

LES RELATIONS ENTRE TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES ET ÉCOLOGIE

RAPPORT SYNTHÉTIQUE

2023



AUTEUR :

Pauline Pataa
Etudiante en Master de Communication
Écociroyenne, patrimoine et
Développement Durable

mon
territoire
numérique



Sommaire

INTRODUCTION	1
1. MISE EN CONTEXTE	2
1.1. HISTORIQUE DE L'ÉCOLOGIE	2
1.2. LES RÉGLEMENTATIONS POUR UN NUMÉRIQUE PLUS RESPONSABLE	2
1.2.1. LOI « ANTI-GASPILLAGE ET ÉCONOMIE CIRCULAIRE »	2
1.2.2. LOI « RÉDUIRE L'EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE DU NUMÉRIQUE »	3
1.2.3. FEUILLE DE ROUTE GOUVERNEMENTALE « NUMÉRIQUE ET ENVIRONNEMENT »	3
1.2.4. LA RESPONSABILITÉ ÉLARGIE DU PRODUCTEUR	3
1.3. LES PROMESSES ÉCOLOGIQUES DU NUMÉRIQUE	3
2. LES IMPACTS DU NUMÉRIQUE SUR L'ENVIRONNEMENT	4
2.1. DES EFFETS NÉGATIFS SUR L'ENVIRONNEMENT	4
2.1.1. L'EXTRACTION DES MINÉRAIS ET LA FABRICATION DU PRODUIT	4
2.1.2. L'UTILISATION PAR LES CONSOMMATEURS	5
2.1.3. LA FIN DE VIE DES ÉQUIPEMENTS	6
2.1.4. LA DURÉE DE VIE	6
2.2. LES APPORTS POSITIFS DU NUMÉRIQUE	7
2.2.1. LE NUMÉRIQUE AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE	7
2.2.2. LE NUMÉRIQUE AU SERVICE DES TERRITOIRES RURAUX	8
3. L'AVENIR DU NUMÉRIQUE	9
3.1. DES HYPOTHÈSES DE L'IMPACT DU NUMÉRIQUE D'ICI 2030 ET 2050	9
3.1.1. L'IMPACT DU NUMÉRIQUE DES 2030	9
3.1.2. LES LEVIERS D'ACTION IDENTIFIÉS POUR RÉDUIRE L'IMPACT DES 2030	9
3.1.3. LES SCÉNARIOS À L'HORIZON 2050	10
3.2. DES PISTES D'AMÉLIORATION POUR UN NUMÉRIQUE DURABLE AU SERVICE DES TERRITOIRES	15
3.2.1. MESURER	15
3.2.2. SENSIBILISER	15
3.2.3. ÉVITER, RÉDUIRE, COMPENSER	15
4. LE PROGRÈS COMME SOLUTION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	15
4.1. POUR LES TRANSITIONS ÉNERGETIQUES, INDUSTRIELLES ET AGRO-ALIMENTAIRES	16
4.2. POUR LA PROTECTION DES TERRITOIRES FACE AUX MENACES NATURELLES LIÉES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	16
4.2.1. L'ATTÉNUATION DES RISQUES LORS DE CATASTROPHES NATURELLES	17
4.2.2. LA PRÉSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ ET DES RESSOURCES EN EAU	17
CONCLUSION	18
BIBLIOGRAPHIE	
GLOSSAIRE	
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES	



Introduction

L'ère numérique, apparue au milieu du XX^{ème} siècle, est caractérisée par le passage d'une industrie établie par la révolution industrielle à une économie basée sur la technologie et son développement. C'est cependant depuis les années 1990 que le numérique connaît un grand essor et transforme progressivement les comportements sociaux.

Le numérique est en pleine expansion dans le monde et devient omniprésent que ce soit dans le milieu professionnel ou personnel. Cependant, face à ce développement rapide, de nouvelles questions se posent, notamment celle de l'impact environnemental de ces équipements électriques et électroniques et de leur utilisation.

En effet, l'écologie et la protection de l'environnement sont des sujets de plus en plus pris en compte aujourd'hui du fait des menaces climatiques et environnementales. La transition environnementale occupe une place de plus en plus importante au sein des sociétés et des politiques publiques.

À ce jour, le numérique représente environ 3 à 4 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans le monde et 2,5 % en France. Si rien ne change dans la consommation de ces équipements, cette valeur va augmenter et pourrait atteindre jusqu'à 7 % en France d'ici 2040.

Cette note de synthèse permet d'interroger les impacts du numérique. Quels sont ses effets sur l'environnement et les sociétés à court et long terme ? Mais aussi de considérer comment le numérique pourrait devenir une partie de la solution face aux problèmes environnementaux et climatiques.

Nous mettrons donc en perspective le numérique et l'écologie à la lumière d'un rappel historique de la notion et des différentes réglementations et mesures mises en place en France. Nous considérerons ensuite les effets positifs et négatifs du numérique sur l'environnement et les sociétés. Nous verrons quel avenir, en l'état actuel, est envisagé pour le numérique et enfin les façons dont il pourrait constituer un atout dans la transition environnementale.

1. Mise en contexte

1.1. Historique de l'écologie

La notion d'écologie apparaît dès les années 60, avec l'évolution des consciences au sujet de l'environnement, notamment lors de la Conférence de Rome en 1960 durant laquelle sont menés des travaux relatifs à l'impact de la croissance démographique et économique sur nos ressources naturelles. Mais c'est durant les années 70 que le mouvement « écologiste » s'organise et se structure, notamment avec l'apparition de catastrophes naturelles et d'autres événements tels que les chocs pétroliers et l'apparition du nucléaire civil. C'est également à cette époque que le ministère de l'écologie est créé en France, en 1971, et qu'à l'échelle mondiale l'Organisation des Nations Unies (ONU) organise la première conférence des Nations Unies sur l'environnement à Stockholm, en Suède, en 1972, le premier Sommet de la Terre⁽¹⁾.

Il faudra attendre les années 1980 pour que la notion de développement durable soit évoquée pour la première fois par l'organisation non gouvernementale (ONG) WWF (World Wild Found for Nature) et c'est en 1987 que la première définition du terme est proposée dans le rapport Brundtland⁽²⁾ des Nations Unies : « Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. ». C'est par rapport à cette définition que de nombreuses stratégies ont émergées telle que la première stratégie européenne en faveur du développement durable adoptée en 2001 par le Conseil de l'Union Européenne.

En 1992, un nouveau rassemblement est organisé à Rio, réunissant 120 chefs d'État. C'est lors de cette réunion que la Déclaration de Rio, un compromis entre la position des pays industrialisés et les pays en développement, a été adoptée, ainsi que la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), le premier traité international sur le changement climatique qui reconnaît son existence et la responsabilité humaine du phénomène. C'est également à ce moment qu'un programme d'action pour le développement durable, l'Agenda 21, est instauré afin d'aborder les problèmes urgents d'aujourd'hui tout en cherchant à préparer l'avenir selon 27 principes. Ce dispositif a cependant été mis à jour et remplacé par l'Agenda 2030 en 2015 afin de le consacrer à la définition d'un programme de développement durable qui s'organise autour des « 5P » : la planète, les populations, la prospérité, la paix et les partenariats. En 1995, le protocole de Kyoto a été adopté et s'ajoute à la CCNUCC en visant à réduire les émissions de GES.

Le début du XXI^{ème} siècle marque ainsi un tournant dans la prise de conscience de la nécessité de conduire une transition écologique. L'écologie est de plus en plus présente dans les esprits. Des sommets de la Terre et des COP (Conferences Of the Parties) sont organisés régulièrement afin d'améliorer la situation mondiale et de garantir un avenir durable à tous.

1.2. Les réglementations pour un numérique plus responsable

L'ensemble de ces événements a fait évoluer les notions d'écologie et de développement durable dans le monde et notamment en France, où de nombreuses réglementations ont vu le jour. Se développant en parallèle, le numérique est désormais directement concerné.

1.2.1. Loi « anti-gaspillage et économie circulaire »

La loi anti-gaspillage et économie circulaire (AGEC), datant de 2020, vise à transformer l'économie linéaire (produire, consommer, jeter) en économie circulaire. Cela se traduit en cinq grands axes : lutter contre le gaspillage et pour le réemploi solidaire, mieux informer les consommateurs, sortir du plastique jetable, agir contre l'obsolescence programmée et mieux produire.

Cette incitation à l'économie circulaire passe notamment par l'obligation pour l'État, les collectivités et leurs groupements d'intégrer les enjeux environnementaux dans leur politique d'achat.

(1) Rencontre décennale entre les chefs d'États du monde, organisée par l'ONU, pour définir les moyens d'encourager le développement durable à l'échelle mondiale.

(2) Officiellement intitulée *Our Common Future* (Notre avenir à tous), cette publication a été rédigée par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'ONU en 1987 et présidée par Gro Harlem Brundtland. Il a notamment été utilisé comme base au Sommet de la Terre de Rio en 1992.

Depuis le 1^{er} janvier 2021, la commande publique a l'obligation d'acheter des produits reconditionnés ou contenant des matières recyclées dans une proportion annuelle minimale de 20%, d'après l'article 58 de la loi AGEC.

Un indice de réparabilité⁽³⁾ doit également être affiché sur certains équipements numériques (ordinateurs portables, smartphones, téléviseurs). Il sera complété ou remplacé en 2024 par un indice de durabilité⁽⁴⁾, ce qui permettra d'inclure de nouveaux critères tels que la fiabilité et la robustesse du produit.

1.2.2. Loi « Réduire l'Empreinte Environnementale du Numérique »

La loi du 15 novembre 2021, proposée par plusieurs sénateurs dont Patrick Chaize, Guillaume Chevrollier, Jean-Michel Houllégatte, Hervé Maurey, vise à réduire l'empreinte environnementale du numérique (loi REEN) en France et s'adresse à tous les acteurs de la chaîne de valeur du numérique (les professionnels du secteur, les acteurs publics et les consommateurs).

Cette loi se structure en cinq objectifs essentiels : faire prendre conscience de l'impact environnemental du numérique, limiter le renouvellement des appareils numériques (renforcer la loi AGEC, favoriser le réemploi et la réutilisation, développer l'économie circulaire), adopter des usages numériques écoresponsables (écoconception, usage), promouvoir des centres de données et des réseaux moins énergivores, promouvoir une stratégie numérique responsable dans les territoires.

1.2.3. Feuille de route gouvernementale « Numérique et environnement »

En 2021, une feuille de route « Numérique et environnement » est élaborée par le Gouvernement. Elle introduit une nouvelle politique publique au profit de la protection de l'environnement, des objectifs économiques des entreprises et de la création d'emplois.

Ses objectifs sont divisés en trois axes, le premier étant de développer les connaissances de l'empreinte du numérique de différents acteurs (particuliers, entreprises, collectivités territoriales, administrations, ...).

Le second axe porte sur le soutien d'un numérique sobre doté d'une maîtrise raisonnée de l'empreinte environnementale de la fabrication et de l'usage des terminaux (intégrant la lutte contre l'obsolescence programmée par exemple).

Le dernier axe porte sur le développement du potentiel du numérique qui se présente comme un levier de la croissance écologique.

1.2.4. La Responsabilité Élargie du Producteur

Depuis 2006, les déchets d'équipements électriques et électroniques (D3E) sont soumis au principe de pollueur-payeur, ou Responsabilité Élargie du Producteur (REP).

Ainsi, les producteurs et les distributeurs peuvent mettre en place un système individuel de collecte et de traitement des déchets ou adhérer à l'éco-organisme agréé par l'État. Cela permet notamment d'assurer la traçabilité du déchet et donc de le gérer efficacement en fin de vie.

1.3. Les promesses écologiques du numérique

Lorsqu'il apparaît, le numérique est initialement vu comme un progrès. Il est présenté comme un outil indispensable permettant de progresser à différents niveaux, notamment en termes de communication, d'accès au savoir, de sécurité ou encore d'optimisation (du temps, de l'énergie, de l'effort, de ressources, etc).

Les technologies numériques sont également vues comme une solution à la crise climatique, avec la dématérialisation et la réduction des déplacements qu'elle impliquerait. Elles nourrissent ainsi une vision progressiste qui lui permet de se développer rapidement.

Les équipements électriques et électroniques sont de plus en plus présents au quotidien, on les retrouve notamment dans l'éducation, au travail, dans le domaine des sciences et de la santé, etc.

(3) Il indique une note sur 10 afin d'informer le consommateur sur le caractère plus ou moins réparable d'un produit électrique et électronique. Son affichage est obligatoire depuis 2020 (dans le cadre de la loi AGEC).

(4) Il indique une note sur 100 points répartis sur quatre critères permettant d'évaluer la durabilité des EEE. Il devrait remplacer l'indice de réparabilité d'ici 2024.

Durant la crise du Covid-19, le numérique se montre indispensable car il permet de garder un contact avec l'extérieur lors des confinements et de maintenir une certaine routine quotidienne à l'image de celle précédant la crise. Certaines activités se développent et tiennent aujourd'hui une place définitive dans le quotidien des populations (télétravail, téléconsultation, réunions à distance, etc).

Le numérique promet également des changements en faveur de l'environnement, afin d'endiguer le changement climatique, cela va se traduire via diverses fonctions : sortir des énergies fossiles grâce au développement de technologies permettant l'utilisation d'énergies renouvelables, réduire les émissions de GES en permettant d'éviter les déplacements grâce au télétravail, détecter les fuites d'eau, optimiser la gestion des déchets, ou encore augmenter les performances énergétiques grâce aux smartgrids qui permettent de rendre les réseaux plus efficaces en ajustant les flux d'électricité entre les fournisseurs et les consommateurs et en collectant des informations concernant l'état des réseaux d'électricité.

Le numérique est donc, pour beaucoup, une solution au problème de changement climatique et ses effets. Une solution qui, pourtant, n'est pas sans poser question.

2. Les impacts du numérique sur l'environnement

2.1. Des effets négatifs sur l'environnement

Du fait de sa dimension immatérielle, les croyances convergent autour d'un numérique supposé « vert » car la dématérialisation est synonyme d'économie de ressources naturelles. Or, de nombreuses études, telles que celle de l'ADEME-Arcep (2023) ou celle de GrenIT.fr (2019), démontrent aujourd'hui que les équipements électroniques et électriques (EEE) sont d'imposants consommateurs de ressources naturelles et d'énergie.

Pour mettre en évidence l'impact du numérique sur l'environnement, il a été divisé en 3 composantes : les équipements des utilisateurs, les centres de données et les infrastructures et réseaux.

Selon l'étude de l'Arcep et de l'ADEME menée en 2023 (*Évaluation du numérique en France en 2020, 2030 et 2050*), ce sont les équipements des utilisateurs qui sont les plus impactants. Ils représentent 79 % de l'empreinte carbone du numérique, contre 16 % pour les centres de données et 5 % pour les infrastructures.

Parmi ces 79 %, c'est principalement le cycle de vie des terminaux qui en cause (à hauteur de 80 % de l'empreinte carbone des équipements des utilisateurs) car un équipement numérique a un impact négatif sur l'environnement à différents niveaux : il rejette une quantité importante de GES et de pollution, il nécessite des ressources énergétiques importantes, et il utilise des ressources naturelles limitées (minerais et eau).

Indirectement, la durée de vie des EEE pose également un problème car elle pousse à la consommation des EEE. Plus l'équipement a une faible durée de vie, plus il engendre une augmentation de l'empreinte environnementale du numérique car il doit être renouvelé plus régulièrement.

2.1.1. L'extraction des minerais et la fabrication du produit

L'extraction des minerais et la fabrication des terminaux sont les parties du cycle de vie les plus impactantes au niveau environnemental.

Tout d'abord, l'utilisation de matières premières, nécessaires à la fabrication des équipements, est très importante et peu durable. En effet, l'extraction des ressources naturelles non-renouvelables (terres rares, matériaux précieux) mène à leur épuisement bien que ces minerais limités en quantité sur la planète soient pour certains recyclables.

De plus, l'exploitation minière consomme une quantité importante d'énergie (8 à 10 % de l'énergie primaire⁽⁵⁾ mondiale et 5 % des émissions de GES) pour des matériaux de moins en moins présents dans l'environnement et dont la concentration dans les mines est de moins en moins importante. Le numérique fait donc face à une « barrière minéralogique⁽⁶⁾ » qui mène à l'épuisement des ressources et à des limites économiques et techniques. En lien direct, ces extractions présentent également un enjeu géopolitique du fait

(5) C'est l'ensemble des produits énergétiques non transformés, importés ou exploités directement (gaz naturel, pétrole brut, énergie solaire et hydraulique, etc).

(6) La raréfaction des minerais nécessite de creuser plus profondément et donc cela engendre un besoin d'énergie toujours plus important et des coûts financiers toujours plus élevés, ce qui fait que ces extractions sont de moins en moins viables économiquement, techniquement et environnementalement.

de la répartition inégale à travers le monde des minerais, ces derniers étant souvent concentrés dans un nombre restreint de pays dans le monde.

S'ajoutant à la phase d'extraction, la fabrication est également responsable de l'empreinte carbone des terminaux électriques et électroniques, car cette étape est consommatrice d'une quantité importante de matières premières, d'eau (en lien avec l'énergie nucléaire et les centrales à charbon nécessaires pour l'énergie notamment, le numérique est responsable de 0,2% de la consommation mondiale en eau), de produits chimiques et d'énergie tout en rejetant des GES.

A titre d'exemple, la fabrication d'un ordinateur de 2 kg nécessite environ 800 kg de matières premières, 22 kg de produits chimiques, 1,5 tonne d'eau, 240 kg de combustibles fossiles et rejette 124 kg de GES (sur les 169 kg émis durant toute la durée du cycle de vie de l'appareil). C'est ce que l'on appelle le « sac à dos écologique », c'est-à-dire que le produit a nécessité plus de ressources naturelles et généré plus d'impact que ce que son poids laisse à penser.

2.1.2. L'utilisation par les consommateurs

Après la fabrication, l'étape suivante du cycle de vie est l'utilisation des terminaux par les consommateurs. Cela comprend notamment les infrastructures nécessaires pour les faire fonctionner qui sont :

- Les infrastructures actives correspondant l'ensemble des éléments électriques tels que les serveurs ou encore les datas centers ;
- Les infrastructures passives qui sont les éléments de génie civil et tout ce qui n'est pas électrique tels que les réseaux de fibre optique ou de cuivre par exemple.

Ces deux types d'infrastructures utilisent directement ou indirectement des ressources matérielles et/ou énergétique et émettent des GES.

Concernant la consommation électrique mondiale du numérique lors de l'utilisation, 44 % sont consommés par l'utilisation des équipements terminaux, 24 % par les datas centers et 32 % par les réseaux (équipements actifs).

En France, en 2015, le numérique consomme 12 % de l'électricité et 3 % de l'énergie finale⁽⁷⁾.

Parmi ces 12 %, les trois-quarts correspondent à l'utilisation des équipements terminaux (76 %), 18 % de l'électricité est consommée par les datas centers, et 6% par les réseaux.

De plus, ces équipements tendent à être de plus en plus énergivores, notamment avec le phénomène d'obésiciel⁽⁸⁾ et l'effet rebond⁽⁹⁾ du numérique qui ont pour conséquence d'annuler ou de réduire fortement les bénéfices environnementaux attendus par le développement du numérique (diminution du besoin de se déplacer, dématérialisation, optimisation de l'énergie, etc).

(7) Énergie fournie au consommateur pour sa consommation finale (électricité, essence, etc).

(8) Ce terme désigne les logiciels très consommateurs en ressources et en mémoire.

(9) Diminution du prix des ressources entraînant l'augmentation de la demande et donc l'agrandissement des centres de données, l'installation de nouveaux câbles océaniques, etc.

2.1.3. La fin de vie des équipements

2.1.3.1. La filière de recyclage

Concernant la fin de vie des équipements numériques, les fabricants d'appareils numériques sont obligés d'organiser le recyclage de leurs déchets. Ces derniers sont triés et entreposés avant d'aller en centre de dépollution où les matières premières pouvant être réutilisées sont récupérées.

Selon l'étude de l'ADEME-Arcep, un Français génère en moyenne pour ses seuls usages numériques 301 kg/an de déchets (électroniques ou liés à l'extraction des matières premières) tandis que pour ce même individu, 949 kg/an de ressources sont utilisées pour la fabrication de ces équipements (comprenant les ressources abiotiques (énergies fossiles, matériaux, etc), la biomasse, les déplacements de terre, l'eau). Le recyclage de ces appareils est donc essentiel pour diminuer leur impact écologique. Le recyclage de D3E (Déchets électroniques et électriques) permet ainsi de diminuer de façon significative la quantité de déchets générés par nos usages numériques.

Ce type de gestion reste complexe et partiel car un grand nombre de matériaux présents sont en faible concentration ou sous forme d'alliages et le recyclage présente également un coût environnemental important car il utilise beaucoup d'énergie grise⁽¹⁰⁾ et fait face au problème de downcycling⁽¹¹⁾.

Malgré tout, la filière de recyclage est essentielle pour permettre de traiter ces déchets dangereux correctement et de réutiliser une partie des matériaux qui les composent, ce qui réduit la quantité de déchets produites et la quantité de matière première à extraire.

2.1.3.2. Le trafic de déchets numériques

Malgré l'existence de la filière de recyclage des D3E, en rance seul trois appareils sur quatre sont recyclés, le reste étant utilisé dans le trafic de déchets numériques. Ces appareils sont volés en déchetterie, achetés en ligne ou encore détournés dans les centres de dépôt des D3E en étant déclarés comme fonctionnels. Les appareils sont ensuite exportés illégalement dans des containers et vendus à des grossistes dans des pays comme le Ghana qui va les réparer et les revendre. Seulement, une majorité de ces appareils n'étant plus fonctionnels, ils sont inutilisables et donc déposés dans des décharges géantes.

En 2012, une enquête d'Interpol et des Nations Unies a été publiée et démontre que seulement 35% des 9,5 millions de tonnes de D3E européens ont été pris en charge par les filières de recyclage légales tandis que le reste a été recyclé dans des conditions non conformes, jeté ou encore triés afin de garder les matériaux de valeur ou encore exporté. Pour ce dernier point, cela concerne 1,5 millions de tonnes de D3E en 2012 dont peu sont déclarés officiellement.

Ce trafic a des conséquences sur les pays recevant les déchets et sur la santé des personnes travaillant dans ce domaine, notamment au Ghana et au Nigéria. En effet, ces personnes voient leur espérance de vie diminuer, à cause des conditions de travail très pénibles et d'émanations toxique (arsenic, plomb, etc) pouvant également se diffuser sur l'environnement autour de la zone de traitement. Ainsi, les villes et les campagnes environnantes se retrouvent polluées par les fumées noires de la décharge, ce qui présente à la fois un risque pour les populations et pour l'environnement.

2.1.4. La durée de vie

Enfin, la durée de vie des EEE est un problème récurrent car elle est souvent de courte durée, en particulier pour les smartphones qui sont en moyenne changés tous les 2,5 ans, notamment à cause de l'obsolescence programmée qui, par l'évolution des logiciels, rend le terminal dépassé voir inutilisable, mais également par les techniques de marketing utilisées par les vendeurs d'appareils numériques incitant à la surconsommation de ces objets.

Ce phénomène augmente ainsi la consommation numérique et donc la multiplication des impacts environnementaux du cycle de vie de chaque appareil.

(10) Il s'agit de la somme des énergies nécessaires lors du cycle de vie d'un EEE, de l'extraction au traitement du déchet.

(11) Cela consiste à recycler plusieurs fois un matériau, ce qui lui fait perdre en qualité. Le produit est donc recyclé pour avoir par la suite un usage différent, de valeur moindre.

La filière de reconditionnement de ces appareils permet cependant d'allonger leur durée de vie mais n'est encore que trop peu utilisée et parfois peu performante dans la qualité des appareils proposés à la vente. Son impact est encore trop faible vis-à-vis de la consommation actuelle d'appareils numériques neufs.

2.2. Les apports positifs du numérique

En parallèle, le progrès des technologies numériques peut favoriser le développement des territoires tout en garantissant leur durabilité sociale et environnementale.

2.2.1. Le numérique au service du développement durable

2.2.1.1. L'environnement

Selon leurs utilisations, les technologies peuvent être bénéfiques à l'environnement à différents niveaux.

Dans le domaine de l'agriculture notamment, le numérique fournit de nombreux services permettant d'optimiser l'effort et l'utilisation de ressources. Par exemple, des robots permettent l'optimisation des engrais, des pesticides et des engins agricoles, déterminent les zones nécessitant ces produits ou arrachent mécaniquement les herbes invasives. Certains équipements permettent également d'optimiser l'utilisation de l'eau grâce à la récupération de données pluviométriques ou encore l'analyse de la qualité des sols afin de connaître l'état des cultures. Enfin, le numérique peut être un véritable atout concernant l'entretien du matériel grâce à des capteurs connectés permettant de repérer des dysfonctionnements.

Le numérique est également un allié dans le domaine de l'énergie. Il permet notamment de mieux prévoir et gérer les flux d'électricité grâce au développement de nouvelles technologies telles que les Smartgrids par exemple.

Les technologies permettent également de monitorer l'environnement et faciliter les études scientifiques sur des milieux naturels, afin qu'elles deviennent plus performantes et mettent ainsi le numérique au service de la nature, en termes de connaissances, de gestion et de protection de la faune et de la flore. C'est le cas notamment grâce aux ordinateurs et aux intelligences artificielles, capables de modéliser des simulations numériques et donc faire des prévisions sur l'avenir. Cette technologie est par exemple utilisée par le GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat), pour les prévisions météorologiques, l'évolution des maladies, etc.

Elles favorisent la dématérialisation et le partage des connaissances naturalistes en enrichissant les données sur certaines espèces et en classifiant, en observant et en produisant des données sur la nature et l'environnement.

Enfin, ce numérique participe activement à des actions de pédagogie, de sensibilisation et d'appropriation de la cause écologique avec des dispositifs tels que des systèmes d'alertes, des applications ludiques ou encore l'organisation collective d'actions locales.

2.2.1.2. Le social

Les technologies permettent également d'agir au niveau social en facilitant certaines pratiques responsables et en créant des services utiles pour différentes activités, telles que la santé (avec les téléconsultations médicales, la smarthealth, etc), l'éducation et le milieu professionnel (avec le télétravail, les campus connectés, les cours en distanciel, la personnalisation des apprentissages grâce aux IA, ...).

Le numérique rend également service dans la vie quotidienne de chacun (avec les smarthomes, le covoiturage, les plateformes de seconde-main et de circuit-court, etc) et dans la vie politique et l'organisation des sociétés (avec les Civic Tech⁽¹²⁾ par exemple ou plus généralement les intelligences artificielles (IA) qui peuvent aider les politiques et anticiper davantage les catastrophes naturelles présentes ou futures sur un territoire).

(12) Outils technologiques utilisés pour améliorer et renforcer le fonctionnement démocratique des sociétés.

2.2.1.3. L'économie

Le numérique permet également le développement économique des territoires en faveur de l'environnement et des populations.

C'est un outil de transformation du modèle économique actuel vers un modèle plus durable. Il assure la création de nouveaux biens et services tels que de nouveaux équipements et infrastructures, et le développement de plateformes, telles que des applications mobiles utiles.

De ce fait, le numérique favorise également l'émergence d'une économie collaborative, c'est-à-dire une économie de pair à pair développée notamment grâce au numérique et à certaines applications mobiles proposant des plateformes de seconde main, de location, de prêt, etc (ce sont des plateformes telles que Le Bon Coin et Vinted par exemple). Elles reposent sur le partage ou l'échange entre particuliers de biens, services ou connaissances, avec ou sans échange monétaire, par l'intermédiaire d'une plateforme numérique de mise en relation.

Ce modèle répond à des phénomènes de sous-utilisation des biens et des infrastructures et favorise l'usage des biens plutôt que la possession.

2.2.1.4. La Gouvernance partagée

Parent du pouvoir des politiques publiques et pilier du développement durable, la gouvernance partagée permet d'impliquer toutes les parties prenantes dans les prises de décision territoriales, de la conception à l'évaluation d'un projet. Ce modèle permet ainsi la naissance de projets plus justes et systémiques.

Dans la transition écologique, ce modèle apparaît comme pertinent dans la prise de décision car il permet à chaque acteur de cette transition d'y participer directement. Ainsi, les experts du climat et de l'environnement peuvent conseiller et apporter leur expertise et les citoyens peuvent participer à des projets qui les concernent directement.

La gouvernance partagée permet une meilleure analyse de la situation environnementale des territoires et la mises en place d'actions concrètes et efficaces sur le long terme, grâce au renforcement des interactions entre l'expertise scientifique, le débat démocratique et la décision publique.

Dans cette situation, le numérique constitue un outil d'inclusion citoyenne, permettant à chacun d'agir en proposant par exemple des plateformes aux citoyens de s'informer et de donner leurs avis sur des questions d'ordre public telles que celles en lien avec la transition écologique.

2.2.2. **Le numérique au service des territoires ruraux**

Dans le contexte de transition écologique, la transformation numérique des territoires se développe et se présente comme un enjeu d'avenir. Elle permettrait de rendre les territoires durables, attractifs, égaux et compétitifs.

Actuellement l'aménagement du territoire français se fait autour des grandes métropoles. Ces espaces proposent une forte attractivité et compétitivité, c'est là que les populations se concentrent en majorité afin d'y travailler et par extension d'y vivre. Cependant, avec la politique de développement durable et le développement du numérique, les grandes métropoles s'avèrent être des espaces de moins en moins pertinents pour y vivre, que ce soit au niveau social (entassement des ménages dans des immeubles, accentuation de la séparation des classes, inégalités des chances, etc), environnementale (migrations pendulaires⁽¹³⁾, embouteillages, artificialisation des sols, concentration des émissions de GES, etc) et même économique (concurrence plus élevée, concentration des « talents », etc). Aujourd'hui, les villes représentent moins de 2 % de la surface de la Terre mais émettent plus de 60 % des émissions de GES mondiales.

L'échelle des collectivités territoriales a été déterminée comme pertinente pour la transition écologique. Elles sont idéales pour adapter le territoire français au changement climatique et permettre la création d'espaces durables, viables, autonomes et qui puissent garantir l'égalité des territoires.

(13) Ce terme représente les trajets quotidiens des populations entre leur lieu de travail et leur domicile, à des heures régulières.

L'arrivée du numérique permet de mettre en évidence la pertinence de ces espaces dans les transitions écologiques et sociales et l'importance de repenser la distribution des populations sur le territoire français. Le numérique joue également un rôle dans l'augmentation de l'efficacité et l'optimisation de la consommation d'énergie et en assurant la résilience des territoires et des organisations.

Les technologies numériques initient ainsi le développement de Smart Villages (à l'image des Smart Cities⁽¹⁴⁾), qui sont des villages plus résilients et « intelligents » grâce à la mise en place de pratiques solidaires et innovantes de coopération et de mobilisation numérique afin de mettre en marche la transition écologique. Ce modèle au service des territoires ruraux fait appel à des logiques coopératives et d'intelligence collective avec l'utilisation éventuelle du numérique.

Ainsi, le numérique est un outil permettant le développement de Smart Villages et favorise le déplacement des populations urbaines vers les territoires ruraux.

Ce modèle ouvre des perspectives intéressantes en termes de développement de l'accès à certains services dans le domaine de la santé, du travail ou de l'éducation par exemple (téléconsultation, formations à distance, télétravail, etc). Le numérique est ainsi considéré comme un outil au service d'un projet de développement et de transformation des territoires.

Le développement numérique dans un projet de Smart Village fait cependant émerger de nouveaux enjeux sur le territoire, telles que les questions d'inclusion numérique, de gouvernance et de la protection des données. Il s'agit d'accompagner également tous les citoyens pour faciliter leurs usages du numérique et éviter les situations d'exclusion.

3. L'avenir du numérique

Face à ce bilan environnemental contrasté du numérique, l'ADEME et l'Arcep ont modélisé des hypothèses sur l'impact qu'il aura d'ici 2030 et 2050 en France.

3.1. Des hypothèses de l'impact du numérique d'ici 2030 et 2050

3.1.1. L'impact du numérique dès 2030

D'après l'étude de l'ADEME-Arcep, quatre scénarios sont possibles pour 2030 :

- Un scénario tendanciel, non durable et durant lequel la consommation électrique et les émissions de GES vont augmenter.
- Un scénario d'éco-conception modérée avec une diminution de la consommation électrique mais une augmentation des émissions de GES
- Un scénario d'éco-conception généralisée, avec la diminution de consommation d'électricité et la stabilité des émissions de GES
- Un scénario de sobriété, soit le plus durable, avec une diminution des émissions de GES et de la consommation en électricité

En France, c'est un scénario tendanciel qui est actuellement prévu si rien ne change, avec des émissions de GES qui tendent à augmenter de 45 % jusqu'à 2030 et qui pourraient tripler d'ici 2050 avec une consommation en énergie multipliée par deux cette même année.

3.1.2. Les leviers d'actions identifiés pour réduire l'impact dès 2030

Des solutions hypothétiques peuvent être proposées pour ces scénarios. Elles portent sur l'allongement de la durée de vie des équipements d'un ou deux ans grâce à la réparation, l'éco-conception ou un usage sobre. Cela concerne également la limitation du nombre d'EEE grâce à une mutualisation des équipements, un usage plus sobre ou encore l'utilisation de produits reconditionnés. Enfin, le dernier levier proposé par l'étude

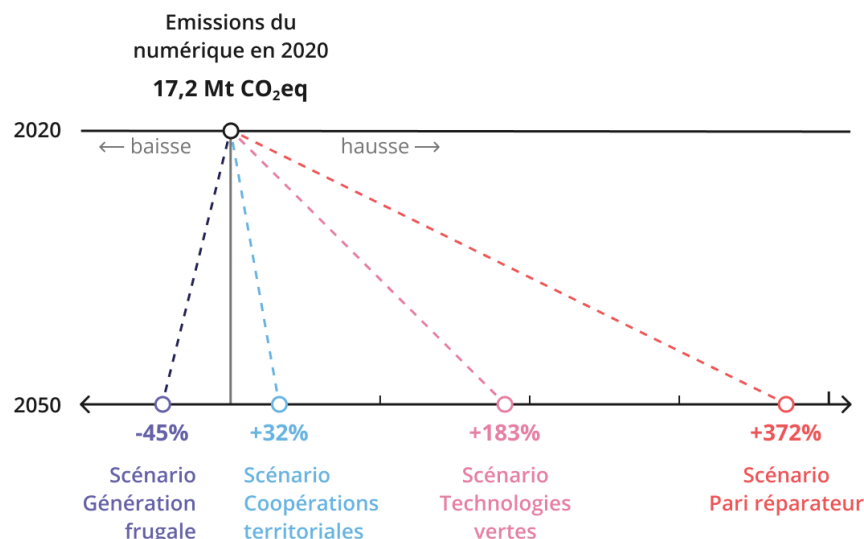
(14) Ville dont l'intelligence est basée sur les nouvelles technologies pour améliorer la qualité des services urbains ou réduire leurs coûts.

ADEME-Arcep est de progressivement remplacer les EEE les plus consommateurs de ressources par des équipements plus sobres (par exemple avec des écrans plus petits).

3.1.3. Les scénarios à l'horizon 2050

À plus long terme, l'étude a également modélisé quatre scénarios possibles dès 2050 pour le numérique et leurs effets, notamment concernant leurs émissions de GES (figure ci-dessous) :

- Le scénario « Pari réparateur », dans le cas où le mode de vie actuel est conservé, et avec lequel le numérique continu de se développer et dont les émissions de GES seront compensées par des nouvelles technologies sur lesquelles s'appuyer pour gérer et réparer les systèmes sociaux et écologiques. Il s'agit d'une révolution numérique qui constitue l'élément central de la société. Il pose cependant la question de l'épuisement des ressources des matières premières.
- Le scénario « Technologies vertes », favorise le développement technologique et numérique pour répondre aux défis environnementaux, sans changer les comportements vers plus de sobriété. Il répondrait principalement aux problématiques actuels des territoires urbains et accentuerait la fracture avec les milieux ruraux qui bénéficie peu de ces innovations actuellement.
- Le scénario « Coopérations territoriales » au cours duquel la société est transformée en une gouvernance partagée et des coopérations territoriales. Pour le numérique, il reprend les principes d'éco-conception modérée et de sobriété sans changer les habitudes de consommation.
- Le scénario « Génération Frugale », qui correspond à une transformation importante des habitudes et des comportements vers un mode de vie plus sobre, en général et concernant le numérique. Il est engendré par une prise de conscience générale ou imposée par des pénuries de matières premières. Pour ce scénario, l'usage du numérique de loisir se doit d'être sobre mais le numérique sera également prioritaire pour des usages utiles comme la santé, la mobilité, la culture, l'éducation, etc.



Hypothèse d'évolution des émissions de GES (sur le cycle de vie des EEE) selon les quatre scénarios entre 2020 et 2050 (Source : ADEME-Arcep)

Pour avoir un réel impact, la société semble devoir aller vers la sobriété et l'éco-conception et suivre le scénario « génération frugale » permettant notamment une baisse des émissions de GES.

3.2. Des pistes d'amélioration pour un numérique durable au service des territoires

Pour un numérique responsable et plus durable, il y a cinq principes clés permettant d'agir afin de limiter au maximum ses atteintes à l'environnement.

3.2.1. Mesurer

Le premier principe pour un numérique responsable est de connaître les impacts qu'il engendre en mesurant divers facteurs tels que la quantité de GES émis, la consommation des ressources abiotiques et des ressources en eau.

Le principal moyen utilisé pour cela est l'analyse du cycle de vie qui permet de quantifier les impacts environnementaux à chaque étape de la vie des EEE.

3.2.2. Sensibiliser

Une autre action essentielle est la sensibilisation du public dans les organisations, afin de faire prendre conscience de l'impact du numérique et surtout de proposer des actions concrètes pour réduire son empreinte environnementale. Cela peut par exemple se faire grâce à un formateur ou un facilitateur certifié.

3.2.3. Éviter, Réduire, Compenser

La démarche ERC (Éviter, Réduire, Compenser) permet tout d'abord d'éviter les atteintes à l'environnement grâce à une mesure d'évitement qui modifie un projet afin de supprimer son impact négatif préalablement identifié. Pour chaque projet, c'est la règle des « 3U » qui doit être questionnée : Utile, Utilisable, Utilisé.

Cette approche permet également de réduire son empreinte environnementale en diminuant autant que possible la durée, l'intensité et l'étendue des impacts d'un projet qui ne peut pas être évité.

Selon l'étude ADEME-Arcep, afin de réduire les conséquences sur l'environnement, les actions concrètes les plus pertinentes sont la mise en place d'une politique de « sobriété numérique » (réduction ou stabilisation du nombre d'équipements, allongement de la durée de vie des terminaux, sensibilisation, etc) et l'éco-conception des terminaux et des équipements (réemploi, réutilisation, réparation, recyclage systématique, adaptation des fonctionnalités aux réels besoins des utilisateurs, etc).

Enfin, les émissions de GES qui n'ont pu être évitées ou suffisamment réduites devraient être compensées grâce au développement de projets utiles pour le climat en France et/ou à l'étranger.

L'objectif de la démarche ERC est donc d'atteindre la neutralité carbone⁽¹⁵⁾.

4. Le progrès comme solution au changement climatique

Outre son empreinte environnementale connue à ce jour, le numérique constitue un outil majeur pour faciliter la transition écologique des territoires et les accompagner face au changement climatique. Des technologies innovantes se développent et tendent à devenir indispensables dans la conservation, la gestion et la protection de l'environnement et des territoires.

4.1. Pour les transitions énergétiques, industrielles et agro-alimentaires

Le numérique constitue un outil pour la transition énergétique en permettant d'optimiser l'énergie produite, distribuée et consommée. Cela passe par des prévisions et des maintenances productibles (outil météorologique pour anticiper la production d'électricité renouvelable, prévenir les pannes, etc), d'insertion intelligente d'énergie renouvelable dans le réseau, d'optimisation globale de l'énergie ou encore de gestion technique et économique et d'autoconsommation⁽¹⁶⁾. C'est notamment l'objectif des Smartgrids permettant une optimisation maximale de l'énergie pour les producteurs, les gestionnaires et les consommateurs. Pour les pouvoirs publics, la récupération des données de consommation, de production et de transit sur les réseaux fournit des informations permettant d'évaluer les enjeux et de définir des stratégies sur un territoire.

Les technologies numériques permettent également l'optimisation de l'énergie dans les transports avec le développement du covoiturage et de nouveaux services de mobilité intelligents, en s'appuyant sur l'intermodalité et les informations des usagers. Cela peut également se faire avec le développement des véhicules autonomes connectés.

Le domaine industriel, représentant un quart des émissions mondiales de GES, peut également améliorer son bilan carbone grâce au numérique, via à diverses actions :

- L'amélioration du cycle de vie des produits (revente, prêt, réemploi grâce à des plateformes digitales)
- Pour l'industrie nucléaire, un robot de démantèlement des centrales est développé et perfectionné pour agir de façon efficace et limiter les dangers environnementaux du nucléaire
- L'analyse de données pour le pilotage de la décarbonation des entreprises

(15) Pour d'autres détails sur les émissions de GES d'origine humaine et leur rétroaction sur l'atmosphère, voir le chapitre 10 (Logistique industrielle).

(16) Consommation de sa propre production d'électricité, à partir de ressources renouvelables.

- ...

Au niveau agro-alimentaire, le numérique présente surtout des avantages en termes d'utilisation des ressources et des produits phytosanitaires. Des robots agricoles sont développés afin de détecter les parcelles nécessitant un traitement, d'analyser la qualité physico-chimique de la terre (économisation de la ressource en eau), remplacer les engins et matériels agricoles pour certaines tâches (traite, alimentation du bétail, désherbage, viticulture, etc). Ceci permet une optimisation de l'effort, de l'utilisation d'énergie et de l'impact environnemental sur la biodiversité et les milieux (moins de tassement des sols agricoles, moins de pesticides et engrais polluants, etc).

Le numérique permet également le développement du circuit-court dans le marché alimentaire, ce qui présente un avantage environnemental, social, économique et sanitaire, en permettant à tous de consommer local des produits de meilleure qualité et de rémunérer à une valeur juste les agriculteurs (car cela nécessite peu d'intermédiaires), tout en profitant à l'économie locale.

4.2. Pour la protection des territoires face aux menaces naturelles liées au changement climatique

Le numérique constitue également un outil permettant de protéger les territoires et leurs populations des effets du changement climatique.

4.2.1. L'atténuation des risques lors de catastrophes naturelles

Le développement du numérique a permis de le mettre au service des populations dans les cas de catastrophes naturelles, épisodes de plus en plus fréquents avec le changement climatique. Il agit directement en réduisant les risques via différentes méthodes. Cela peut être en prévision des phénomènes grâce à l'élaboration d'outils tels que des cartes interactives, des supercalculateurs qui modélisent de façon plus précise les risques ou encore des simulations afin de voir les impacts sur les milieux, etc. Ce type de dispositifs permet d'étudier et de prévoir le plus précisément possible les potentielles catastrophes naturelles sur un territoire.

Il peut également permettre d'avertir les citoyens et de détecter en temps réel les phénomènes, notamment grâce à des dispositifs d'alerte et d'information des populations comme FR-Alert par exemple qui est un outil développé par le Gouvernement pour prévenir des dangers et des comportements à adopter pour se protéger via les téléphones portables.

Enfin, des outils sont développés pour accompagner les personnes et les territoires victimes des catastrophes naturelles, après qu'elles aient eu lieu, en proposant par exemple des plateformes en ligne d'aide basées sur la collaboration entre les personnes.

4.2.2. La préservation de la biodiversité et des ressources en eau

Les technologies numériques constituent également une aide dans la préservation de l'environnement, notamment dans la protection de la biodiversité. Elles sont basées sur trois leviers de sauvegarde :

- La constitution de bases de données
- La reconnaissance des espèces par les IA
- La création de jumeaux numériques d'écosystèmes

Ces leviers permettent d'améliorer les recherches en biodiversité (suivi des populations, migrations, évolution des écosystèmes selon les changements climatiques, etc) et de sensibiliser et d'engager la population car ces technologies sont basées pour certaines sur la participation citoyenne.

Enfin, le numérique est un moyen de faire face à la raréfaction des ressources naturelles et notamment l'eau, en permettant grâce à diverses technologies d'optimiser son cycle.
Pour citer quelques exemples :

- L'utilisation de capteurs sur l'ensemble des réseaux de distribution, permettant de détecter les fuites et les pertes
- Le télécontrôle sur les exploitations agricoles pour optimiser son utilisation sur les parcelles
- Les outils météorologiques permettant d'anticiper les épisodes pluvieux
- La constitution et le traitement d'une base de données afin de mieux connaître les enjeux (la demande, adapter l'offre, optimiser les tarifs, etc)
- Etc

Conclusion

Nous nous interrogeons sur la durabilité du numérique, c'est-à-dire ses impacts dans la transition écologique et son potentiel pour l'avenir environnemental.

Ce qui ressort de cette note est que le numérique se présente à la fois comme un problème et une solution dans la transition écologique. Un problème quant aux impacts négatifs qu'il provoque sur l'environnement, notamment par son importante consommation de ressources naturelles et d'énergie durant tout son cycle de vie ; mais également une solution quant à son rôle dans le développement durable et le développement des territoires ruraux.

Le numérique semble être à la fois une partie du problème mais également une partie de la solution face au changement climatique. Le développement de ces technologies est prometteur pour l'avenir et peut être à l'initiative de nombreux changements positifs, si son utilisation reste raisonnée et raisonnable. Elles constituent un levier non négligeable de la transition écologique, particulièrement en termes d'aménagement du territoire et de « démétropolisation ».

En effet, le numérique est un levier majeur dans l'exploitation du potentiel de la ruralité. C'est un outil d'avenir permettant de repenser l'organisation des territoires français, pour les rendre plus égaux entre eux et plus vertueux envers l'environnement. Le numérique ouvre la possibilité de transformer entièrement les modes de vie actuels, en favorisant le télétravail par exemple, et permettre à des populations de s'éloigner des grandes villes. Une nouvelle répartition de la population modifierait le fonctionnement des territoires, les habitudes des citoyens (déplacements, travail, alimentation, etc) et certains services. Ainsi, des installations, telles que les réseaux d'eau potables, les stations d'épuration ou encore les déchetteries seraient moins imposants et mieux répartis sur le territoire national, ce qui permettrait une diminution de leurs impacts environnementaux. À travers le Programme France Très Haut Débit et les réseaux en fibre optique qui maillent désormais la France, le numérique pourrait donc bien être à l'origine d'une transformation de notre société vers un modèle plus durable !

Bibliographie

- [1] « Présentation : origines et principes », *L'Agenda 2030 en France*, 18 juillet 2023 (consulté en juillet 2023).
- [2] « Qu'est-ce que l'Agenda 21 ? », *vie-publique.fr*, 26 juin 2020 (consulté en juillet 2023).
- [3] « COP, sommets de la Terre... six questions sur les conférences pour le climat », *vie-publique.fr*, 2 novembre 2022 (consulté en juillet 2023).
- [4] Pauline, « Les fausses promesses du numérique. Environnement, Education, Santé, Travail », *Commission Justice & Paix - Belgique francophone*, 28 novembre 2019 (consulté en juillet 2023).
- [5] « La loi anti-gaspillage pour une économie circulaire », *Ministères Écologie Énergie Territoires* (consulté en juillet 2023).
- [6] « Le numérique responsable », *Ministères Écologie Énergie Territoires* (consulté en juillet 2023).
- [7] « Numérique et environnement : la feuille de route du Gouvernement » (consulté en juillet 2023).
- [8] « Empreinte environnementale du numérique mondial | GreenIT ». <https://www.greenit.fr/etude-empreinte-environnementale-du-numerique-mondial/> (consulté en juillet 2023).
- [9] « L'aménagement numérique des territoires », *Arcep* (consulté en juillet 2023).
- [10] Adeli, « Développement durable, les apports du numérique », 2019 (consulté en juillet 2023).
- [11] ADEME et Arcep, « Dossier de presse - Etude ADEME-Arcep : évaluation de l'empreinte environnementale du numérique en France en 2020, 2030 et 2050. », mars 2023 (consulté en juillet 2023).
- [12] « Impact environnemental du numérique en 2030 et 2050 : l'ADEME et l'Arcep publient une évaluation prospective », *ADEME Presse*, mars 2023 (consulté en juillet 2023).
- [13] « Le trafic de déchets électroniques, un fléau exponentiel » (consulté en juillet 2023).
- [14] « Le traitement illégal des DEEE est majoritaire en Europe ! », *Techniques de l'Ingénieur* (consulté en juillet 2023).
- [15] « SFEC : Quelle gouvernance pour la transition écologique ? », juin 2022 (consulté en juillet 2023).
- [16] « Les scénarios », *Agence de la transition écologique* (consulté en juillet 2023).
- [17] « L'énergie des métaux – EcoInfo » (consulté en juillet 2023).
- [18] « Numérique et consommation énergétique », *notre-environnement*, 26 juillet 2023 (consulté en juillet 2023).
- [19] Joanna, « Le syndrome de l'obésiciel : des applications énergivores », *Interstices*, 19 juillet 2015 (consulté en juillet 2023).
- [20] « Livre blanc numérique et environnement : 26 actions concrètes pour faire converger numérique et écologie », *Green IT*, 19 mars 2018 (consulté en juillet 2023).

- [21] L. Vasseur, A. Chasson, et Q. Ghesquière, « Livre blanc : 50 mesures pour une consommation et une production durables », février 2019 (consulté en juillet 2023).
- [22] « Sobriété numérique et collectivités territoriales : Quels enjeux ? », GreenIT.fr et Espelia (consulté en juillet 2023).
- [23] C. Berthaut et G. V. Diest, « Impacts environnementaux du numérique en France », 2021 (consulté en juillet 2023).
- [24] « Écologie numérique : les 15 gestes faciles à adopter dès aujourd'hui ». <https://www.hellocarbo.com/blog/communaute/ecologie-numerique/> (consulté en juillet 2023).
- [25] « Numérique au bureau : 43 % de notre budget soutenable ! », *Green IT*, 22 septembre 2022 (consulté en juillet 2023).
- [26] Malik, « Transition écologique : Une histoire de temps », *GreenKit*, 18 juin 2020 (consulté en juillet 2023).
- [27] « Liste d'outils Numérique Responsable par l'INR ». <https://sustainableit-tools.isit-europe.org/?cat=8> (consulté en juillet 2023).
- [28] « 6e rapport du GIEC : quelles solutions face au changement climatique ? - Réseau Action Climat » (consulté en juillet 2023).
- [29] Malik, « Transition écologique : Une histoire de temps », *GreenKit*, 18 juin 2020 (consulté en juillet 2023).
- [30] « Transition écologique : définition et moyens d'actions - Oxfam France » (consulté en juillet 2023).
- [31] « L'agenda pour un futur numérique et écologique », *Fing* (consulté en juillet 2023).
- [32] « Robots agricoles : où en est-on ? », *Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire* (consulté en juillet 2023).
- [33] E. T. Conseil, « La transition numérique au service de la révolution énergétique », *Euro Tech Conseil*, 3 septembre 2022 (consulté en juillet 2023).
- [34] L. Michel et G. Meheut, « Numérique et transition énergétique », *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, vol. 87, n° 3, p. 31-34, 2017, doi: 10.3917/re1.087.0031.(consulté en juillet 2023).
- [35] « Intelligence artificielle : une opportunité dans la lutte contre le réchauffement climatique ? », *Franceinfo*, 16 juin 2023 (consulté en juillet 2023).

Glossaire

Termes	Définitions
Autoconsommation	Consommation de sa propre production d'électricité, à partir de ressources renouvelables.
Barrière minéralogique	La raréfaction des minerais nécessite de creuser plus profondément et donc cela engendre un besoin d'énergie toujours plus important et des coûts financiers toujours plus élevés, ce qui fait que ces extractions sont de moins en moins viables économiquement, techniquement et environnementalement.
Civic Tech	Outils technologiques utilisés pour améliorer et renforcer le fonctionnement démocratique des sociétés.
Downcycling	Cela consiste à recycler plusieurs fois un matériau, ce qui lui fait perdre en qualité. Le produit est donc recyclé pour avoir par la suite un usage différent, de valeur moindre.
Effet rebond	Diminution du prix des ressources entraînant l'augmentation de la demande et donc l'agrandissement des centres de données, l'installation de nouveaux câbles océaniques, etc.
Énergie finale	Energie fournie au consommateur pour sa consommation finale (électricité, essence, etc).
Énergie grise	Il s'agit de la somme des énergies nécessaires lors du cycle de vie d'un EEE, de l'extraction au traitement du déchet.
Énergie primaire	C'est l'ensemble des produits énergétiques non transformés, importés ou exploités directement (gaz naturel, pétrole brut, énergie solaire et hydraulique, etc).
Indice de durabilité	Il indique une note sur 100 points répartis sur quatre critères permettant d'évaluer la durabilité des EEE. Il devrait remplacer l'indice de réparabilité d'ici 2024.
Indice de réparabilité	Il indique une note sur 10 afin d'informer le consommateur sur le caractère plus ou moins réparable d'un produit électrique et électronique. Son affichage est obligatoire depuis 2020 (dans le cadre de la loi AGECE).
Migrations pendulaires	Ce terme représente les trajets quotidiens des populations entre leur lieu de travail et leur domicile, à des heures régulières.
Neutralité carbone	Point d'équilibre entre les émissions de GES d'origine humaine et leur retrait de l'atmosphère par l'Homme (ou captation).
Phénomène obésiciel	Ce terme désigne les logiciels très consommateurs en ressources et en mémoire.
Rapport Brundtland	Officiellement intitulée <i>Our Common Future</i> (Notre avenir à tous), cette publication a été rédigée par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'ONU en 1987 et présidée par Gro Harlem Brundtland. Il a notamment été utilisé comme base au Sommet de la Terre de Rio en 1992.
Smart City	Ville dont l'intelligence est basée sur les nouvelles technologies pour améliorer la qualité des services urbains ou réduire leurs coûts.
Sommet de la Terre	Il s'agit d'une rencontre décennale entre les chefs d'États du monde organisée par l'ONU pour définir les moyens d'encourager le développement durable à l'échelle mondiale.

Liste des abréviations, sigles et acronymes

Termes	Significations
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AGEC	Anti-Gaspillage et Économie Circulaire
ARCEP	Autorité de Régulation des Communications Électroniques, des postes et de la distribution de la Presse
CAME	Compétitivité, Attractivité, Métropolisation et Excellence
CCNUCC	Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
COP	Conferences Of the Parties (Conférence des Parties)
D3E	Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques
EEE	Équipements Électriques et Électroniques
ERC	Éviter Réduire Compenser
GES	Gaz à Effet de Serre
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat
IA	Intelligence Artificielle
ONG	Organisation Non Gouvernementale
ONU	Organisation des Nations Unies
REEN	Réduire l'Empreinte Environnementale du Numérique
REP	Responsabilité Élargie du Producteur
WWF	World Wild Found for Nature

