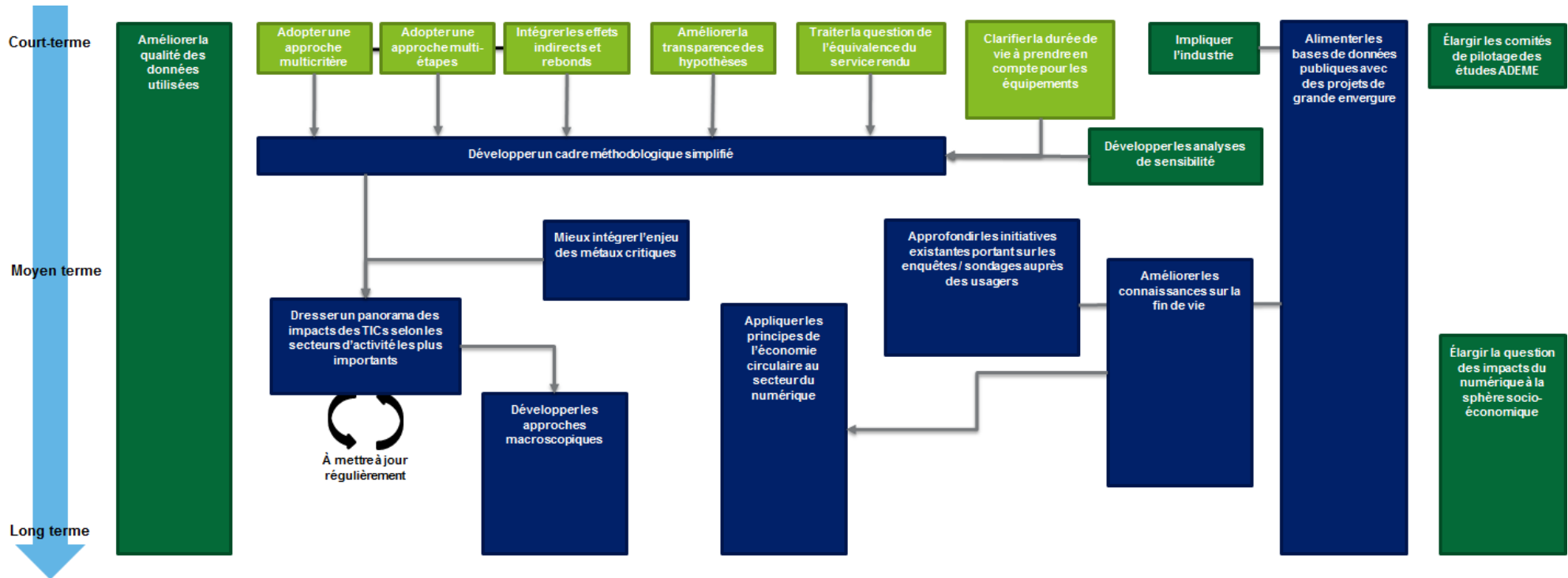


Figure 3 – Feuille de route des recommandations à considérer pour améliorer les connaissances sur les impacts environnementaux du numérique

V.2. RECOMMANDATIONS EN VUE D'INTEGRER LE NUMERIQUE DANS LES ETUDES PROSPECTIVES DE L'ADEME

Les démarches de prospective, on l'a dit, ont vocation à comprendre les évolutions en cours, à évaluer leurs perspectives d'évolution pour identifier des enjeux majeurs et des leviers d'action. Quels sont les domaines et les approches prospectives pertinents au regard des missions de l'ADEME ?

Dans le domaine du numérique, notre étude a insisté sur trois types d'impacts environnementaux du numérique : directs, indirects, systémiques. Ces trois échelles d'analyse semblent pertinentes pour se réinterroger sur les besoins d'analyse prospective qui pourraient être conduits par l'ADEME.

Pour conduire une réflexion prospective sur l'**impact direct** des TIC, il peut sembler utile :

- D'accroître les connaissances sur les impacts environnementaux des objets numériques sur l'ensemble de leur cycle de vie pour disposer d'éléments robustes permettant d'anticiper les impacts environnementaux du développement de ces technologies. Il s'agit là non de prospective, mais de travaux académiques utiles à la réflexion prospective ; et
- De développer une réflexion prospective sur les impacts directs que pourrait avoir un essor important des objets connectés. L'approche la plus pertinente étant sans doute de s'interroger sur les impacts environnementaux directs d'une diffusion très large de ces objets. Ceci est à mettre en regard de la rubrique suivante.

Pour conduire une réflexion prospective sur l'**impact indirect** des TIC, il peut sembler utile de développer deux approches complémentaires :

- Une analyse fonctionnelle consistant à comprendre comment les fonctions remplies aujourd'hui par certains produits ou services peuvent être modifiées par l'apparition de nouveaux produits et services numériques ou permis par le numérique ; et
- Une analyse partant des innovations (techniques, organisationnelles, sociales) permises par le numérique pour examiner comment elles peuvent venir modifier les comportements des acteurs.

Pour conduire une réflexion prospective sur les **impacts systémiques**, il peut sembler utile de :

- Construire des scénarios d'usage qui présenteraient les conditions d'usage du numérique permettant de favoriser des modes de vie « durables » ; et
- Reprendre des scénarios globaux déjà existant sur les modes de vie pour examiner quelle place y tient le numérique (et envisager de construire un guide des « bons » usages du numérique ?).

VI. CONCLUSIONS

L'objectif de cette étude était d'évaluer quelle était l'influence des Technologies de l'Information et des Communications (TICs) sur l'empreinte environnementale des Français, et de projeter ces connaissances dans le contexte des travaux prospectifs menés par l'ADEME sur l'empreinte environnementale des Français.

On notera que cette étude était principalement axée sur la grande consommation et les usages particuliers des TICs.

Cette étude a tout d'abord permis de remettre à plat **les différentes dimensions à prendre en compte dès que l'on aborde le sujet des impacts environnementaux du numérique** :

- La notion de cycle de vie (de l'extraction des matières premières jusqu'à la fin de vie des équipements) ;
- La notion d'évaluation multicritère ; et
- La notion de typologie d'effets du numérique, depuis les effets directs des TICs, jusqu'aux effets systémiques en passant par les effets indirects.

Le premier volet des travaux réalisés ici a consisté en une revue bibliographique. Celle-ci a permis d'identifier plus d'une centaine de publications pertinentes abordant le cas des impacts environnementaux du numérique.

De leur analyse, nous avons constaté une grande hétérogénéité entre les différents documents étudiés, une grande disparité dans les choix méthodologiques effectués, et des faiblesses nombreuses qui constituent de véritables freins à la consolidation des données et des résultats scientifiques.

Le second volet de l'étude a consisté en la réalisation de plus de quinze **fiches de lecture** sur les publications jugées les plus pertinentes lors de la revue bibliographique. Ces différents travaux ont montré d'assez fortes divergences en termes de choix méthodologiques, confirmant les observations faites dans le volet précédent.

Sur la base de ces fiches de lecture, nous avons effectué des **focus sur trois usages** spécifiques des TICs, à savoir le télétravail, la dématérialisation et le e-commerce. Sur le télétravail, nous avons globalement observé un consensus sur les bénéfices environnementaux de cette pratique. Cependant, il existe des écarts significatifs entre d'une part les études ayant une approche bibliographique et d'autre part l'étude se basant sur une approche plus empirique. Pour la dématérialisation, nous avons observé une très forte variabilité selon les scénarios d'usage considérés, et des approches méthodologiques plutôt centrées sur les produits alors que la dématérialisation est plutôt liée une question de service rendu. Le constat est analogue pour l'analyse sur le e-commerce.

Le **Tableau 1 regroupe des connaissances déjà établies sur les impacts des TICs** (chiffres à l'appui quand cela est possible), distingués selon plusieurs axes d'analyse :

- Par étape du cycle de vie des TICs considérées ;
- Par type d'impact environnemental ;
- Par type d'effet des TICs ; et
- Par type d'objet : ont été distingués les objets côté utilisateur (ordinateur, téléphone, etc.) des objets compris dans les infrastructures réseaux (datacentres, routeurs, etc.).

Par ailleurs, nous avons également mis en perspective les **travaux prospectifs** existants de l'ADEME avec des publications sur les impacts à attendre du numérique. Cependant, nous avons décelé des faiblesses significatives en termes méthodologiques de ces travaux « prospectifs » sur le numérique qui relèvent davantage d'extrapolation.

Ainsi, au vu des écueils identifiés sur l'analyse des trois usages spécifiques et des travaux prospectifs existants, il a été observé **l'impossibilité d'établir avec une réflexion prospective de qualité suffisante sur les impacts environnementaux du numérique adaptée au contexte français à horizon 2030**. L'objectif initial de la présente mission ne peut donc pas être rempli en l'état actuel des connaissances. La

dernière étape de ce rapport a donc consisté en la formulation de recommandations afin que l'ADEME puisse, à terme, atteindre cet objectif.

Certaines recommandations formulées relèvent de la **bonne pratique** à adopter dans l'immédiat, d'autres portent sur des éléments à intégrer dans de **futurs cahiers des charges de l'ADEME**. Enfin, nous avons identifié les **travaux à lancer** afin de combler les zones d'ombre qui empêchent de déterminer de façon plus précise l'influence du numérique sur l'impact environnemental des Français. L'amélioration des connaissances sur les impacts environnementaux du numérique est une des conditions nécessaires au développement de **travaux de prospective** de qualité sur la réalisation desquels nous proposons également des recommandations.

L'ensemble de ces recommandations mettent en valeur le besoin d'améliorer les connaissances actuelles sur les impacts du numérique afin de pouvoir identifier dans quelle mesure ces impacts pourraient évoluer dans les prochaines décennies. **Le rôle de l'ADEME, en tant qu'institution publique, est donc central, afin d'accélérer la mutation de tout le secteur des TICs vers un développement plus soutenable.**

Tableau 1 – Synthèse des connaissances et zones d'ombres sur les impacts environnementaux des TICs (les phrases en italique font référence à des exemples issues des publications analysées dans la revue bibliographique)

	Connaissances	Zones d'ombres / Points d'attention
Par étape du cycle de vie		
Production	La miniaturisation des objets a tendance à augmenter les impacts environnementaux (raccourcissement de la durée de vie, faible modularité de leur conception qui décourage réparation et recyclage)	Les données environnementales existantes n'arrivent pas à suivre les rapides évolutions technologiques et à rendre compte de la variabilité des équipements (selon les technologies existantes, exemple : type d'écran, type de stockage, etc.)
Transport	Les impacts des différentes phases de transport ne sont pas à négliger (pendant les phases de fabrication et de traitement de fin de vie) : <i>jusqu'à 20% d'impacts supplémentaires sur la phase de production de composants électroniques [35]</i>	La présence accrue du e-commerce modifie les étapes de distribution des produits, et multiplie les possibilités pour un consommateur d'acquies un produit.
Utilisation	La phase d'utilisation correspond essentiellement aux consommations d'électricité des TICs. Celles-ci sont assez bien connues pour les équipements terminaux grâce à la facilité de mesure. Par ailleurs, plusieurs réglementations (ex : Directive éco-conception 125/2009/CE) et labels (ex : Energy Star, 80 plus) visent à améliorer l'efficacité énergétique de certaines TICs.	Beaucoup d'études se contentent encore d'étudier seulement cette phase du cycle de vie. De fortes incertitudes subsistent selon la représentativité géographique de l'étude (variabilité des impacts environnementaux du mix électrique). La consommation électrique liée à l'usage du réseau et des équipements dans les datacentres sont beaucoup plus difficiles à évaluer. Les scénarios d'utilisation définis dans les études sont soumis à trop de variables (durée de détention, taux d'usage, nombre d'utilisateurs, etc.).
Fin de vie	Selon la modélisation adoptée, la valorisation matière en fin de vie peut permettre de réduire les impacts environnementaux sur la majorité des indicateurs (<i>environ -10% selon les publications [89]</i>).	La fin de vie n'est pas étudiée de façon exhaustive. Des incertitudes demeurent concernant : <ul style="list-style-type: none"> • La caractérisation des filières de traitement (taux de recyclage, filières d'exportation, etc.) ; • La modélisation des impacts

Connaissances	Zones d'ombres / Points d'attention
environnementaux associés.	
Par type d'impact environnemental	
<p>Changement climatique et consommation d'énergie</p>	<p>L'information portée par ces deux indicateurs est souvent corrélée. Ces indicateurs sont le plus fréquemment couverts.</p> <ul style="list-style-type: none"> <i>L'envoi d'un mail de 1 Mo correspond aux émissions de 20 g de CO₂ éq. ;</i> <i>Le télétravail permettrait de réduire de 0,5% les émissions de GES en France dans un scénario optimiste.</i> <p>L'indicateur « consommation d'énergie » se restreint souvent à la phase d'utilisation.</p>
<p>Épuisement des ressources</p>	<p>L'introduction de TICs peut amener des transferts de pollution sur l'épuisement des ressources abiotiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <i>exemple : augmentation des impacts de 25% sur un système de gestion automatisé de collecte des déchets à Grenoble à partir de capteurs installés dans les poubelles [110]</i> <p>L'épuisement des ressources (métalliques principalement) est un enjeu associé aux TICs encore peu étudié, et se confronte à la confidentialité des données pour avoir la composition exacte et précise des équipements.</p>
<p>Toxicité / éco-toxicité / eutrophisation</p>	<p>Des émissions dans l'eau et dans les sols sont principalement générées lors des étapes d'extraction des métaux et lors de l'élimination des DEEE, générant des impacts significatifs métalliques.</p> <p>De fortes incertitudes subsistent sur les modèles permettant de quantifier les émissions dans l'eau et les sols d'éléments traces métalliques.</p> <p>Les indicateurs de toxicité et d'éco-toxicité sont encore peu robustes à l'heure actuelle (robustesse interim/III selon le JRC).</p> <p>sur ces indicateurs (<i>résultats d'impacts les plus élevés en effectuant une normalisation des résultats [1][11][12][17]</i>).</p>
Par type d'équipement	
<p>Équipements côté utilisateur final</p>	<p>Dans la plupart des études, les impacts sont concentrés sur la production et la fin de vie (faible durée d'usage et taux d'utilisation limité des objets).</p> <p>Les données environnementales existantes n'arrivent pas à suivre les rapides évolutions technologiques et à rendre compte de la variabilité des équipements (selon les technologies existantes, exemple : type d'écran, type de stockage, etc.).</p>
<p>Équipements infrastructures réseaux</p>	<p>Dans la plupart des études, les impacts sont concentrés sur la phase d'usage (plus longue durée d'usage et fort taux d'usage des objets).</p> <p>Peu de publications étudient les impacts des infrastructures réseau en comparaison des objets côté utilisateur final.</p>
<p>Nouveaux équipements, objets connectés</p>	<p>-</p> <p>Le sujet est récent et le monde de la recherche n'a pas pu encore se l'approprier complètement sous l'angle des liens avec l'environnement.</p>
Par type d'usage	
<p>Télétravail</p>	<p>Toutes les études démontrent que le télétravail permet de réduire les émissions de GES, la consommation d'énergie, les émissions de particules, l'oxydation photochimique et l'épuisement de ressources non renouvelables.</p> <p>Il est difficile d'avoir une estimation précise des impacts indirects. En effet, cela nécessiterait de suivre un échantillon représentatif et suffisant de télétravailleurs sur une période longue avant et après la mise en place du télétravail afin de mesurer les consommations d'énergie du logement et les distances parcourues pour les trajets personnels.</p> <p>Les facteurs clés du bilan environnemental du télétravail sont le nombre de jours télétravaillés et le report modal.</p> <ul style="list-style-type: none"> <i>Selon [13], le télétravail permet de réduire d'environ 30% les impacts environnementaux associés aux trajets entre le domicile et le lieu de travail pour un nombre moyen de jours télétravaillés de 2,9 par semaine;</i> <i>Dans [33], le télétravail conduit à une</i> <p>Les impacts de 3^{ème} ordre, principalement la manière dont le télétravail peut permettre une réduction et une optimisation des surfaces de bureau, sont encore peu étudiés. Les effets rebonds ont quant à eux été omis de toutes les publications considérées.</p>

Connaissances	Zones d'ombres / Points d'attention
	<p><i>réduction d'émissions de GES de 300 kg CO₂ éq./personne/an pour une fréquence de 1 à 5 jours par mois à 2 805 kg CO₂ éq./personne/an pour une fréquence d'au moins 20 jours par mois.</i></p> <p>Les impacts indirects sur le transport et le logement sont importants à prendre en compte pour avoir une vue réaliste de l'impact «net» du télétravail.</p> <p>Le télétravail aura un impact très limité au niveau national à la réduction des émissions de GES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Gain de 0,09 à 0,12% pour les USA [33] ;</i> • <i>Gain de 0,5%, dans un scénario de diffusion ambitieux du télétravail en France [13].</i>
<p>Dématérialisation (support papier vs. support numérique)</p>	<p>Le transfert de pollution vers l'épuisement des ressources ou l'écotoxicité est significatif et peut contrebalancer les bénéfices en termes d'émissions de GES. L'amortissement des impacts de la liseuse est sensiblement lié au nombre de livres lus sur l'appareil au cours de sa durée d'usage, et dépend de l'indicateur environnemental considéré d'après [89] :</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Réchauffement climatique : 25</i> • <i>Consommation d'énergie primaire : 12</i> • <i>Épuisement des ressources abiotiques : 32</i> • <i>Écotoxicité des eaux douces : 350</i> <p>Les résultats de comparaison d'un service dématérialisé à son équivalent conventionnel ne sont pas unanimes du fait des variations concernant les scénarios d'utilisation (durée de vie des produits, taux d'utilisation, mix électrique utilisé...) et de fin de vie.</p> <p>Les usages sont très variés entre les utilisateurs de services dématérialisés et peu d'informations existent sur un comportement représentatif.</p>
<p>E-commerce</p>	<p>Aucune étude analysée ne considère les effets rebonds associés au e-commerce, et notamment les achats supplémentaires induits par le e-commerce.</p> <p>Le e-commerce permet une réduction des impacts environnementaux sur une majorité d'indicateurs.</p> <p>Le mode de livraison est un paramètre sensible et peut faire varier du simple au double le bilan environnemental du e-commerce (variation de 0,68 à 1,3 kg CO₂ éq. par livre acheté dans le cas étudié dans [89]).</p> <p>La question de l'influence du produit livré suite à un achat via e-commerce sur le bilan environnemental est encore peu abordée ; on peut anticiper que les produits alimentaires nécessitant de respecter la chaîne du froid engendrent plus d'émissions de GES que la livraison d'un livre acheté sur Internet. La question perdure quant à la comparaison avec l'achat des mêmes produits alimentaires en magasin physique.</p>
Cas des effets rebond	
	<p>Les effets rebonds peuvent être de grande ampleur :</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>1,4 Gt CO₂ éq. à l'échelle mondiale selon l'étude SMARTer2030 [32] ;</i> • <i>Dans le cas du télétravail : entre 10% [13] et 73% d'impacts supplémentaires pour les trajets personnels supplémentaires.</i> <p>Comme pour les scénarios d'utilisation, les effets rebonds sont soumis à de fortes incertitudes. La question de la part des effets rebonds (surconsommation par exemple) imputables aux TICs nécessite d'être affinée.</p>

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, et du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

www.ademe.fr



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr

