



HAL
open science

Un aperçu du e-commerce éco-responsable français

Théo Le Brun

► **To cite this version:**

Théo Le Brun. Un aperçu du e-commerce éco-responsable français. Toulouse INP; LAAS - CNRS. 2023. hal-04142062v1

HAL Id: hal-04142062

<https://hal.science/hal-04142062v1>

Submitted on 26 Jun 2023 (v1), last revised 22 Sep 2023 (v3)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Un aperçu du e-commerce éco-responsable français

Chaire *Retail Responsible*



Auteur : Théo Le Brun, Toulouse INP, LAAS-CNRS, Ingénieur d'Etude au sein de la Chaire *Retail Responsible*, tlebrun@laas.fr

Sous la responsabilité de : Sandra Ulrich Ngeuveu et Marie-José Huguet, LAAS-CNRS, Université de Toulouse, INP, INSA

Date de parution : Juin 2023

Le e-commerce éco-responsable français en 1 page

Le e-commerce est un secteur en plein développement économique, vers lequel se tournent de plus en plus de commerçants et de consommateurs. Les offres de livraisons sont toujours plus variées et rapides, mais les enjeux écologiques encore trop souvent laissés de côté.

Ce rapport s'intéresse aux impacts écologiques du e-commerce (principalement sa contribution au changement climatique) en France à travers 4 pôles que sont **le transport des marchandises, les entrepôts, l'empreinte numérique et les déchets liés aux emballages de livraison**. L'obtention de valeurs précises étant compliqué du fait du peu de données disponibles et des délimitations des différents pôles qui ne sont pas toujours évidentes, **ce rapport s'attache plutôt à attirer l'attention sur des points d'importance et des ébauches de solutions** qui doivent être considérés lors de recherches sur le e-commerce éco-responsable.

L'impact du transport de marchandises est décomposé selon 5 leviers : la demande de transport, le report modal, le taux de remplissage, l'efficacité énergétique des véhicules et l'intensité carbone de l'énergie utilisée.

La demande de transport est le principal facteur responsable de la hausse des émissions du transport de marchandises sur les 60 dernières années. La modération de ce facteur nécessitera un changement des habitudes de consommation et/ou une réduction des kilomètres à parcourir, pouvant passer par une optimisation des tournées ou du choix de mode distribution.

Le report modal a rendu le routier largement majoritaire, avec notamment un développement des véhicules utilitaires légers en centres urbains. Le report vers des modes massifiés (le fer et le fluvial, ou les poids lourds en remplacement des véhicules utilitaires) devrait être bénéfique.

Le taux de remplissage et l'efficacité énergétique des véhicules ont été en constante amélioration ces dernières années, mais des gains sont encore possibles.

Enfin, **la décarbonation de l'énergie** a un grand rôle à jouer. L'électrification par batterie constitue une partie de la solution, mais ne pourra pas être appliqué à tous les véhicules, du fait des tailles de batterie requises. Le recours à des autoroutes électriques, l'hydrogène, les biocarburants ou les biogaz sont des alternatives crédibles.

Les **entrepôts** sont consommateurs de surface et d'énergie. L'artificialisation des sols doit être maîtrisée, et l'exploitation de la verticalité ou de points de stockages temporaires peut permettre de réduire les besoins d'espace. Des économies d'énergies et l'exploitation d'énergies renouvelables pourront contribuer à la réduction de l'impact des bâtiments.

L'**empreinte numérique** du e-commerce est directement liée aux consommations d'énergie pour faire fonctionner les sites web, mais aussi indirectement aux consommations de ressources et déchets générés par les équipements (serveurs, ordinateurs, téléphones, tablettes...) La part du e-commerce dans ces impacts est ainsi particulièrement compliquée à estimer.

Le transport des colis génère **des surplus d'emballages** qui se chiffrent en milliers de tonnes de carton et de plastique. Les colis réutilisables permettraient de réduire le volume de déchets, tandis que l'utilisation de matériaux recyclables et/ou recyclés pourra réduire l'impact des déchets.

Enfin, si ce document fournit quelques clés pour appréhender les enjeux environnementaux du e-commerce, il délaisse les **enjeux sociaux** qui sont également primordiaux dans l'atteinte d'un e-commerce responsable.

Avant Propos

Le présent document a été produit afin de servir d'introduction aux enjeux environnementaux de la chaire *Retail Responsible*, portée par l'Institut National Polytechnique de Toulouse, OneStock et le Centre National de la Recherche Scientifique. Débuté en septembre 2022 et prévu pour 5 ans, ce projet de recherche et de formation vise à mettre les outils de Recherche Opérationnelle¹ au service d'un développement responsable du commerce connecté.

L'objectif premier est donc de fournir aux chercheurs de la chaire une revue de littérature des enjeux environnementaux attenants à leurs travaux, puis de présenter des ébauches de solutions et de politiques publiques envisagées. Si une revue de la littérature scientifique traitant spécifiquement des enjeux évoqués précédemment pourra être envisagée plus tard, la présente étude fait appel principalement à des rapports gouvernementaux et d'institutions.

Concernant la portée du document, il est important de noter que la majorité des études consultées se concentre sur la France et que tout ce qui est présenté n'est ainsi pas généralisable à tous les pays². Ensuite, ce rapport est centré sur la décarbonation des activités, qui n'est pas le seul enjeu environnemental. Les problématiques de pollution et de protection des écosystèmes sont ponctuellement évoquées, mais aussi parfois directement liées à la problématique de décarbonation. Par ailleurs, les enjeux sociaux ne sont pas considérés ici, mais n'en restent pas moins un enjeu central du e-commerce.

Ne pas lire les nombreuses notes de bas de page ne devrait pas gêner à la compréhension globale du document. Elles sont utilisées à l'attention des lecteurs voulant davantage de précisions techniques.

Si le rapport se veut objectif et essaye de citer correctement ses sources, l'auteur est ouvert à toute question, remarque ou discussion, à l'adresse tlebrun@laas.fr.

Enfin, un grand merci à Valentin Antuori pour la relecture, les corrections et les nombreux commentaires pertinents.

1. La recherche opérationnelle peut se définir comme la mise en œuvre de méthodes scientifiques en vue de prendre la meilleure décision possible. Elle s'appuie pour cela sur des méthodes mathématiques et algorithmiques. La plupart des problèmes que traite la recherche opérationnelle se modélisent en identifiant l'ensemble des décisions que l'on a la possibilité de prendre, les contraintes auxquelles il faut se conformer, et l'objectif que l'on se donne à optimiser. Ensuite, de nombreuses méthodes algorithmiques avec différents degrés de précision et d'efficacité peuvent être mises au point pour la résolution de ces problèmes.

2. L'exemple le plus parlant est celui des véhicules électriques, dont le potentiel de réduction des émissions nationales est en partie conditionné par l'intensité carbone de l'électricité du pays.

Acronymes

ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie
BtoB	Business to Business
BtoC	Business to Customers
CA	Chiffre d'Affaire
EPCI	Etablissement Public de Coopération Intercommunale
EPL	Entrepôts et Plateformes Logistiques
EPRIECEL (charte d')	Engagements Pour la réduction de l'Impact Environnemental du Commerce En Ligne
FEVAD	Federation du E-commerce et de la Vente A Distance
GES	Gaz à Effet de Serre
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
NDCs	Nationnaly Determined Contributions
PL	Poids Lourds
SNBC	Stratégie Nationale Bas-Carbone
VUL	Véhicules Utilitaires Légers
ZAN	Zéro Artificialisation Nette
ZFE	Zone à Faibles Emissions

Table des matières

1	Introduction	6
2	Les enjeux actuels du e-commerce	9
2.1	Le e-commerce entraîné par sa prospérité économique	9
2.2	L'impact environnemental du e-commerce	10
2.2.1	Le transport	11
2.2.2	Les entrepôts	15
2.2.3	L'empreinte numérique	16
2.2.4	La gestion des emballages	17
2.2.5	Comparaison du bilan environnemental de différents modes de distribution des marchandises	18
3	En route vers un e-commerce éco-responsable	21
3.1	La décarbonation du transport de marchandises	21
3.1.1	Une modération de la demande de tonnes-kilomètres à transporter	21
3.1.2	Un report modal favorable	22
3.1.3	Une amélioration du taux de remplissage	24
3.1.4	Des véhicules énergétiquement plus efficaces	24
3.1.5	Utilisation d'une énergie décarbonée	25
3.2	Une gestion raisonnée des entrepôts	29
3.3	Une empreinte numérique raisonnée	29
3.4	Des déchets limités et valorisés	30
3.5	Conseils aux e-consommateurs	31
4	Conclusion	33
A	Annexes	34
A.1	Les enjeux de l'électrification des véhicules par batterie	34

1 INTRODUCTION

1 Introduction

S'il est courant de remonter aux temps anciens lors de l'introduction et la motivation d'un sujet, les 3 premières années de la décennie en cours suffisent amplement à justifier l'intérêt du présent rapport. Tout d'abord, la responsabilisation de tous est plus que jamais primordiale, puisque malgré les alertes lancées depuis plusieurs décennies, le changement climatique et ses effets se font toujours plus présents [65], amenant à banaliser des années comme 2022, qui a pourtant vu des inondations dévastatrices au Pakistan [49], la démultiplication des mégafeux dans le monde [50], ou encore le record battu de l'année la plus chaude enregistrée en France [59].

En cette année 2023, 35 ans après sa création, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) délivre le rapport de synthèse de son sixième cycle d'évaluation, et alerte sur la criticité de la période actuelle, puisque la fenêtre d'action dont l'humanité dispose afin de s'assurer un futur durable et vivable se referme très vite [46]. Le rapport précise que l'objectif d'un réchauffement du climat contenu à $+1.5^{\circ}\text{C}$ d'ici à la fin du siècle³ paraît déjà fortement compromis, et une limitation du réchauffement à $+2^{\circ}\text{C}$, bien que possible, va nécessiter des efforts immédiats, qui tardent à être entrepris. Il faudrait atteindre la neutralité CO_2 ⁴ au début des années 2050 pour un réchauffement limité à $+1.5^{\circ}\text{C}$, et au début des années 2070 pour la trajectoire à $+2^{\circ}\text{C}$. En plus de ces objectifs de neutralité, une baisse immédiate des gaz à effet de serre (GES) doit être entreprise, et le pic mondial d'émissions de GES ne doit pas être atteint après 2025.

Cependant, au regard des politiques nationales de réduction des émissions de GES annoncées et de la conformité des Etats avec ces dernières, le GIEC estime un réchauffement compris entre $2,2$ et $3,5^{\circ}\text{C}$ d'ici 2100. La figure 1 - qui exprime en $\text{Gt CO}_2\text{eq}$ ⁵ les niveaux d'émissions mondiales estimés selon les politiques publiques annoncées, en regard des niveaux d'émissions requis pour atteindre des trajectoires de réchauffement à $1.5, 1.8$ et 2°C - vient confirmer cet écart entre les enjeux et les efforts mis en place.

En parallèle de cette crise climatique, c'est une autre crise, sanitaire cette fois, avec la pandémie de Covid 19, qui a propulsé le transport de marchandises et le secteur de la logistique au cœur du débat public, lorsque les premières craintes de pénuries sont apparues. Comme rappelé par le rapport d'information au Sénat français du 19 mai 2021, la logistique et le transport (de marchandises et de voyageurs) sont essentiels pour assurer la continuité de la vie de la Nation [19]. Dans ce contexte, la vente à distance s'est révélée elle aussi essentielle puisqu'elle a permis d'absorber une partie des chocs sociaux et économiques. Profitant de la fermeture des commerces traditionnels, des restrictions et de la crainte de la population à se déplacer, le e-commerce a connu un élan sans précédent durant cette période, avec notamment au sein de l'Union Européenne à 27, $+30\%$ de chiffre d'affaire pour la vente en ligne en avril 2020 par rapport à avril 2019 [63].

Dans un monde durable, le fret et la logistique seront ainsi inévitablement de la partie pour assurer l'approvisionnement des populations, mais devront se décarboner. En re-

3. Un réchauffement à $+1.5^{\circ}\text{C}$ en 2100 signifie que la température moyenne mesurée cette année-ci à la surface du globe est supérieure de 1.5°C par rapport à la moyenne des températures observées de 1850 à 1900, soit à l'époque pré-industrielle.

4. Le GIEC distingue ici la neutralité CO_2 , principal gaz de source humaine responsable du réchauffement, et la neutralité tous GES (le CO_2 donc, mais aussi le méthane, le protoxyde d'azote et les gaz fluorés par exemple), qui pourrait n'être atteinte qu'au début des années 2070.

5. Le CO_2eq ou équivalent CO_2 est "une mesure métrique utilisée pour comparer les émissions de divers gaz à effet de serre sur la base de leur potentiel de réchauffement global, en convertissant les quantités des divers gaz émis en la quantité équivalente de dioxyde de carbone ayant le même potentiel de réchauffement planétaire" [27].

1 INTRODUCTION

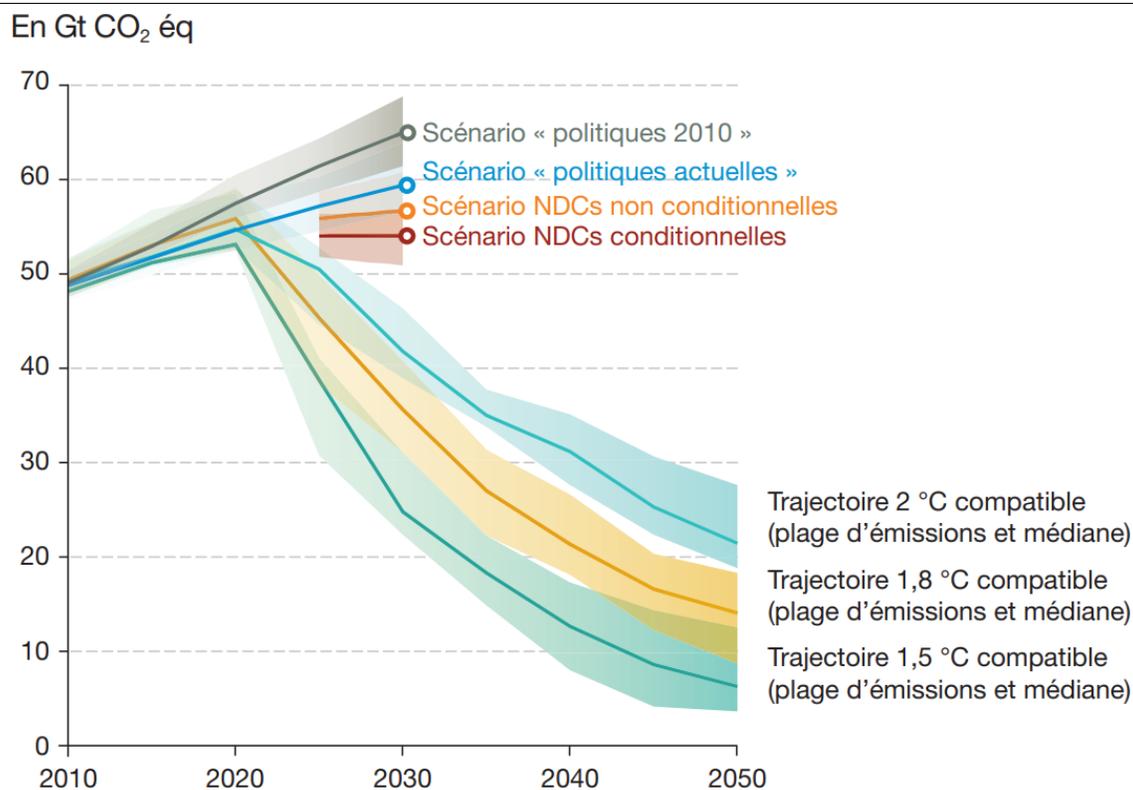


FIGURE 1 – Comparaison des niveaux d’émissions de GES dans le monde résultant de la mise en place des Contributions déterminées au niveau national (Nationally Determined Contributions = NDCs) jusqu’en 2030 avec d’autres scénarios [54]. Les NDCs conditionnelles dépendent d’autres facteurs, comme par exemple la capacité à promulguer les lois nécessaires.

vanche, les mesures de sobriété qui seront nécessaires pour atteindre une société neutre en carbone peuvent faire passer le e-commerce comme un outil superflu. Il sera vu en section 2.2.5 que **sa pertinence écologique vis-à-vis du commerce physique est toujours sujette à débat, sans lui être forcément défavorable.**

La réduction des émissions de GES, bien qu’étant l’enjeu principal du présent rapport, n’est pas le seul défi que rencontre le e-commerce dans sa démarche d’éco-responsabilité, puisque **la pollution (air, eau, sol) et la protection des éco-systèmes sont notamment à considérer** en plus du changement climatique. Par ailleurs, le e-commerce doit viser la responsabilité plutôt que la simple éco-responsabilité, puisque les enjeux sociaux (ex : conditions de travail des employés de la logistique et du transport, nuisances des camions de marchandises, santé des travailleurs des mines d’extraction de métaux utilisés dans les batteries nécessaires à l’électrification des véhicules...) sont également primordiaux. Cet aspect sera abordé dans un futur rapport en guise de prolongement de celui-ci.

L’objectif du présent document est de rendre compte, **à la suite d’une étude de la littérature** basée essentiellement sur des rapports gouvernementaux et d’acteurs du secteur, des grands enjeux que rencontre le e-commerce dans sa démarche d’éco-responsabilité, et d’esquisser les solutions qui pourraient être mises en place en France. Le e-commerce étant intrinsèquement lié au transport de marchandises, beaucoup des solutions applicables à ce dernier pourront être transposées au com-

1 INTRODUCTION

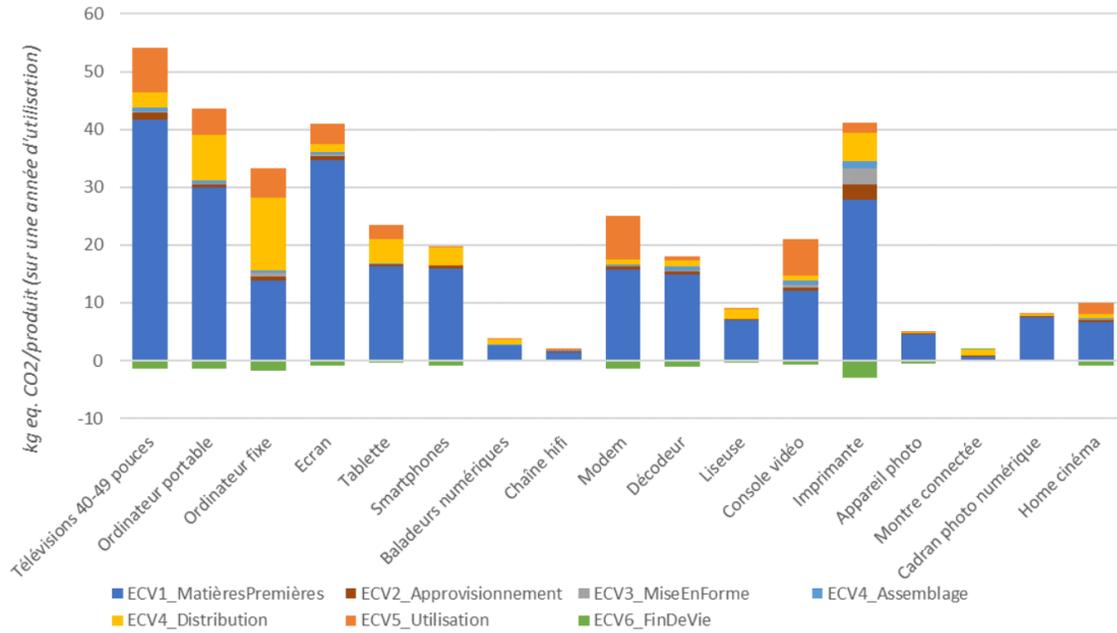


FIGURE 2 – Contribution des appareils électriques à forte composante électronique domestiques au changement climatique [1]

merce en ligne, ce qui justifie l'intrication des deux secteurs dans ce qui suit.

Dans un premier temps, un aperçu de la situation actuelle du e-commerce sera dressé en section 2, puis la section 3 décrira les leviers permettant d'accompagner le e-commerce et le transport de marchandises vers plus d'éco-responsabilité.

Enfin, le e-commerce est restreint dans le document au processus de mise en relation à distance d'un vendeur et d'un client, et à l'acheminement jusqu'à ce dernier du produit physique faisant l'objet de sa demande⁶. La production, l'utilisation, et la fin de vie ne font pas partie des enjeux considérés. Pourtant, comme l'illustre la figure 2 qui expose pour des produits d'électroménager la contribution de chaque étape au changement climatique, la part combinée de la logistique et du transport (en jaune sur le graphique) dans l'impact environnemental d'un produit est assez faible sur l'ensemble de sa durée de vie. Cette tendance se retrouve sur les autres produits (vêtements, mobilier..) et critères environnementaux (pollution, épuisement des ressources, acidification) [1]. C'est pourquoi des efforts de décarbonation sont primordiaux à tous les échelons de la chaîne de consommation.

6. Il faut distinguer la vente de biens physiques, qui doivent être acheminés au client, et la vente de services ou de biens numériques, qui ne nécessitent pas de transport et d'activité logistique.

2 LES ENJEUX ACTUELS DU E-COMMERCE

2 Les enjeux actuels du e-commerce

2.1 Le e-commerce entraîné par sa prospérité économique

Apparu au début des années 2000, le e-commerce n'a eu de cesse de se développer et de prendre une part de plus en plus importante dans le commerce de détail. Avec un chiffre d'affaires (CA) de 129 milliards d'euros en France en 2021, mais surtout une croissance de 15% par rapport à l'année précédente, l'e-commerce représente 14,1 % du commerce de détail (voir figure 3). La même tendance s'observe dans le monde, puisque 4938 milliards de dollars de CA ont été réalisés en 2021, soit 16.3 % de plus qu'en 2020, et ce qui représente 19% du commerce de détail. Symbole de l'ancrage du e-commerce dans la société, ce sont 41.8 millions de français qui ont effectué au moins 1 achat sur Internet en 2021, ce qui représente 80 % des internautes [32].

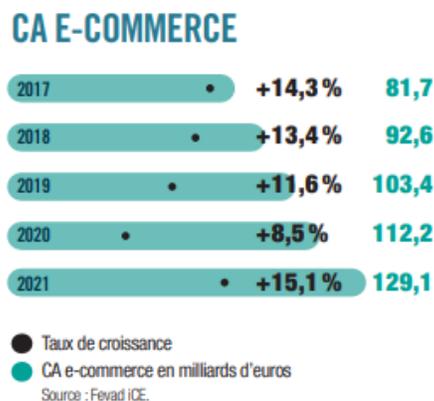


FIGURE 3 – CA et croissance du e-commerce en France entre 2017 et 2021 [32]

Boosté par la crise sanitaire, le nombre d'entreprises dans la vente à distance ne cesse d'augmenter, et on compte en 2020 57% de créations en plus par rapport à 2019. Cette dynamique s'est poursuivie, puisque l'on compte au dernier trimestre de 2021 11% de sites marchands en plus qu'au dernier trimestre de 2020. Indicateur du bon développement du secteur, le nombre d'emplois augmente, puisque 48% des sites ont recruté en 2021 et 54% prévoient de recruter en 2022. En parallèle, le réseau à l'international se développe également, puisque 84 % des sites anticipent une augmentation de la part de leurs ventes à l'international, et même une forte augmentation pour 54% [32].

L'activité économique est hypercentralisée, puisque 1.2 % des sites marchands réalisent 75.8% du CA du secteur en 2021, tandis que 70.4% des sites réalisent 1.2% du CA. Amazon a notamment été utilisé par plus d'un internaute sur 2 cette année-là, et CDiscount, la Fnac, E.Leclerc et Decathlon ont chacun été utilisés par environ 1 internaute sur 5 [32].

Pour maintenir sa rentabilité économique et garder ses clients, **le secteur du e-commerce fait de l'expérience consommateur une de ses priorités**. Initialement, le e-commerce faisait essentiellement référence aux achats sur internet avec livraison à domicile. La notion s'est élargie depuis quelques années, pour donner lieu au commerce connecté. Ainsi, il est désormais possible de passer commande depuis les sites web classiques, des places de marché, les réseaux sociaux ou encore en magasin, puis de récupérer son produit via une livraison à domicile, un point relais, une consigne ou un magasin en choisissant le click-and-collect. En plus des lieux de commande et de retrait, les délais d'acheminement se sont également diversifiés, et une majorité des commandes peut facilement être récupérée le lendemain voire le jour même. Par ailleurs, de nombreuses enseignes proposent au consommateur de retourner gratuitement leur produit en cas d'insatisfaction. **Cette diversification spatio-temporelle de l'offre**, appuyée par une information limitée au

2 LES ENJEUX ACTUELS DU E-COMMERCE

consommateur des coûts écologiques et économiques réels des livraisons (la livraison offerte étant devenue courante), facilite les achats et **est un véritable atout pour le développement économique du e-commerce**. Néanmoins, **cela joue en défaveur de sa structuration écoresponsable**, puisque l'on assiste à une multiplication des flux de transport. Ce sujet est abordé en fin de section 2.2.1.

Enfin, les abonnements incluant des offres de livraisons gratuites et illimitées comme Amazon Prime, adoptés par près d'un tiers des e-consommateurs [3], facilitent la surconsommation. Les abonnés achètent plus que la moyenne, privilégient les livraisons rapides et ont des comportements moins écoresponsables que la moyenne. En effet, les abonnés à ce type de programme passent en moyenne 60 % de commandes en plus, optent 2 fois plus souvent pour des livraisons express à chaque commande et ont plus tendance à retourner les articles. Il est difficile de savoir réellement si ce comportement observé de surconsommation a été entraîné par un abonnement ou si les sur-consommateurs ont plus tendance à souscrire à un abonnement, mais il est certain que ce type de programme facilite les achats compulsifs et les retours de produits .

Le développement du e-commerce et des flux de marchandises associés est intrinsèquement lié à celui de la **logistique urbaine**, aussi appelée logistique du dernier kilomètre⁷. Alors que le secteur entre professionnels (BtoB) correspond à 80 % des flux de logistique urbaine, c'est bien le e-commerce et le commerce de professionnels à particulier (BtoC) engendré qui définit les besoins de la livraison urbaine [26]. Cet échelon de la logistique du e-commerce est critique, puisqu'il représente 1/3 du coût d'acheminement [20] et 11% des émissions de GES du fret pour seulement 7.5% des tonnes.kilomètres transportées [72] (la tonne.kilomètre, t.km, est une unité correspondant à une masse transportée multipliée par la distance parcourue par cette masse). En partie à cause d'une sur-représentation des Véhicules Utilitaires Légers (VUL)⁸, peu efficaces énergétiquement rapporté à la tonne transportée, c'est tout le secteur du dernier km qui est peu efficace énergétiquement, puisqu'il est estimé qu'il faut en moyenne 640Wh/t.km contre 450 Wh/t.km pour le fret longue distance [71].

Ainsi, le e-commerce représente une opportunité économique certaine pour les enseignes qui ont fait le choix de s'y lancer. Cependant, à cause du besoin de satisfaire ses clients, le secteur n'a pas pris le temps de se structurer de manière à intégrer sérieusement les enjeux environnementaux.

2.2 L'impact environnemental du e-commerce

Selon une estimation de l'ADEME [7], les émissions annuelles de GES dues au e-commerce en France seraient de l'ordre d'1 Mt de CO₂eq, soit un peu moins de 0.1% du total national. Néanmoins, les impacts du e-commerce sur l'environnement sont multiples, et liés à différentes opérations du secteur. **Les principaux éléments à considérer, associés à leurs principaux effets sont** (obtenus d'après [52], [37] et [25]) :

- Le transport : consommation de ressources et d'énergie, émissions de GES et de polluants.
- Les entrepôts et autres infrastructures : artificialisation des sols et impact sur les écosystèmes, consommation d'énergie, émissions de GES.
- L'empreinte numérique : consommation de ressources et d'énergie, émissions de GES.

7. "La logistique urbaine regroupe l'ensemble des flux physiques et des flux d'informations permettant l'acheminement dans les meilleures conditions des marchandises à destination ou en provenance d'une métropole." [26].

8. En livraison du dernier kilomètre, 40% des km sont effectués par des VUL, 30% par des poids-lourds rigides et 30% par des poids-lourds articulés [71].

2 LES ENJEUX ACTUELS DU E-COMMERCE

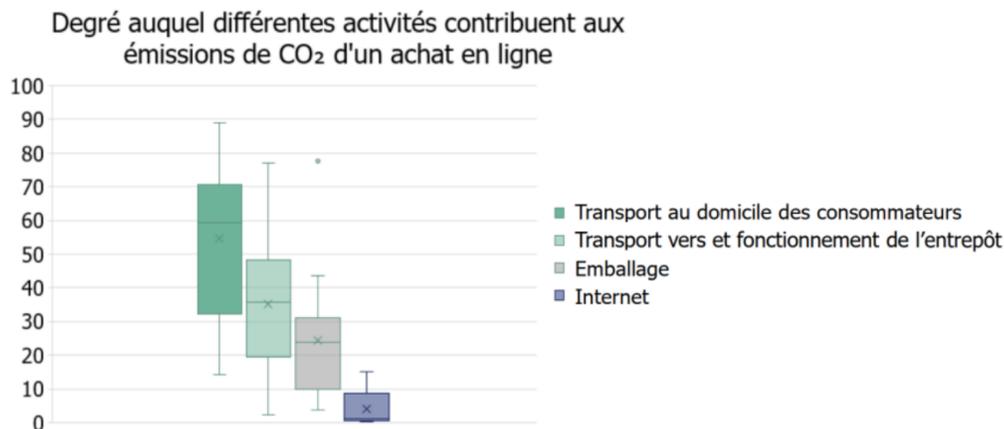


FIGURE 4 – "Degré auquel différentes activités contribuent aux émissions de CO₂ d'un achat en ligne" [7]

- Les emballages : consommation de ressources et génération de déchets, émissions de GES et de polluants.

Chacun de ces éléments et leurs impacts sont ainsi étudiés dans les sections qui suivent, avec une attention particulière au **transport qui semble être la problématique ayant le plus de poids**, comme illustré par la figure 4⁹.

2.2.1 Le transport

A notre connaissance, il n'existe pas d'étude qui présente l'impact total des flux logistiques générés par le e-commerce, et les études disponibles considèrent généralement le transport de marchandises dans sa globalité. Néanmoins, comme évoqué précédemment, les enjeux du e-commerce sont directement liés à ceux du transport de marchandises.

Le secteur des transports (voyageurs + marchandises) est un poids lourd dans les émissions du territoire national français, puisqu'il est le premier pôle d'émissions de GES avec 126 Mt CO₂eq en 2021, soit 30% du total des émissions françaises¹⁰ [56]. **Le routier est archi-dominant**, et 95% des GES lui sont imputables, avec 53% pour les voitures particulières, 27% pour les Poids-Lourds (PL)¹¹ et 15 % pour les VUL. Pour ce qui est des émissions des polluants, les transports, notamment routiers, sont responsables de 75% des émissions de Cu, 50% de Zn et 49% de NO_x par exemple [56].

En 2019, le transport de marchandises seul a généré environ 40 Mt CO₂eq, soit 9% des émissions de GES de la France [71]. Son impact est particulièrement fort en ville, puisqu'il est estimé que le transport de marchandises est responsable d'un tiers de la pollution de l'air qui y est constatée, et de 20% des GES[19].

9. Pour donner des ordres de grandeurs, une étude d'Estia faite pour la FEVAD estime en moyenne la part des emballages à 130g de CO₂eq par colis, la part du numérique à 3g de CO₂eq par commande et la part du transport entre 1000 et 4000 g de CO₂eq par colis [25]. Le bilan des entrepôts est plus complexe à établir.

10. On compte ici les GES émis sur le territoire national, à différencier de l'empreinte carbone du pays, qui prend en compte les GES émis à l'étranger des produits importés et utilisés par les résidents français. A noter que seules les émissions liées aux portions effectuées sur le territoire national des vols internationaux sont incluses, et que les émissions liées à la production de l'électricité utilisée par les véhicules électriques sont imputées au secteur de la production d'électricité.

11. Dont 89% pour les camions et le reste pour les bus [73].

$$\begin{aligned}
 \text{CO}_2 \text{ des transports} &= \sum_{i \in \text{Modes de Transport}} \text{Emissions mode } i \\
 &= \sum_{i \in \text{Modes de Transport}} \text{Demande totale} \times \frac{\text{Demande mode } i}{\text{Demande totale}} \times \frac{\text{Circulation véhicules mode } i}{\text{Demande mode } i} \times \frac{\text{Energie consommée mode } i}{\text{Circulation véhicules mode } i} \times \frac{\text{Emissions mode } i}{\text{Energie consommée mode } i} \\
 &= \text{Demande totale} \times \text{Report modal} \times \text{Taux de remplissage} \times \frac{\text{Efficacité énergétique des véhicules}}{\text{Intensité carbone de l'énergie}}
 \end{aligned}$$

FIGURE 5 – Les cinq leviers clés pour décarboner les transports, utilisés dans la décomposition des émissions ([10]).

L'expression présentée en figure 5 est dérivée de l'identité de Kaya et nous permet d'analyser l'évolution des émissions de GES dans le transport de marchandise selon **5 facteurs**, la **demande de transport**, le **report modal**, le **taux de remplissage**, l'**efficacité énergétique des véhicules** et l'**intensité carbone de l'énergie** [10].

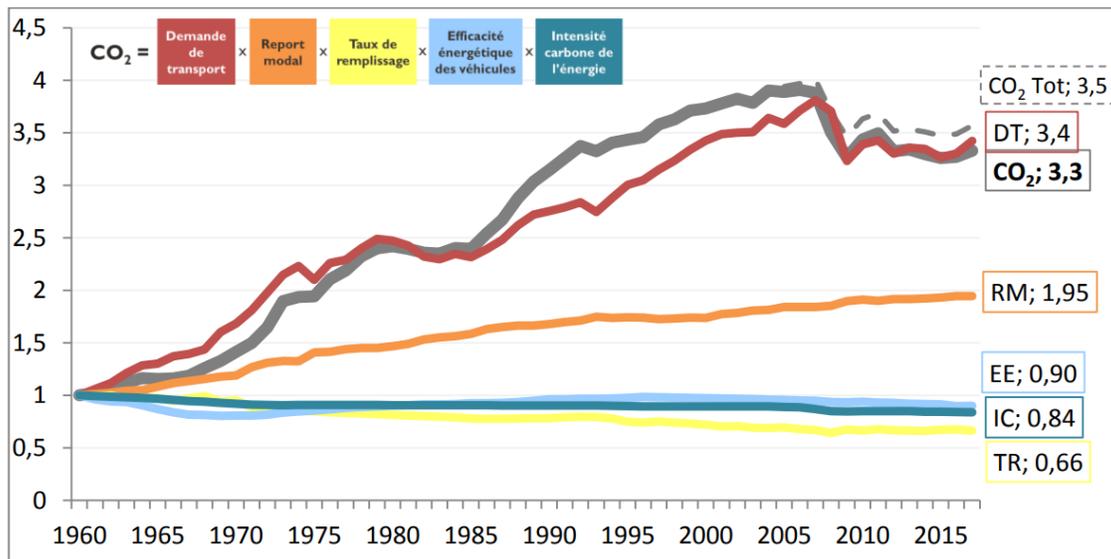


FIGURE 6 – Décomposition multiplicative de l'évolution des émissions de CO₂ du transport de marchandises 1960-2017 [10].

La figure 6, prenant l'année 1960 en référence, met en lumière l'évolution des émissions de CO₂ du fret (courbe grise) jusqu'en 2017 et la contribution des différents facteurs. Les courbes représentent pour chaque année l'évolution en ratio de l'impact de chaque facteur, en considérant les autres facteurs fixés à leur valeur de 1960. On doit comprendre que si la demande de transport, le taux de remplissage, l'efficacité énergétique des véhicules et l'intensité carbone de l'énergie avaient gardé leur valeur de 1960, les émissions totales de CO₂ en 2017 auraient été multipliées par 1.95 du fait du report modal (courbe orange).

2 LES ENJEUX ACTUELS DU E-COMMERCE

Conséquemment, le graphique nous montre que si l'efficacité énergétique des véhicules (courbe bleu clair), l'intensité carbone de l'énergie (courbe bleu foncé) et le taux de remplissage (courbe jaune)¹² ont contribué à une réduction des émissions de respectivement 10%, 16% et 34% en 2017 par rapport à 1960, cela n'a pas suffi pour contrer les effets néfastes de l'augmentation de la demande (courbe rouge) de 240% et du report modal (courbe orange)¹³, menant à une augmentation globale de 230% des GES entre 1960 et 2017¹⁴.

Quelques clés pour chaque facteur :

Demande : En 2019, 362 Gt.km de marchandises ont été transportées en France [71]. On remarque une évolution très forte depuis 1960, avec une augmentation annuelle située autour de +5.6% de 1960 à 2008, et un affaissement de la croissance sur les dernières années.

Report modal : En 2021 sur le territoire national, 89% des marchandises sont transportées par la route, 9 % via le ferroviaire et 2% via le fluvial [19].

Taux de remplissage : En ville, le taux de remplissage moyen des véhicules de livraison est de 67%, et 25% des kilomètres parcourus par des véhicules de livraison le sont à vide [20].

Efficacité énergétique des véhicules : Le ferroviaire et le fluvial sont tous deux environ 2 fois plus efficaces énergétiquement à la tonne transportée qu'un poids lourd articulé, qui est lui même environ 3 fois plus efficace énergétiquement qu'un VUL [71].

Intensité carbone de l'énergie : 1 kWh de gazole émet 0.273kg d'équivalent CO₂, l'essence émet 0.314 kg d'équivalent CO₂ pour 1 kWh, et la production d'1 kWh d'électricité en France continentale en 2021 a émis en moyenne 0.0569 kg d'équivalent CO₂¹⁵.

L'objectif de la France est d'amener le secteur des transports proche des 0 émissions d'ici 2050, comme annoncé par la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) [57]¹⁶, impliquant qu'au moins l'un des 5 facteurs présentés précédemment doit tendre vers 0. Seul l'impact de l'intensité carbone peut tendre vers 0, puisque les impacts du taux de remplissage et de l'efficacité énergétique ne le peuvent pas pour des raisons physiques¹⁷, tandis que ceux de la demande et du report modal ne le peuvent pas pour des raisons systémiques¹⁸. Ainsi, ces autres facteurs ont pour rôle essentiellement la réduction de la consommation totale d'énergie nécessaire. Notons ici que la France n'est pour l'instant pas à la hauteur de ses ambitions sur la décarbonation des transports, comme relevé par le Haut Conseil pour le Climat, qui soulève que les actions mises en oeuvre ne sont que ponctuellement alignées, voire non alignées, avec les objectifs annoncés [44].

Ensuite, le e-commerce est générateur d'une **multiplication des flux de marchandises**, à cause des retours, des échecs de livraison et de l'atomisation des achats facilitée par la diversification de l'offre. En effet, les e-acheteurs consomment plus souvent et en plus petite quantité qu'aupara-

12. Dans les faits c'est l'inverse du taux de remplissage qui est considéré.

13. Le transport de marchandise a délaissé le ferroviaire et le fluvial en faveur du routier, qui est plus fortement émetteur de GES à la tonne transportée, d'où l'effet néfaste du report modal.

14. La courbe grise en pointillés inclut les émissions liées à la combustion de la biomasse des agrocarburants.

15. Source : Base Empreinte de l'ADEME.

16. En réalité la SNBC se projette sur 4 Mt CO₂eq en 2050, dues aux émissions résiduelles de l'aérien et aux fuites incompressibles de gaz.

17. Afin que le taux de remplissage permette d'atteindre des émissions nulles, il faudrait qu'il tende vers l'infini. Afin que l'efficacité énergétique des véhicules permette d'atteindre des émissions nulles, il faudrait que le transport de marchandises ne demande pas d'énergie.

18. Avec une demande en tonnes-kilomètre à 0, les émissions du transport de marchandises seraient nulles, mais cela signifie la fin des échanges de biens et l'autosuffisance de chacun. L'impact du report modal pourrait tendre vers 0 s'il permettait l'utilisation exclusive de moyens de transport qui étaient zéros carbonés en 1960, soit la marche et le vélo. Cette situation est déjà difficilement imaginable au niveau urbain, et d'autant plus à l'échelle globale.

2 LES ENJEUX ACTUELS DU E-COMMERCE

vant [19], puisqu'un consommateur moyen en France effectuait 1.2 commandes par mois pour un coût de 90 euros en 2011, contre 3.5 commandes par mois pour un coût de 59 euros en 2021. Le **développement de la livraison rapide** peut également s'avérer néfaste, puisqu'elle complexifie l'optimisation du remplissage des camions et des tournées [19]^{19 20}. En plus, le e-commerce doit gérer des flux de retours très importants, puisque ce sont par exemple 25% des achats effectués à distance qui ont été retournés en France au premier trimestre de 2021 [31]. Comme mis en lumière par un reportage télévisuel en 2021 [24], ce circuit logistique est beaucoup moins bien organisé que celui d'approvisionnement, et les colis sont parfois amenés à faire des milliers de kilomètres avant d'être revendus, recyclés ou détruits²¹. Enfin, selon des chiffres de 2020, la livraison n'aboutit pas à la première tentative dans 16 % des cas, ce qui génère donc de nouveaux flux superflus [3].

Finalement, si la **décarbonation des transports** a un impact direct sur les autres enjeux environnementaux et notamment les émissions de polluants, elle **ne permet pas une dépollution complète**, puisque 40% des particules sont dues aux frottements des pneus et disques de frein lors des phases de freinage [19]. Dans cette idée, bien que l'usage d'agrocarburants peut avoir un impact favorable sur la décarbonation selon le type utilisé, la réduction des polluants est moins significative [75]. On distingue les agrocarburants de type avancé ou non. Ceux de type classique demandent une culture de végétaux dédiés, comme le colza par exemple, et la neutralité carbone leur est accordée puisque la combustion du carburant ne fait que relâcher du CO₂ qui avait été préalablement capté par les végétaux. On leur reproche de consommer de l'espace et d'empêcher d'autres usages, mais également d'être nuisible à la biodiversité, puisque le développement de ces agrocarburants va de paire avec la déforestation [21]²². Les agrocarburants de type avancé sont plus prometteurs puisqu'il sont issus de la biomasse, récupérant des déchets agricoles ou forestiers, et ne consomment donc pas d'espace supplémentaire [12]. Pour les deux types, les émissions de polluants sont toutefois similaires à celles de l'essence et du diesel [21].

Notons enfin que l'utilisation de carburants composés à 100% d'agrocarburants est prévu à long terme, mais que le taux d'incorporation (soit le pourcentage d'agrocarburants dans le carburant utilisé) n'était situé en 2015 qu'aux alentours des 7%, et est espéré atteindre les 12% pour 2030 [23].

En conclusion, ce sont les émissions de GES qui représentent le plus gros danger écologique posé par le transport de marchandises. Plusieurs leviers d'action complémentaires sont disponibles pour la réduction de ces émissions, mais ils devront aussi prendre en compte d'autres impacts, et notamment la pollution atmosphérique.

19. Une étude américaine mentionne notamment qu'une livraison dans l'heure émet 10 fois plus qu'une livraison le lendemain [52]. Néanmoins, l'ADEME signale que cet impact négatif de la rapidité de la livraison n'est pas si évident [7], et mentionne le calculateur de la Fnac [34] qui fait part d'un facteur d'émission d'autant plus faible que la livraison est rapide (0.11 kgCO₂eq/kg de colis pour une livraison à domicile en 2h, 0.21 pour une livraison express et 0.46 pour une livraison rapide). Parmi les explications possible, on peut mentionner que les produits proposés en livraisons 2h et express doivent être entreposés proche du domicile du client, parcourant ainsi en moyenne moins de distance entre l'entrepôt et le client. Ce mode de calcul peut poser question puisque le calculateur ne prend pas en compte l'approvisionnement des entrepôts.

20. Mentionnons ici que le ralentissement des flux devrait nécessiter d'avantage de capacités de stockage, puisque les marchandises sont gardées plus longtemps, et donc induire possiblement une augmentation des impacts liés aux entrepôts.

21. Parmi les exemples montrés dans le reportage, il y a un article commandé chez Amazon retourné depuis Paris qui va faire par la route Paris-Orléans-Slovaquie-Leipzig puis Leipzig-Londres par avion afin de livrer un nouvel acheteur.

22. En prenant en compte des valeurs indicatives pour le biocarburant à base de palmier à huile de 5000 L/ha/an et une densité d'énergie de 10 kWh/L [77], il faudrait environ 4 millions d'hectares pour subvenir aux 189.5 TWh de besoins énergétiques du transport de marchandises [56], soit 15% des surfaces agricoles françaises.

2 LES ENJEUX ACTUELS DU E-COMMERCE

2.2.2 Les entrepôts

L'augmentation de la demande du e-commerce s'accompagne nécessairement d'une **hausse en besoin d'espace de stockage**. Entre artificialisation des sols, consommation d'énergie et perturbation des écosystèmes locaux, les impacts environnementaux sont multiples.

A l'image du transport, il est difficile d'isoler la part d'espaces de stockage réservés au e-commerce. Cette difficulté est renforcée par le développement de l'omnicanalité, les commerçants pouvant se servir d'un même entrepôt pour le réapprovisionnement de leurs magasins physiques ainsi que pour la réalisation des commandes en lignes, mais également dû à l'essor du *Ship from Store*, où les commerçants se servent de leurs stocks en magasin pour honorer les commandes en ligne. Néanmoins, dans le rapport [37] remis entre autres par France Stratégie au gouvernement, il est estimé qu'en 2020, entre 700 et 1000 hectares sont attribuables à des entrepôts et plateformes logistiques (EPL) liés au commerce en ligne, soit 1400 à 2000 hectares de terres artificialisées²³, et ce avec une croissance de 80 à 90 hectares par an. A titre de comparaison, il y a en 2021, 16600 hectares de surface artificialisée dédiés aux EPL en France [56]²⁴. D'ici 2050, les collectivités françaises devront se conformer à la démarche "Zéro Artificialisation Nette" (ZAN), et avec pour objectif intermédiaire en 2030 une réduction de 50% des nouveaux espaces artificialisés [60]. Si la renaturalisation des espaces est possible dans une certaine mesure, c'est bien la réduction de l'artificialisation brute qui sera déterminante [36].

Outre le dérèglement local des écosystèmes, **l'artificialisation des sols contribue à la diminution des capacités de stockage de carbone du territoire national**. Avec une artificialisation d'environ 20000 nouveaux hectares par an, ce serait ainsi environ 11 Mt eq CO₂ de perdues en termes de capacité de captation chaque année [37], soit environ 2.5% des émissions annuelles de GES de la France. Pour ce qui est de la contribution du e-commerce, elle peut ainsi être estimée à une perte de potentiel de 49.5 kt eq CO₂ par an, soit environ 0.01% des émissions annuelles de GES de la France.

La consommation énergétique des entrepôts est un impact également difficile à apprécier. Il n'existe pas à notre connaissance pour la France de document fiable traitant du sujet convenablement. Néanmoins, une estimation de la consommation énergétique des entrepôts peut être tirée d'un document du gouvernement anglais [42], qui donne une consommation de 114 kWh par m² d'entrepôt par an²⁵. En reprenant les données de cette étude pour les appliquer au cas français, et en considérant une valeur de 0.0569 kg d'eq CO₂ pour 1kWh d'électricité produite²⁶, on arrive à un total de 648kt eqCO₂ dues à la consommation énergétique des entrepôts du e-commerce en France, soit une valeur négligeable par rapport à l'ensemble des émissions annuelles de GES. Pour ce qui est des objectifs nationaux, le décret "Eco-Energie-Tertiaire" paru en 2019 impose aux entrepôts existants de plus de 100m² de réduire leur consommation d'énergie de 40% en 2030 par rapport à 2010, et de 60% en 2050 [7].

Enfin, bien que difficilement quantifiable, l'impact local des EPL est certain, bouleversant les éco-systèmes par la destruction des habitats, l'activité nocturne ou le passage des véhicules.

23. Il est estimé dans le rapport que le ratio "surface plancher d'entrepôt/surface artificialisée" est d'environ 1/2.

24. Il y a 8300 hectares de surface plancher d'entrepôts. En reprenant l'hypothèse de la note de bas de page précédente, on arrive à 16 600 hectares de terres artificialisées.

25. Le rapport mentionne une consommation de 15TWh d'électricité et de 9 TWh de gaz pour les 209 624 000 m² d'entrepôts que comprenaient l'Angleterre et le Pays de Galles en 2020.

26. Source : Base Empreinte de l'ADEME.

2 LES ENJEUX ACTUELS DU E-COMMERCE

2.2.3 L’empreinte numérique

L’arrivée du e-commerce a introduit une externalité qui n’était pas ou peu présente dans le commerce traditionnel, via son empreinte numérique. Le développement du secteur du numérique a de fortes similarités avec celui du e-commerce. La prospérité économique et l’adoption massive par les consommateurs lui a permis de s’accroître énormément, et le secteur s’est structuré autour de l’innovation et la satisfaction des consommateurs avant de prendre en compte les enjeux environnementaux. En 2020 en France, la consommation du numérique serait responsable de 16.9 Mt d’eq CO₂, soit 2.5% des émissions de GES de la France [8]. Les équipements utilisés consomment de larges quantités de ressources (environ 932 kg par habitant par an en France) et produisent également une quantité de déchets en fin de vie (299 kg par habitant par an).

Sur l’ensemble du secteur du numérique, comme l’indique la figure 7, on considère les équipements utilisateurs comme la principale source d’impact (entre 64 et 92 %), suivis des data-centers (entre 4 et 22%) et des réseaux (2 à 14%) [8].

La phase de production des équipements (terminaux utilisateurs, antennes pour les réseaux ou baies de stockages dans les centres de données) consomme 41% de l’énergie nécessaire au numérique français en 2020 mais est génératrice de 83% des émissions de GES de l’empreinte numérique française, tandis que le reste est affecté à la phase d’utilisation [43]. Les impacts de la phase d’usage sont liés à la production d’électricité nécessaire au fonctionnement des appareils, et la décarbonation de cette phase passera donc par la décarbonation de l’électricité française. En revanche, l’empreinte carbone de la phase de production est majoritairement due à des émissions importées, puisque les systèmes sont produits à l’étranger. La décarbonation de cette phase s’avère ainsi plus complexe.

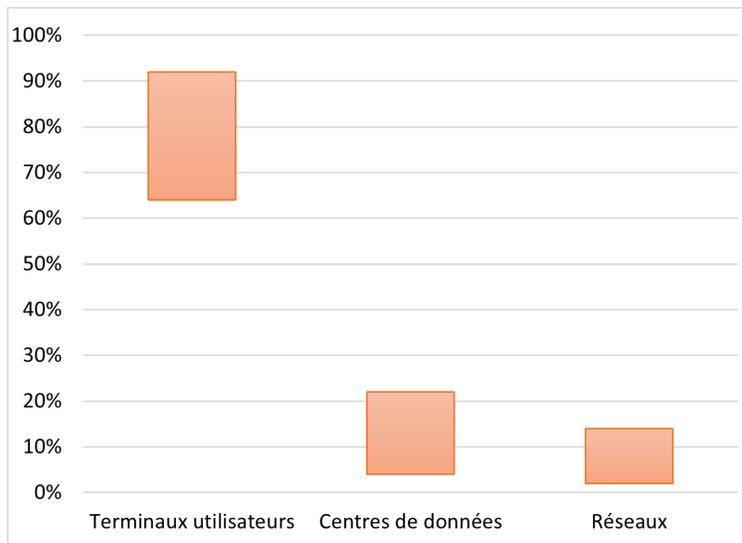


FIGURE 7 – Degré auquel différents pôles contribuent aux émissions de CO₂ du secteur du numérique (graphie obtenu d’après les données de [8])

Extraire de ces données la part due au e-commerce paraît éminemment compliqué, et si l’ADEME donne (sans plus de détails a priori) un chiffre moyen de 12g de CO₂eq dus au numérique par achat en ligne [7], tandis que l’étude d’Estia [25] trouvait une valeur de 3.1g CO₂eq par commande en 2009, le sujet n’est pas traité pertinemment par la littérature et nécessiterait une étude à part entière.

2 LES ENJEUX ACTUELS DU E-COMMERCE

Un raisonnement s'appuyant sur les hypothèses suivantes, à défaut d'être précis, permet de donner un ordre d'idée pour la phase d'utilisation :

- Une commande internet correspond en moyenne à un temps de connexion de 10 minutes [25]²⁷.
- Une connexion à internet de 10 minutes correspond à environ 2 Mo de données [62]²⁸.
- Les centres de données consomment en moyenne 7e-11 kWh/bit, les réseaux 5e-10 kWh/bit, et les terminaux utilisateurs consomment 2e-4 kWh/min [70], ce qui donne pour 10 minutes de connexion et 2Mo de données, une énergie nécessaire de 11Wh par commande.
- Le panier moyen d'une commande en 2021 est de 59 € [19].
- Le CA du e-commerce en France en 2021 étant de 66.7 milliards d'euros [32], il y a eu environ 1.13 milliards de commandes en 2021.
- La production d'1 kWh d'électricité en France continentale en 2021 a émis en moyenne 0.0569 kg eqCO₂²⁹.

On en conclut que la consommation d'énergie liée aux commandes passées en ligne en France en 2021 est estimée à 12 GWh, soit 680 t eqCO₂, et les émissions de GES liées à l'usage du numérique lors d'une commande en ligne s'élève à 0.6g.

Pour obtenir l'impact climatique total dû à la phase d'usage du numérique dans le e-commerce, il faudrait considérer un temps de navigation sur Internet plus conséquent (lié au repérage en ligne et aux commandes abandonnées)³⁰ le poids des messages envoyés lors du suivi de commande et des centres de données plus énergivores (les serveurs tournent en permanence, pas uniquement quand une commande est passée).

Dans un second temps, il est nécessaire d'affecter à l'empreinte numérique du e-commerce une contribution due à la phase de production, qui devrait représenter une part considérable du total. Les incertitudes étant trop grandes, on ne s'avancera pas à faire d'hypothèse sur ce point. On retiendra donc que la détermination du poids environnemental du numérique lié au commerce en ligne n'est pas tâche aisée, mais qu'un ordre de grandeur de 10g de CO₂eq par commande semble être cohérent, et qu'une part de la consommation des ressources nécessaires à la production des équipements du numérique doit également lui être affectée.

2.2.4 La gestion des emballages

En 2019, la gestion des déchets en France était la cause de 4% des émissions nationales de GES, avec 18.1 Mt eqCO₂, dont 89% sont imputables au méthane, libéré lors de la décomposition des déchets mis en décharge [57]. Cette année là, ce sont 38.9 millions de tonnes de déchets qui ont été produites par les ménages français [5]. Pour l'ensemble des déchets français, la SNBC vise une réduction de 37% en 2030 et 66% en 2050 par rapport à 2015, et une réduction de 50% des déchets non dangereux mis en décharge en 2030 par rapport à 2010 [57]. Sans annoncer d'objectifs de réduction chiffrés, les acteurs du e-commerce signataires de la *charte d'engagements pour la réduction de l'impact environnemental du commerce en ligne* (charte EPRIECEL) s'engagent à mener des

27. On ne considère ici que les sessions ayant abouties à un achat. Il faudrait évidemment ajouter les phases de repérage en ligne et les commandes non abouties.

28. Selon Orange, 100 Mo correspondent à 8h de connexion à internet.

29. Source : Base Empreinte de l'ADEME.

30. Un sondage estime que la moitié des clients prennent une heure ou plus de navigation pour l'achat d'un produit [3].

2 LES ENJEUX ACTUELS DU E-COMMERCE

campagnes de réduction du volume des emballages pour au moins 75% des produits, d'ici fin 2024 [38].

Nous n'avons pas trouvé de source adressant convenablement la problématique des déchets générés par le e-commerce, de sorte que nous n'avons pas d'estimation de la part du e-commerce dans les déchets totaux. Une première étude [37] fait état de **195 000 tonnes de carton ondulé utilisées pour les commandes e-commerce en France** en 2021, et estime qu'environ 80 % des colis sont emballés via ce carton ondulé. Une tonne de carton ondulé émettant sur son cycle de vie 538 kg de CO₂ [15], les emballages cartons du e-commerce sont responsables d'environ 104 kt d'eq CO₂, soit 0.6% des émissions liées aux déchets en France.

Une seconde étude [25], en s'appuyant sur des hypothèses fortement simplificatrices³¹, estime que l'impact climatique des emballages de livraison se chiffre à 80 g eqCO₂ par kilogramme de colis.

Une autre externalité induite par le suremballage des colis du e-commerce concerne **la part de vide qui doit être transportée**, et qui atteindrait en moyenne 24% dans chaque colis [3]. Cette sous-optimisation, en plus d'être une consommation inutile de ressources, affecte le taux de remplissage des véhicules.

Bien évidemment, les émissions de GES ne représentent pas le seul impact environnemental de la gestion des déchets. Consommation de ressources, pollution des sols et de l'eau ou encore atteinte à la biodiversité en cas de relâchement dans la nature, sont autant d'enjeux préoccupants [11].

2.2.5 Comparaison du bilan environnemental de différents modes de distribution des marchandises

Bien que la valeur absolue des émissions du e-commerce renseigne sur les efforts de réduction qui doivent être entrepris, elle ne renseigne pas sur la pertinence environnementale intrinsèque du secteur. C'est pourquoi il est important de comparer plusieurs modes de distribution de marchandises, et de déterminer lesquels ont leur place dans une société décarbonée en 2050. Tandis que la vente en magasin physique implique inévitablement un déplacement du consommateur, on peut distinguer dans la vente à distance deux grands modes de distribution, que sont la livraison à domicile et la livraison dans des points intermédiaires (type relais colis ou consigne par exemple, mais d'autres déclinaisons existent) impliquant le déplacement du consommateur vers ces points.

La détermination du meilleur circuit de distribution d'un point de vue environnemental est une problématique largement étudiée dans la littérature³², mais qui **ne fait pas consensus**, puisque différentes hypothèses sont prises en compte, menant ainsi à des conclusions opposées. Par ailleurs, il n'y a probablement pas un unique mode de distribution strictement meilleur que tous les autres, mais plutôt des modes à favoriser dans certaines situations plutôt que d'autres. Conséquemment, ce qui suit n'a pas pour but de déterminer le meilleur mode de distribution, mais de donner quelques clés importantes à appréhender.

Tout d'abord, précisons que la comparaison des modes se fait sur les émissions dues à l'acheminement d'un même produit, liées à son transport, son emballage, son entreposage et à sa commande

31. L'étude considère 11 produits, auxquels sont attribués une masse moyenne et une quantité de CO₂ émise liée à l'emballage de transport. En traçant une droite de régression, cela leur permet d'obtenir un coefficient directeur indiquant la quantité de CO₂ émise par kilogramme de colis.

32. Voir notamment le tableau page 65 de [52] qui liste 12 articles traitant du sujet.

2 LES ENJEUX ACTUELS DU E-COMMERCE

via des serveurs pour le e-commerce. Néanmoins, les comportements d'achats sont différents dans le e-commerce et dans le commerce physique. Premièrement, l'achat en ligne favorise les achats lointains et en provenance de l'étranger [52]. Deuxièmement, les achats compulsifs sont favorisés différemment : en commerce physique, le consommateur peut plus facilement tomber sur un produit qu'il n'avait pas prévu d'acheter, tandis que le commerce en ligne supprime une partie de la phase de réflexion puisqu'il est possible d'acheter instantanément un produit à la suite d'une idée.

Si la partie emballage est assez nettement désavantageuse pour le e-commerce [52], la partie infrastructure lui est plutôt favorable pour la livraison à domicile et les points de retraits [25]³³. Le bilan du transport est, lui, beaucoup plus complexe à établir, et dépend grandement des hypothèses choisies (voir [41], [10], [25], [13] et les 12 études présentées en page 65 de [52], qui tirent des conclusions différentes voire opposées). Les différences de transport se concentrent sur la dernière portion, c'est à dire la tournée du camion de livraison chez les particuliers pour la livraison à domicile, l'approvisionnement des magasins et le déplacement des consommateurs en magasin pour le circuit physique, et la tournée du camion de livraison couplée aux déplacements des consommateurs pour les points de retraits.

Si la livraison à domicile permet de remplacer le déplacement de chaque consommateur par un unique système de transport centralisé, que l'on peut donc optimiser, elle ne permet pas de grouper les achats en un seul déplacement comme pourrait le faire un consommateur se rendant en magasin physique. La livraison en point de retrait, qui est une sorte d'entre-deux, permet de réduire les kilomètres parcourus par les véhicules de livraison par rapport à la livraison à domicile, et a priori de réduire également les kilomètres parcourus par les consommateurs par rapport au magasin physique. Ensuite, les moyens de transport utilisés sont également une clé de l'équation. Si les livraisons sont essentiellement effectuées par camion, la figure 8 souligne la diversité des comportements selon la localisation et le type de magasin visité. Enfin, l'optimisation des trajets offerte par le e-commerce se trouve entachée par les nombreux retours et les échecs de livraison comme abordé en fin de section 2.2.1, que l'on ne retrouve pas, ou alors dans une bien moindre mesure, dans le commerce physique.

En s'appuyant sur les résultats de son outil ECEL, l'ADEME partage ce bilan mitigé et souligne que l'on ne peut pas tirer de conclusions globales quant au meilleur mode de distribution, et que la performance finale d'une livraison est dépendante de nombreuses décisions, et notamment des moyens de transport utilisés [7].

Finalement, comme le souligne l'auteur de l'article [13], plutôt que de chercher à déterminer quel mode de distribution est le plus vertueux, **il paraît plus pertinent de chercher à tirer la meilleure partie de chacun d'eux**. Aucun être omniscient et omnipotent ne sera en mesure de déterminer et imposer un système de distribution de marchandises global, unifié et à moindre coût environnemental, et le commerce physique ainsi que le e-commerce ont donc tous deux pour responsabilité de réduire leur empreinte carbone au plus vite.

33. La consommation d'espace n'est pas précisément étudiée, mais on peut concevoir que l'espace nécessaire pour accueillir les consommateurs au sein des magasins physiques, que l'on ajoute aux espaces de stockage intermédiaires, donne une surface plus importante que celle requise par les seuls entrepôts de stockage du e-commerce, et ce même en ajoutant une consommation d'espace liée aux points relais. Cette hypothèse se retrouve dans le rapport de l'ADEME [7]. De plus, le bilan énergétique est clairement en défaveur des magasins physiques, qui demandent plus d'éclairage et de chauffage [25].

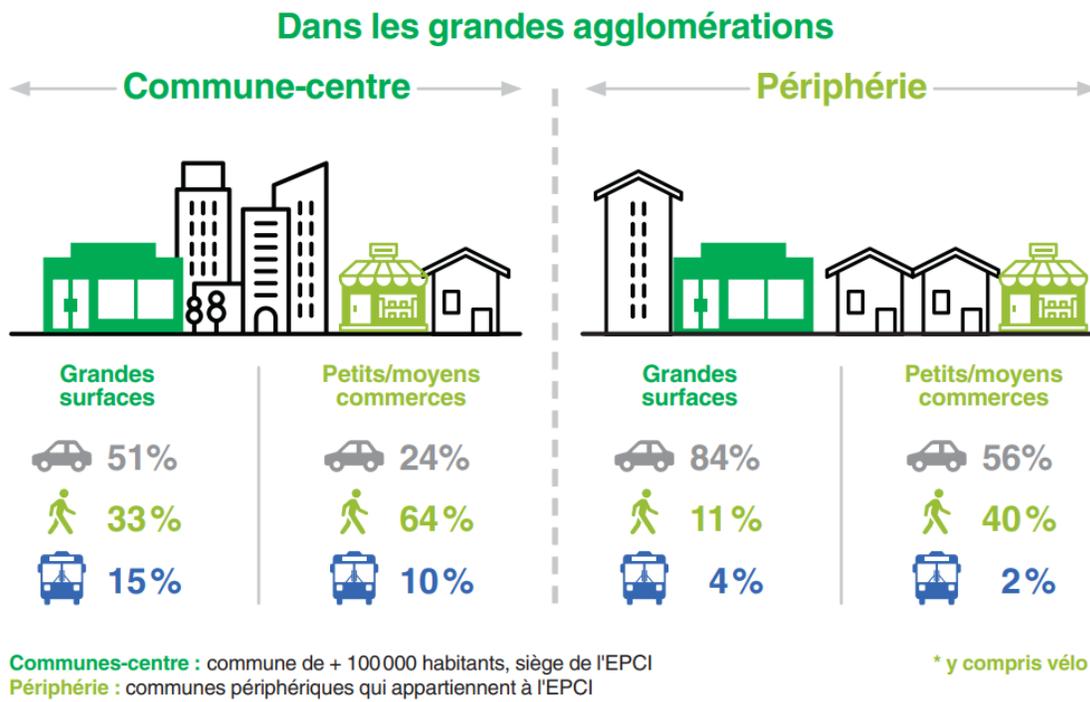


FIGURE 8 – Répartition des déplacements à destination des commerces et grandes surfaces en fonction de leur localisation [52]. EPCI = établissement public de coopération intercommunale.

3 En route vers un e-commerce éco-responsable

Comme largement abordé précédemment, le e-commerce, comme l'intégralité des sociétés françaises et mondiales, doit rendre ses activités plus respectueuses de l'environnement, et viser la neutralité carbone. Si la partie transport représente la majorité des impacts du secteur, c'est bien l'ensemble des activités qui doit être considéré. Sans chercher à deviner exactement ce qui va advenir du e-commerce, cette partie cherche plutôt à esquisser ce que pourrait être le e-commerce éco-responsable idéal en 2050.

3.1 La décarbonation du transport de marchandises

La décarbonation du transport des produits du e-commerce est directement liée à la décarbonation du transport de marchandises, avec seulement quelques spécificités liées au secteur. De nombreux scénarios prospectifs³⁴ modélisent l'évolution des GES du transport de marchandises en France (voir [10] page 104), ces scénarios utilisent des hypothèses et des propositions différentes, mais arrivent pour la plupart à une réduction quasi totale des émissions du secteur. En repartant de la décomposition des émissions du fret proposée en figure 5, les prochaines sous-sections étudient les opportunités de décarbonation selon chaque facteur³⁵.

3.1.1 Une modération de la demande de tonnes-kilomètres à transporter

Le constat est simple : sans demande, pas de transport ; moins de demande, (normalement) moins de transport, et donc moins de GES et de polluants. Si **réduire la consommation** n'est pas une option qui sera encouragée par le secteur du e-commerce, les institutions publiques ont la possibilité d'**informer les consommateurs**, à l'image de ce tutoriel de l'ADEME qui incite à faire des achats réfléchis et nécessaires [4]. Si certains scénarios se projettent sur une réduction de la demande d'ici 2050 [10], la plupart, dont celui de la SNBC française, anticipent une maîtrise de l'augmentation de la demande, en s'appuyant notamment sur le développement des circuits courts, et donc la réduction des kilomètres à parcourir [57]. D'ici 2050, **la SNBC se projette donc sur une augmentation de 40% des tonnes-kilomètres** par rapport à 2015, alors que l'augmentation pourrait être de 79% si rien n'était fait [10]. A l'inverse, le Shift Project considère une baisse de la demande de 25% entre 2022 et 2050, due à la transformation de la société, comme par exemple une production alimentaire relocalisée ou une industrie moins gourmande en matériaux.

Finalement, si le e-commerce ne souhaite pas se positionner sur la réduction du nombre d'achats, il peut **influer sur le nombre de kilomètres à parcourir**, en favorisant les circuits courts par exemple. Cependant, il est également possible d'**améliorer le réseau de distribution spatio-temporellement afin d'en optimiser les trajets**. Des transporteurs se dotant d'un logiciel de création de plans de transport pourraient par exemple gagner jusqu'à 15% sur leurs émissions actuelles [29], et jusqu'à 16 % de gains de GES pourraient être observés chez les chargeurs en cas de répartition optimale des entrepôts logistiques, suite aux gains de kilomètres parcourus[28]. La répartition des entrepôts logistiques est une problématique de plus en plus soulevée, puisque le repositionnement d'entrepôts en espace urbain permettrait de réduire les kilomètres parcourus, mais le

34. On distingue les scénarios tendanciels qui prennent en compte les mesures et politiques actuellement en place, et les scénarios prospectifs ou volontaristes proposant de nouvelles mesures et modélisant l'évolution des GES avec application de ces mesures.

35. Des rapports complets traitent (très bien) et plus en détails de la décarbonation du transport de marchandises et des transports en général. Le lecteur pourra notamment se référer à [71], [73], [19] et au chapitre IV de [10] pour une étude plus complète.

3 EN ROUTE VERS UN E-COMMERCE ÉCO-RESPONSABLE

foncier urbain est une ressource rare et convoitée [19]. En parallèle, la consolidation de commandes est une autre méthode qui peut engendrer un gain des kilomètres parcourus. L'idée repose sur le regroupement de produits ayant des départs différents mais une destination commune [7]. Si les bénéfices potentiels de la consolidation sont à déterminer selon les situations, l'exemple de Bouygues Bâtiment, qui annonce utiliser un entrepôt de consolidation amenant une réduction de 25 % de ses flux de livraisons à destination de ses chantiers au sein du Grand Paris, est encourageant [9].

Comme vu précédemment dans la sous-section 2.2.5, le débat du meilleur mode de distribution entre livraison à domicile et utilisation d'un point retrait n'est pas tranché. Néanmoins, les politiques publiques françaises semblent vouloir développer le retrait de commande dans des points intermédiaires types points relais, bureaux de poste ou consignes [22], [20]. Ainsi, afin de réduire les kilomètres parcourus et l'impact de chaque livraison, il reste important de **prendre des décisions personnalisées, relatives à chaque situation**.

La livraison dans un point de retrait permet d'adresser une autre problématique grandissante que rencontre le e-commerce, qui sont les échecs de livraison, générateurs de kilomètres superflus. Informer le consommateur de la date et l'heure de sa livraison, lui laisser la possibilité de choisir des fenêtres de passage du livreur selon ses disponibilités, ou définir une solution alternative (livraison à un voisin ou au gardien d'immeuble par exemple) sont des options qui permettraient de réduire ce phénomène[4].

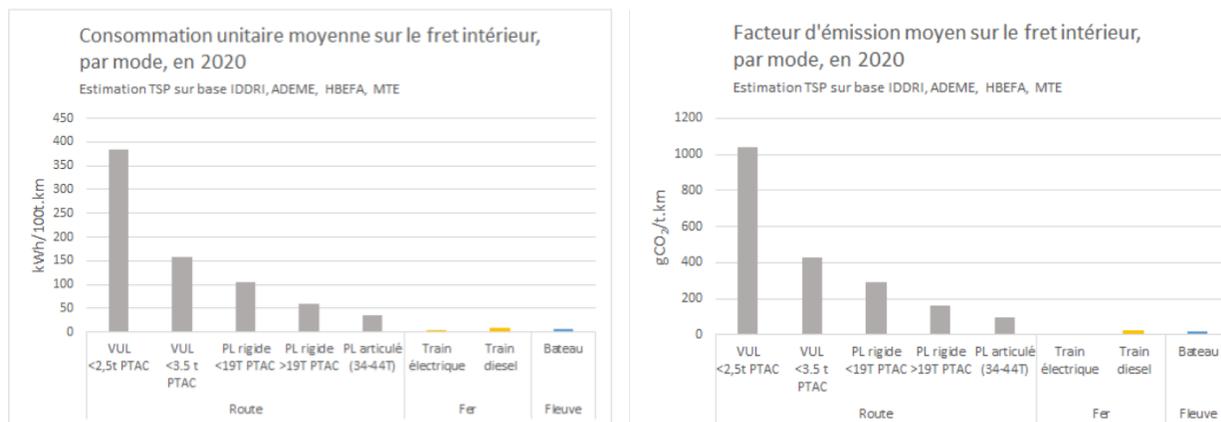
Les autres flux superflus du e-commerce sont ceux générés par les retours. Afin de limiter leur impact, la première chose à entreprendre est d'essayer de les limiter, en les rendant moins faciles et payants notamment. Ensuite, les retours qui n'ont pas pu être évités peuvent être intégrés directement dans la logistique de livraison, en se servant notamment des trajets de repositionnement. On pourrait observer un gain significatif des kilomètres parcourus en optimisant les tournées de véhicules tout en prenant en compte à la fois les livraisons et les retours. Cet enjeu fait partie d'une problématique plus large qu'est la logistique inverse, qui prend en compte les flux de logistique retours ainsi que la réduction de l'utilisation des ressources [48], et qui devrait être adoptée plus largement par l'ensemble des acteurs du e-commerce.

3.1.2 Un report modal favorable

Aidé notamment par une flexibilité que le fluvial et le ferroviaire n'ont pas, le routier s'est imposé comme la voie de transport incontournable du transport de marchandises, avec une sur-représentation des poids lourds, et un développement des VUL en logistique urbaine, en partie impulsé par le e-commerce [20]. Rapporté à la tonne-kilomètre transportée, comme le montrent les graphiques de la figure 9, ce sont pourtant les véhicules les moins efficaces et les plus émissifs.

L'un des principaux enjeux du report modal est de **permettre la massification**, en choisissant en priorité le ferroviaire et le fluvial³⁶. La France s'est donnée comme objectif de passer d'une part modale de 9% en 2019 pour le fret ferroviaire, à une part modale de 18% en 2030, et de 25 % en 2050 [51]. Concernant le fluvial, Voies Navigables de France a signé un contrat avec l'Etat avec pour objectif annoncé l'augmentation de moitié des tonnes-kilomètres transportées par voie fluviale en 2030, comparé à 2020, ce qui ferait passer la part modale d'à peu près 2 à 3% environ [74]. La massification est également intéressante à l'échelle du transport routier. En effet, l'efficacité énergétique rapportée à la tonne transportée des PL est bien meilleure en comparaison aux VUL,

36. Le fret aérien qui est au moins 10 fois plus émetteur à la tonne-kilomètre transportée que le routier selon la base Empreinte de l'ADEME n'est pas considéré comme une solution éco-responsable. Les avions bas-carbone sont encore très loin d'être fonctionnels, et les besoins astronomiques en énergie décarbonée qu'ils induiront semblent de toute manière en contradiction avec la société sobre et bas-carbone souhaitable à terme.



(a) Consommation unitaire moyenne de différents modes de transport [71] (b) Facteur d'émission moyen de différents modes de transport [71]

FIGURE 9 – Consommation unitaire moyenne et facteur d'émission moyen de différents modes de transport

et permet également de réduire la congestion dans les villes.

Mentionnons ici les drones de livraison, qui à première vue ne respectent pas les principes de sobriété énergétique et de massification, puisque l'on déplace un véhicule par la voie des airs pour un unique client. Des études plus poussées seraient nécessaires, mais néanmoins, la livraison d'un colis dans une zone isolée sans possibilité de mutualisation pourrait être réalisée de manière plus écologique à l'aide d'un drone [47].

Ensuite, **les modes actifs** restent les moyens de transports les plus intéressants sur le plan environnemental. Comme indiqué en figure 8, la marche et le vélo sont très développés dans les grandes agglomérations pour rejoindre les petits et moyens commerces. Les politiques publiques qui cherchent à encourager le développement de ces modes actifs [57] devraient rendre le recours aux points de retraits de plus en plus intéressant, puisque le trajet des consommateurs serait de moins en moins émissif. Par ailleurs, s'il représente une très petite partie du transport de marchandises, puisqu'il ne pourrait effectuer qu'1 à 4 % des km parcourus par les camionnettes, le vélo, via la cyclologistique, est amené à prendre une place grandissante dans la logistique urbaine. La stratégie nationale logistique française vise que 5% des livraisons en Zones à Faible Emissions soient effectuées en vélo-cargo [39].

Enfin, **des initiatives innovantes** peuvent être implémentées en centres urbains. En Seine-Saint-Denis, l'opportunité d'utiliser le tramway pour le transport de fret pendant les Jeux Olympiques de 2024 est étudiée, et pourrait permettre une réduction de 57% de CO₂ par rapport à l'utilisation de camionnettes [9]. Une autre option innovante qui pourrait être adoptée par le e-commerce dans les grandes villes traversées par un fleuve, repose sur la combinaison d'une barge qui transporte les marchandises jusqu'au centre-ville, puis les colis sont acheminés par vélo-cargo à leur destination finale [9].

3 EN ROUTE VERS UN E-COMMERCE ÉCO-RESPONSABLE

3.1.3 Une amélioration du taux de remplissage

Contrairement aux deux facteurs précédents, la demande et le taux de remplissage, qui ont eu une influence négative sur l'évolution des émissions du fret, comme abordé en section 2.2.1, l'amélioration du taux de remplissage est une problématique qui concerne déjà les acteurs du transport, puisque cela sert aussi leurs intérêts économiques. En recentrant l'enjeu environnemental au sein du transport de marchandises, **il sera encore possible d'améliorer les taux de remplissage**. Premièrement, la réduction des cadences d'envoi, notamment pour le e-commerce, facilite le remplissage des camions. Deuxièmement, la mutualisation des trajets, consistant à utiliser un même véhicule pour le compte de plusieurs clients, avec du "multi-pick ou du multi-drop", est également une perspective évoquée par de nombreux documents, mais qui demandera une très bonne coopération des chargeurs, ce qui n'est pas le cas actuellement. Le Shift Project estime que la réduction des cadences d'envois combinée à la mutualisation pourrait permettre de réduire jusqu'à 7% la consommation du routier [71]. Au sein d'un même camion, les options d'amélioration existent également. Par exemple, en faisant appel à un double plancher, Objectif CO₂ estime que le taux de remplissage des PL peut être augmenté de 20 à 30% en moyenne, entraînant une réduction des émissions de 14 à 21% [29].

Les pistes d'améliorations étant nombreuses, l'optimisme quant à l'amélioration du taux de remplissage des véhicules semble permis. La Direction Générale de l'Energie et du Climat, dans ses hypothèses pour formuler le scénario de décarbonation de la SNBC, anticipe notamment une augmentation du taux de remplissage moyen des PL, de 9.75t/véhicules en 2015, à 12.1t en 2050 [23]. Parmi tous les scénarios de modélisation de l'évolution des émissions du transport de marchandises étudiés dans la thèse d'A. Bigo, le taux de remplissage est supposé augmenter également [10].

3.1.4 Des véhicules énergétiquement plus efficaces

L'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules permettant une économie de carburant, elle entraîne des gains économiques et environnementaux. Au même titre que le taux de remplissage, c'est un facteur qui concerne déjà les acteurs du transport, mais sur lequel une marge de progression existe toujours. Le programme Objectif CO₂ propose plus d'une vingtaine d'améliorations techniques permettant de faire gagner en efficacité le transport routier. Par exemple, un régulateur de vitesse intelligent peut faire économiser 4% de carburant d'un PL sur un long trajet, un déflecteur de toit sur un VUL opérant en urbain peut faire gagner jusqu'à 8 % de carburant, ou encore l'installation d'une climatisation autonome peut réduire la consommation de 2% [29]. A noter que **les propositions sont essentiellement techniques**, et le retour sur investissement est plus ou moins long, mais estimé à moins d'un an selon le rapport. Par ailleurs, ces propositions doivent plus être vues comme des manières de réduire des consommations « parasites ».

La SNBC fait des hypothèses fortes sur les gains d'efficacité des véhicules, que ce soit pour les thermiques ou les électriques (d'ici 2050, environ -38% de consommation pour les PL thermiques et -36% pour les électriques, et -56% pour les VUL thermiques et -23% pour les électriques, par rapport à 2015) [23]. Le rapport de Transport & Environnement estime qu'avec toutes les technologies existantes qui ne sont pas encore répandues, un gain moyen de 43% de consommation en 2030 par rapport à 2015 est possible [73].

Pour ce qui est des autres moyens de transport, le fluvial et le ferroviaire, des améliorations techniques similaires sont également possibles. Par exemple, la modernisation des hélices propulsives peut faire gagner jusqu'à 40 % de consommation pour les bateaux concernés, tandis qu'une

3 EN ROUTE VERS UN E-COMMERCE ÉCO-RESPONSABLE

optimisation de l'hydrodynamique des bateaux selon les voies d'eaux empruntées pourrait faire gagner jusqu'à 50% de consommation [71]. Sans donner de chiffres, le Ministère chargé des Transports français estime que des gains en performance énergétique sont également possibles dans le ferroviaire [51]³⁷.

Enfin, une dernière manière de faire économiser de l'énergie lors de l'utilisation d'un moyen de transport est de pratiquer l'éco-conduite. Via la formation des chauffeurs routiers, les gains immédiats de consommation et donc d'émissions sont de 5 à 15%, mais les effets de la formation peuvent s'estomper avec le temps et les gains sont alors estimés de 3 à 7% par an sur le long terme [19]. L'affichage d'un score d'éco-conduite comme proposé par Samsara [67] pourrait être un moyen d'attirer d'avantage l'attention des chauffeurs sur leur conduite et d'en prolonger les effets. Concernant le fluvial, un gain de consommation entre 5 et 20% pourrait être observé [71]. Enfin, le développement de logiciels d'aide à la conduite dans le ferroviaire pourrait également amener quelques gains de consommation [68]³⁸.

L'optimisation des 4 facteurs précédents ont pour objectif de réduire la consommation d'énergie nécessaire au transport du e-commerce, et plus largement au transport de marchandises. Néanmoins, tant qu'un déplacement sera requis, cette énergie nécessaire ne pourra jamais être nulle. C'est pourquoi cette énergie se doit d'être la plus décarbonée possible.

3.1.5 Utilisation d'une énergie décarbonée

La décarbonation du transport de marchandises passera inévitablement par la décarbonation des carburants utilisés. **Plusieurs candidats crédibles sont à disposition : l'électricité, l'hydrogène alimentant une pile à combustible, les biocarburants de type avancé et les biogaz**³⁹. Grâce au développement des énergies renouvelables et au parc nucléaire, les émissions de GES en 2050 dues à la production d'électricité en France devraient être presque nulles, ce qui en fait une énergie particulièrement intéressante pour la décarbonation du pays [57].

La chaîne d'approvisionnement de l'hydrogène est peu efficace, environ 2 à 3 fois moins que l'électrification directe [73], [55], mais elle a l'avantage de permettre plus facilement la décarbonation des transports lourds, et présente un bilan environnemental proche de celui de l'électrique [10]. Néanmoins, bien que le gouvernement français souhaite considérablement développer la production d'hydrogène vert [23]⁴⁰, les capacités de production devraient rester limitées, et certains secteurs dont l'industrie pourraient en avoir plus besoin que les transports [71].

Les biocarburants sont très pratiques puisqu'ils demandent peu ou pas de modifications des véhicules et des infrastructures. Cependant, ils sont disponibles en faible quantité, et leur impact environnemental reste contesté [10].

Enfin, les biogaz (hors hydrogène) ont un réel potentiel de décarbonation. Selon les méthodes utilisées, de 70 à 97 % de gains d'émissions de GES peuvent être observés du puits à la roue [10]. Le bilan du gaz naturel fossile est en revanche plus mitigé. En analyse de cycle de vie d'un PL,

37. A l'image du TGV M pour le transport de voyageurs qui permet une économie de 20% d'énergie par rapport aux TGV actuels, et dont la mise en circulation est prévue pour 2024 [69].

38. Logiciel déjà en déploiement qui permet notamment une économie d'énergie de 8 à 10% pour les TGV. Il indique en temps réel au conducteur la vitesse optimale à adopter.

39. Les biogaz sont obtenus par méthanisation essentiellement et ont une empreinte carbone faible, à la différence du gaz naturel fossile, dont l'empreinte carbone est élevée.

40. L'hydrogène vert est produit à partir d'énergie renouvelable, à l'opposé de l'hydrogène gris, produit à partir d'énergie fossile. A la fin des années 2020, que ce soit en France et dans le monde, seuls 6 % de l'hydrogène produite était verte [10].

3 EN ROUTE VERS UN E-COMMERCE ÉCO-RESPONSABLE

il semblerait qu'environ 20% de gains puissent tout de même être observés [14]. Encore une fois, la capacité de production des biogaz reste cependant faible, et ne permettra pas à elle seule de décarboner l'ensemble des transports.

Transport routier

Si les parts modales du ferroviaire et du fluvial sont amenées à augmenter, le routier, aidé par sa flexibilité, restera vraisemblablement le mode privilégié du transport de marchandises pendant encore de nombreuses années, et la décarbonation de son énergie est donc primordiale⁴¹. Des stratégies différentes sont à envisager selon le type de véhicules. **Pour la logistique urbaine** qui est, et devrait rester, majoritairement opérée par des VUL, **l'électrification par batteries semble être le moyen à privilégier** [73], [19]. Tout d'abord, l'électrification des VUL utilisés pour le transport de marchandises est techniquement possible dès aujourd'hui, puisqu'ils sont majoritairement utilisés sur de petites distances (5 trajets sur 6 des VUL pour le transport de marchandises pour compte d'autrui était inférieur à 150 km en 2014 [17], 89% des trajets routiers de transport de marchandises étaient inférieurs à 300km en 2020 [73]), qui sont déjà réalisables avec les VUL électriques actuels (dont l'autonomie est plutôt estimée à 300km [71])⁴². Le pouvoir de décarbonation des VUL électriques avec batteries en France est certain : son empreinte carbone sur l'ensemble de sa durée de vie est la plus faible parmi toutes les alternatives au diesel (-78% par rapport au VUL diesel, -40% par rapport au VUL à hydrogène et -20% par rapport au biogaz selon l'exemple de Carbone 4 [12]).

La solution de décarbonation des PL opérés sur de longues distances est moins évidente que pour les VUL. L'électrification complète par batteries ne pourra pas être la solution miracle et universelle du fait de la taille des batteries requises et des matériaux critiques associés (voir annexe A.1 pour un complément sur les enjeux associés aux véhicules à batteries). Les autres technologies candidates sont le biogaz (et dans une moindre mesure les agrocarburants) et la pile à combustible à hydrogène, mais la solution préférentielle ne fait pas consensus, et des orientations politiques claires et coordonnées seront nécessaires pour un développement cohérent des technologies [19]⁴³.

D'un point de vue du pouvoir de décarbonation, si la production d'hydrogène est décarbonée, les 3 technologies semblent proches, puisqu'un tracteur routier acheté en 2030 utilisant une de ces énergies devrait émettre environ 6 fois moins que l'équivalent diesel sur l'ensemble de sa durée de vie en France [12]. Si l'impact environnemental de la production des batteries compte pour moitié dans l'empreinte des PL électriques, son utilisation est beaucoup plus sobre énergétiquement que les deux autres options, puisque le rendement de conversion de sa chaîne de traction devrait en 2050 être 2 fois plus élevé que l'hydrogène, et 2.5 fois plus élevé que le biogaz [73]. En parallèle, les PL à batteries rencontrent des problèmes autour de l'autonomie⁴⁴ et du temps conséquent de recharge que n'ont pas les autres énergies, puisque le biogaz est une technologie mature et que des PL à hydrogène d'une autonomie de 1000 km sont déjà en circulation, avec l'exemple du Nikola Tre

41. Voir [12] pour une étude sur les motorisations alternatives du routier plus complète.

42. A noter qu'un VUL peut effectuer plusieurs trajets de moins de 150 ou de moins de 300km dans la journée, ce qui rend son électrification plus compliquée. Néanmoins, un VUL utilisé pour les livraisons du e-commerce, à travers sa tournée de livraisons, effectue un unique de trajet avant de rentrer au dépôt.

43. Face à cette désorganisation des pouvoirs publics et aux investissements financiers conséquents nécessaires à la transition des flottes, les acteurs du transport routier de marchandise projettent une utilisation toujours massive du diesel d'ici au moins 2040, et comptent sur les biocarburants pour assurer leur transition énergétique et leur accession aux ZFE [35].

44. Le Tesla Semi avec son autonomie annoncée de 800km semble en mesure de vaincre cette barrière, mais n'est pas encore très répandu.

3 EN ROUTE VERS UN E-COMMERCE ÉCO-RESPONSABLE

construit par Iveco et Nikola Motor. En revanche, toutes les technologies font pour l'instant face à un manque de déploiement des stations de ravitaillement [73], et de disponibilité des ressources ⁴⁵.

Afin de combiner l'avantage écologique de l'électrique tout en limitant la taille des batteries nécessaires, l'électrification des autoroutes est une technologie prometteuse. Partant du constat que les distances parcourues par les PL hors autoroutes sont relativement faibles, l'idée serait de dimensionner les batteries de manière à pouvoir assurer en autonomie les trajets sur ces portions. Sur les autoroutes électrifiées, les batteries sont rechargées en marche. Ainsi, des batteries avec une autonomie de 250km, et donc une taille limitée, pourrait être une solution satisfaisante pour les PL électriques [73].

Trois technologies d'autoroutes ayant chacune leurs avantages et leurs défauts sont à l'étude : des caténaires, un rail conducteur au sol et un système à induction (voir figure 10).



FIGURE 10 – Les trois technologies à l'étude pour l'électrification des autoroutes : caténaires, rail conducteur au sol, induction [53].

L'électrification par caténaire est la technologie la plus mature, mais contrairement aux deux autres ne pourrait s'appliquer qu'aux PL suffisamment hauts, et non aux VUL et voitures particulières. L'induction est la moins mature mais serait la technologie idéale puisqu'elle ne modifie pas l'usage de la route. Le rail conducteur se place dans une sorte d'entre-deux vis-à-vis des technologies précédentes, et représente au regard des connaissances actuelles l'option la plus prometteuse. Néanmoins, de nombreux verrous dans plusieurs domaines seront à lever (rendement, sécurité routière, impact environnemental du système global, coordination internationale sur la technologie à adopter, financement ... ⁴⁶), ce qui fait de l'électrification des autoroutes une voie de décarbonation à long terme.

La SNBC s'appuie massivement sur le biogaz et les biocarburants pour son scénario de décarbonation, prévoyant à horizon 2050 que 24% des PL seront thermiques (utilisation de biocarburants), 51% des PL rouleront au gaz (utilisation de biogaz, puisque le gaz naturel fossile n'a qu'un faible pouvoir de décarbonation, d'environ 20% par rapport à l'équivalent diesel [12]) et seulement 25 % fonctionneront à l'électrique ou à l'hydrogène [23]. Néanmoins, les ressources en biocarburants et biogaz sont limitées, et pourraient être plus intéressante pour d'autres usages, comme la décarbonation du transport fluvial, et n'ont donc pas vocation à décarboner l'intégralité de la flotte de PL [19].

L'hydrogène est la dernière option pertinente de décarbonation, qui a l'avantage de ne pas

45. Les transports français ont nécessité 470 TWh d'énergie de traction en France en 2021 [56], soit 42 fois la production de biogaz en France en 2021 [58], 100% de la consommation d'électricité en France en 2015 [23]. Par ailleurs, les recharges des véhicules électriques demandent un surplus de puissance que le système électrique français n'est pas encore en mesure d'absorber.

46. L'électrification d'1 km de route demande plus ou moins 1 millions d'euros selon les options [71].

3 EN ROUTE VERS UN E-COMMERCE ÉCO-RESPONSABLE

émettre de CO₂ ni de polluants à l'usage⁴⁷ [73]. Une étude de l'ADEME montre qu'un PL de 44t alimenté par de l'hydrogène renouvelable est environ 6 fois moins émetteur de GES en cycle de vie qu'un équivalent diesel, et toujours 2 à 3 fois moins émissif si l'hydrogène utilisée est simplement bas carbone [6]. A l'heure actuelle cependant, la majorité de l'hydrogène est produite à partir d'énergies fossiles (94% en 2020 en France et dans le monde [10]), ce qui fait perdre l'intérêt de décarbonation. De plus, l'hydrogène issu de sources renouvelables devant être produit en quantités limitées, il pourrait être préféré pour d'autres usages, dont l'industrie [19] ou les autres transports lourds comme le ferroviaire [71].

Si le pouvoir de décarbonation des PL à hydrogène peut être similaire à leurs équivalents électriques, 2 à 3 fois plus d'énergie est requise sur la chaîne d'approvisionnement de l'hydrogène propre, ce qui mitige son intérêt dans un monde à énergie limitée [73].

En revanche, comme mentionné précédemment, le ravitaillement pose moins de problématiques que le rechargement des batteries, et des camions longue distance sont déjà sur le marché. Concernant la consommation de ressources, il n'a pas été trouvé de documents spécifiques au poids lourd à hydrogène, mais une étude de l'ADEME s'intéressant aux véhicules légers et utilitaires indique que la consommation de ressources minérales est similaire pour un véhicule électrique ou à hydrogène [2]. Une tendance proche serait probablement observée pour les PL.

En conclusion, il n'existe pas de technologie parfaite, et l'avenir sera sûrement fait d'une combinaison des différentes solutions qui viennent d'être présentées. Néanmoins, il est important que les pouvoirs publics définissent une feuille de route claire, afin d'orienter les acteurs du transport de marchandises à faire évoluer leur flotte vers une technologie qui sera pérenne et opérable.

Transport ferroviaire

Concernant le fret ferroviaire, **l'électricité est déjà le vecteur d'énergie majoritaire**, même si 25% des parcours étaient encore assurés par des moteurs thermiques en 2021[51]⁴⁸. L'électrification de l'entièreté du réseau semble compliquée pour des raisons économiques, et n'est pas forcément bénéfique non plus pour l'environnement [71]⁴⁹. Afin de remplacer le diesel sur les portions non-électrifiées, plusieurs options sont évoquées : un moteur électrique alimenté par des batteries, le recours aux biocarburants issus de la biomasse ou à plus long terme de nouvelles motorisations comme par exemple l'hydrogène. Bien sûr, l'hybridation de ces trains est importante, puisqu'ils devront pouvoir utiliser les caténaires sur les parties de voies électrifiées, puis utiliser leur seconde motorisation sur les portions non électrifiées [71], [51].

Transport fluvial

Dû aux grandes puissances requises, la décarbonation du transport fluvial sera compliquée à mener. **Les biocarburants issus de la biomasse sont annoncés comme la meilleure solution de décarbonation** à l'horizon 2050 grâce au système de compensation mais restent un problème concernant les émissions de polluants (notamment oxydes nitreux, monoxyde de carbone et hydrocarbures imbrûlés) [75]. L'électrification, par batteries ou par caténaires, mobiliserait une très grande quantité de ressources et ne présenterait pas forcément un bilan écologique favorable⁵⁰ [71].

47. Le procédé émet de la vapeur d'eau, qui est un GES particulier, mais pour lequel la contribution humaine est négligeable [64].

48. 80% des kilomètres effectués au diesel circulent pourtant sur des voies électrifiées, mais les trajets concernés empruntent des portions non-électrifiées, forçant l'utilisation de trains thermiques [73].

49. Certaines voies, notamment dans les reliefs, demandent des travaux et des infrastructures trop importants pour voir leurs impacts être compensés par l'utilisation qui en est faite a posteriori.

50. Il est difficile de comparer des impacts écologiques différents. Ici, l'électrification permettrait des gains d'émissions à l'usage, qui devront compenser les émissions nécessaires à la fabrication et l'installation des équipements. Cependant, les gains d'émissions finaux sont à mettre en balance avec les destructions des écosystèmes, consumma-

3 EN ROUTE VERS UN E-COMMERCE ÉCO-RESPONSABLE

Si l'hydrogène et les biogaz pourraient constituer des alternatives, leur pouvoir de décarbonation resterait a priori moins intéressant que les biocarburants pour le transport fluvial [75].

En conclusion, le facteur le plus important de la transition énergétique du transport de marchandises est également celui qui soulève le plus d'interrogations et de débats. Si les opportunités et les solutions sont là, les moyens et les politiques publiques ne sont pas encore à la hauteur.

3.2 Une gestion raisonnée des entrepôts

Afin de réduire l'impact environnemental des plateformes logistiques, 2 grands axes sont à envisager : l'amélioration environnementale des plateformes, et une maîtrise de la croissance d'artificialisation.

Le e-commerce doit lutter contre l'artificialisation des sols et **s'aligner avec la démarche Zéro Artificialisation Nette**. L'augmentation du ratio m³ utiles sur m² utilisés est une première manière de contrôler cette demande, et le gouvernement vise une augmentation de ce ratio d'au moins 10% entre 2020 et 2027 [39]. Pour ce qui est des nouvelles constructions, elles doivent prioriser les friches (des zones déjà artificialisées mais hors d'usage) [16] ou l'extension du tissu urbain existant [7], et favoriser la verticalité des infrastructures [26]. Enfin, pour le **stockage des marchandises en attente de livraison du dernier kilomètre**, il existe **des idées innovantes d'entrepôts mobiles et / ou temporaires** qui ne consomment pas d'espace supplémentaire. Par exemple, Amazon et Chronopost utilisent en journée des dépôts de bus parisiens pour stocker les colis en attente de transbordement entre les PL d'approvisionnement et les véhicules utilisés pour le dernier kilomètre [9]. Comme évoqué précédemment en section 3.1.2, l'utilisation de barges en tant qu'entrepôt mobile alimentant des vélos-cargos chargés de la livraison du dernier kilomètre a déjà été testée et utilisée à Paris [9].

Concernant la décarbonation des entrepôts, les acteurs de la logistique signataires de la charte EPRIECEL se sont engagés à ce que **les entrepôts neufs, utilisés en propres ou en prestation de services soient certifiés par un label** type HQE ®(Haute Qualité Environnementale), BREEAM ®(Building Research Establishment Environmental Assessment Method) ou LEED ®(Leadership in Energy and Environmental Design) [38]. Afin de rentabiliser l'espace consommé et de contribuer à la production d'énergie renouvelable, les entrepôts devront avoir le toit couvert d'au moins 50% de panneaux solaires, et des haies champêtres devront être plantées afin de favoriser la biodiversité [16]. Des bâtiments et des équipements moins énergivores permettront de réduire les consommations d'énergie et les émissions associées, tandis que l'abandon d'énergies carbonées en faveur d'énergies renouvelables induira une baisse directe des émissions [57]. Les mesures génériques (isolation, utilisation d'éclairages LED...) s'appliquant au secteur du bâtiment sont transposables aux entrepôts.

3.3 Une empreinte numérique raisonnée

Comme il a été vu plus haut, la production des équipements a un poids prépondérant dans l'empreinte environnementale du secteur du numérique. Les solutions de réduction de l'empreinte telles que l'allongement de la durée de vie des équipements, l'éco-conception et la réduction du nombre d'objets connectés sont des solutions (d'après [43]) sur lesquelles le e-commerce, en tant que

tions des ressources et pollutions locales engendrées.

3 EN ROUTE VERS UN E-COMMERCE ÉCO-RESPONSABLE

processus de distribution de biens, n'a pas d'emprise directe. Néanmoins, **c'est au commerce en général, dont la vente à distance fait donc partie, de donner aux consommateurs les signaux indicatifs pour éviter notamment la consommation abusive d'équipements.**

D'autres propositions permettent la réduction de l'impact du numérique dans son ensemble et seront bénéfiques au secteur du e-commerce, à l'image de l'optimisation énergétique des data-centers ou l'encouragement des citoyens à adopter la sobriété numérique [18]. Par ailleurs, la décarbonation annoncée de l'électricité française jouera également positivement sur l'impact environnemental du numérique.

Le e-commerce peut néanmoins prendre des mesures qui lui sont propres pour limiter l'usage du numérique dans son contexte, comme l'éco-conception des site web, la limitation du nombre de messages envoyés via les newsletters ou associés au suivi de commande, ou encore l'encouragement à la suppression des mails après lecture [7]. L'empreinte carbone de l'envoi d'un mail étant de l'ordre du gramme de CO₂eq [33], une partie des émissions du numérique du e-commerce pourrait ainsi être économisée.

3.4 Des déchets limités et valorisés

A l'image de la gestion des entrepôts et du transport, celle des déchets doit être articulée autour de deux axes : la réduction des ressources utilisées puis une utilisation plus vertueuse des ressources nécessaires.

La réduction de la quantité de déchets pourra s'appuyer sur des machines permettant l'emballage sur mesure des colis, telle la CVP-500 de Neopost Shipping déjà utilisée par CDiscount et Fnac-Darty [3]. CDiscount annonce une réduction totale de 30% de ses consommables d'emballages grâce à cette machine [76].

Une autre solution déjà opérationnelle est l'utilisation d'emballages réutilisables, à l'image de ceux proposés par Hipli [45] ou Opopop [61]. Les e-commerçants livrent leur produit dans un emballage réutilisable, qui leur est ensuite renvoyé vide par les clients. En s'appuyant sur la possibilité de réutiliser l'emballage jusqu'à 100 fois, une analyse de cycle de vie réalisée pour Hipli annonce une réduction moyenne de 25kg de déchets et de 83% de l'empreinte carbone en choisissant d'utiliser un emballage réutilisable. Si les retours engendrés par le renvoi des emballages par les clients impliquent une hausse des émissions liées au transport, celle-ci devrait être inférieure aux gains engendrés par les économies de ressources et de déchets [45].

Enfin, mentionnons ici que si ce n'est pas encore la norme, le Click and Collect pourrait permettre le zéro déchet du processus d'acheminement, notamment si la commande est directement préparée depuis le magasin de retrait ⁵¹.

Ensuite, l'impact de chaque emballage doit être réduit autant que possible, via **l'utilisation de matériaux éco-responsables, qui soient recyclables ou issus de matériaux recyclés par exemple.** Les signataires de la charte EPRIECEL s'engagent à "n'utiliser que des emballages de livraison en matières principales recyclées, recyclables ou réutilisables" [38].

La responsabilité des consommateurs est également engagée puisque ce sont à eux de trier correctement les emballages qu'ils reçoivent. Néanmoins, des consignes plus claires sur le bacs de destination sont visiblement nécessaires puisqu'environ 1 consommateur sur 2 ne trie pas correctement les emballages plastiques, quand 1 sur 5 ne trie pas correctement les emballages cartons [7].

51. Lorsqu'un article est retiré en Click and Collect dans un magasin donné, il peut avoir été directement pris dans les stocks du dit-magasin, mais aussi provenir des stocks de l'entrepôt ou d'un autre magasin, qui auront donc envoyé le produit soit via un trajet de réassort, soit via une livraison effectuée par un transporteur tiers.

3 EN ROUTE VERS UN E-COMMERCE ÉCO-RESPONSABLE

Pour les utilisations de matériaux plastiques qui ne peuvent être évitées, plusieurs options sont disponibles. Si l'utilisation de plastiques recyclables est une solution qui ferait sens, il s'avère qu'à l'exception du polytéréphtalate d'éthylène (PET, utilisé dans les bouteilles d'eau), les plastiques sont décyclés plutôt que recyclés [40]. A l'inverse du recyclage qui permet d'obtenir le même matériau que l'on cherche à réutiliser, le décyclage ne permet que l'obtention de matériaux de moindre qualité, et donc de déchets lorsque la qualité s'est trop dégradée pour permettre la réutilisation. L'utilisation de plastiques décyclés est donc une manière de réduire la quantité globale de déchets, mais n'est pas une solution durable puisque elle ne permet pas d'éliminer en totalité les déchets. Les matériaux réellement recyclables qui pourraient être utilisés pour les emballages du e-commerce sont les plastiques biodégradables en conditions naturelles, "qui sont capables de réintégrer en totalité le cycle naturel du carbone et donc de participer à une véritable économie circulaire" [40]. Consommateurs de ressources naturelles, les plastiques biodégradables ne constituent tout de même pas une solution miracle capable d'assurer l'intégralité des usages.

Concernant le recyclage du carton, les bénéfices environnementaux dus à l'économie d'énergie et de matériaux primaire sont modérés notamment par l'impact de la collecte des matériaux à recycler, mais l'impact global reste positif [30].

En conclusion, pour la gestion de ses déchets, le e-commerce doit à nouveau prioriser une réduction de la consommation de ressources et d'énergie avant de considérer des solutions d'usage plus vertueuses.

3.5 Conseils aux e-consommateurs

Les consommateurs sont à la fois problèmes et solutions dans la transition écologique du e-commerce. En effet, ils sont à l'origine de la demande, pour laquelle ce processus de distribution fonctionne. Néanmoins, ils peuvent aussi être une partie de la solution, et leur implication et responsabilisation peuvent être un atout pour la transition écologique du e-commerce. **L'ADEME propose un guide du e-consommateur responsable** dans lequel sont regroupées des bonnes pratiques à adopter lors d'achats sur internet [4].

Tout d'abord, on retrouve les bons gestes à adopter concernant les emballages des colis. Comme évoqué plus haut, les emballages réutilisables, le tri des cartons ou même le réemploi des cartons pour d'autres usages privés, sont des solutions à privilégier.

Ensuite, afin de limiter les flux de transport, il est préférable de grouper ses achats et de ne retourner ses articles qu'exceptionnellement. En cas de livraison à domicile, il est important d'être disponible pour la réception des colis, et de préférer les points de retrait le cas échéant.

Concernant la livraison, lorsque l'empreinte carbone des différents modes est disponible, choisir évidemment le mode le moins émissif. Enfin, en cas de livraison dans un point de retrait, favoriser un mode de déplacement doux, et si ce n'est pas possible, choisir un point de retrait de manière à mutualiser le trajet avec d'autres activités. Il y a d'ailleurs une vraie demande des e-consommateurs pour le développement de solutions de livraison écologiques. En 2021, suite à une consultation en ligne du Sénat [19]⁵², une grande majorité des répondants (plus des 3/4 sur chaque question) se disait prête à modifier son choix de livraison pour des raisons environnementales, et même à al-

52. Cette étude ne se prétend pas être une étude scientifique puisque les répondants étaient des volontaires s'inscrivant d'eux même sur le site du Sénat pour répondre à cette consultation. Les réponses sont biaisées du fait que répondants sont probablement concernés par les problématiques abordées.

3 EN ROUTE VERS UN E-COMMERCE ÉCO-RESPONSABLE

longer le délai de livraison si nécessaire, mais regrettait le manque de transparence des sites web sur l'empreinte carbone de leurs livraisons. C'est donc désormais aux e-commerçants d'agir et de prendre les dispositions nécessaires.

Enfin, et c'est probablement le conseil le plus prometteur en termes de potentiel de réduction d'impact : **éviter la surconsommation et raisonner ses achats**. Comme il a été mentionné précédemment, le processus de distribution ne représente qu'une petite partie de l'empreinte carbone d'un produit, et si la décarbonation de ce processus n'en reste pas moins primordiale dans l'espoir d'une société neutre en carbone, la sobriété l'est tout autant, et même bien plus encore. S'interroger sur la nécessité de son achat, faire attention à la provenance et la qualité des produits (quand les informations sont disponibles) ou encore opter pour la seconde main sont des habitudes que chacun doit essayer d'intégrer à son quotidien.

A l'image de deux phénomènes en contradiction avec l'objectif d'une société neutre en émissions de GES que sont la fast-fashion et l'obsolescence programmée, le secteur du commerce a encore des efforts à entreprendre pour se responsabiliser. Si les e-commerçants, aiguillés par des politiques publiques claires, ont pour devoir de faire évoluer leurs pratiques, nous avons également en tant que consommateurs notre rôle à jouer dans cette transition, et à nous interroger sur notre usage de cet outil qu'est le e-commerce.

4 CONCLUSION

4 Conclusion

Quatre pôles concentrent, à des degrés différents, les principaux impacts environnementaux du e-commerce : le transport des marchandises, les plateformes de stockage, les déchets générés par les emballages et l’empreinte numérique des sites marchands. Déterminer l’empreinte environnementale exacte de chaque pôle est compliqué, et ce rapport n’a pu que fournir des estimations pouvant servir à fixer un ordre d’idée. S’il semble que le poids écologique absolu du e-commerce à l’échelle des émissions françaises soit faible, il n’en reste pas moins primordial de le décarboner et de le rendre plus vertueux, dans l’objectif d’une société neutre en carbone en 2050.

Des solutions existent pour que la vente à distance réussisse sa transition écologique, faisant appel aux nouvelles technologies, à l’optimisation de certains processus déjà existants et à l’évolution comportementale des consommateurs comme des acteurs du secteur. Les politiques publiques ont également un rôle important à jouer, puisqu’elles devront proposer des feuilles de routes claires, faire les arbitrages qui s’imposent et aligner les infrastructures publiques avec les objectifs pour répondre aux nouveaux besoins à venir.

La recherche opérationnelle, qui doit venir apporter son soutien technique à la démarche de responsabilisation du e-commerce dans le cadre de la chaire *Retail Responsable*, est également source de gains environnementaux, puisque des optimisations sont possibles à de nombreux échelons de la chaîne de distribution. De l’organisation des tournées de livraison, à la gestion des stocks pour limiter les invendus, en passant par la détermination des meilleurs emplacements pour les espaces de stockage, les possibilités sont multiples.

Bien sûr, ce rapport n’est pas exhaustif et a laissé de côté quelques considérations. Les enjeux environnementaux autres que la décarbonation n’ont été traités que succinctement, mais n’en restent pas moins problématiques. Ensuite, le e-commerce a été restreint à ses phases de vente et de distribution, sans remettre en question la provenance, l’utilisation et la qualité des achats. Enfin, les enjeux sociaux du e-commerce n’ont pas été traités dans ce rapport, et feront l’objet de travaux complémentaires, afin d’aboutir à un point de vue plus complet du e-commerce responsable.

A Annexes

A.1 Les enjeux de l'électrification des véhicules par batterie

Le déploiement des véhicules électriques à batteries est confronté à plusieurs obstacles. Le premier d'entre eux est la difficulté d'approvisionnement. Ensuite, l'alimentation en électricité pose des problèmes qui ne sont pas encore levés. Enfin, la fabrication du véhicule est particulièrement émettrice de GES, laissant une dette carbone, qui est plus ou moins vite compensée à l'usage selon l'intensité carbone de l'électricité consommée.

Un approvisionnement compliqué

Le plan de programmation des ressources minérales de la transition bas-carbone du ministère de la transition écologique étudie en détail les enjeux de l'approvisionnement en matériaux pour l'électrification de la mobilité [55], et émet des réserves sur la pertinence d'une transition reposant uniquement sur des PL fonctionnant à batteries. Si l'on observe des gains d'émissions de GES pour un PL électrique comparé à un équivalent diesel, les quantités de ressources nécessaires à la transition du parc seraient démesurées.

La recharge

Tout d'abord, la quantité d'électricité produite en France est limitée, et n'est pas dimensionnée actuellement pour prendre en charge l'intégralité du transport de marchandises, qui a nécessité 470 TWh d'énergie de traction en France en 2021 [56], ce qui représente plus de la consommation électrique totale de la France cette même année (468 TWh) [66]. Nuançons, en mentionnant que le rendement du moteur électrique étant bien meilleur que l'équivalent thermique, environ 95% contre 40% [71] et avec un rendement total de la chaîne électrique d'environ 80% [73], l'électrification complète du transport de marchandise pourrait diviser par presque 2 la consommation totale d'énergie du transport de marchandises.

Il faut ensuite questionner la hausse de production d'électricité nécessaire. En version rapide, la recharge demande des puissances instantanées très importantes, tandis qu'en version lente, il est probable que les recharges soient toutes effectuées au même instant, c'est à dire en fin de journée et la nuit, impliquant une hausse de la demande sur l'ensemble du réseau. Actuellement, le surplus de puissance induit par la recharge des véhicules électriques est souvent prise en charge par une centrale thermique [10], qui ont une intensité carbone de l'ordre de 500gCO₂/kWh, soit 10 fois plus élevé que le chiffre moyen observé sur une année en France.

Un impact environnemental qui n'est pas nul pour le véhicule électrique

On vient de le voir, la production de l'électricité n'est pas zéro émissions, et la production du véhicule ne l'est pas non plus. En effet, bien moins émissif que l'équivalent thermique sur l'ensemble de sa durée de vie, un véhicule électrique reste émetteur de plusieurs dizaines de tonnes de CO₂eq [12]. L'impact global dépend fortement de la taille et provenance de la batterie utilisée ainsi que de l'origine de l'électricité consommée. Le Shift Project prévoit qu'en 2030, un PL de 40 tonnes avec 400km d'autonomie pourrait émettre environ 380t de CO₂eq si sa batterie est produite en Chine et qu'il est rechargé avec le mix européen, contre 180t pour un PL avec batteries fabriquées en Europe et rechargé avec l'électricité française, et enfin 750t pour un équivalent diesel [71].

A ANNEXES

L'impact environnemental des batteries est principalement dû à l'extraction et au raffinage des métaux requis (graphite, nickel, manganèse, cobalt, lithium pour les batteries NiMnCo; lithium et phosphore pour les batteries LiFePO₄). Le lecteur est invité à lire le rapport du ministère de la transition écologique [55] pour des informations plus détaillées, dont les grandes lignes sont données ci-dessous.

Les activités d'extraction sont confrontées aux problématiques habituelles des mines, c'est à dire pollution des sols, de l'air et de l'eau, consommation de ressources et d'énergie. Pour la plupart situées dans des pays à l'énergie peu décarbonée et peu soucieux de la santé des travailleurs et des populations locales, à l'image de la Chine, du Chili ou de la République Démocratique du Congo, une partie des mines d'où proviennent actuellement les matériaux utilisés pour l'électrification des mobilités, sont particulièrement problématiques environnementalement et socialement. L'étape du raffinage a lieu majoritairement en Chine, et mobilise donc une grande quantité d'énergie non décarbonée.

En définitive, la production d'1 kg de batterie permettait en 2020 de stocker environ 300Wh, et émettrait autour de 6 kg de CO₂eq, et donc 20kg de CO₂ sont nécessaires à la production d'1 kWh de batteries. Le Tesla Semi, prévoyant d'embarquer 1000kWh de batteries, aurait donc une dette carbone due à ses batteries d'environ 20t de CO₂, soit l'équivalent de 20000km parcourus avec un PL diesel⁵³.

A noter que l'Europe tend à relocaliser certaines étapes d'extraction et de production sur son territoire, via notamment le programme *European Battery Alliance*, ce qui devrait permettre une réduction de l'empreinte carbone des batteries.

53. Si l'on considère la valeur de 900g de CO₂eq/km pour un PL diesel donné dans [12].

RÉFÉRENCES

Références

- [1] ADEME. Modélisation et évaluation des impacts environnementaux de produits de consommation et biens d'équipement, 2018. <https://librairie.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/1189-modelisation-et-evaluation-des-impacts-environnementaux-de-produits-de-consommation-et-biens-d-equipement.html>.
- [2] ADEME. Analyse du cycle de vie relative à l'hydrogène, 2020. <https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/4213-analyse-de-cycle-de-vie-relative-a-l-hydrogene.html>.
- [3] ADEME. Définition de profils d'acheteurs types en e-commerce, 2020. <https://librairie.ademe.fr/consommer-autrement/3873-definition-de-profils-d-acheteurs-types-en-e-commerce.html>.
- [4] ADEME. E-consommateur & responsable, 2020. <https://librairie.ademe.fr/cadic/4466/guide-pratique-econsommateur-responsable.pdf>.
- [5] ADEME. La collecte des déchets par le service public en France, 2021. <https://expertises.ademe.fr/economie-circulaire/dechets/chiffres-cles-observation/collecte-dechets-service-public-france#:~:text=Les%20chiffres%20de%20la%20collecte,sup%C3%A9rieure%20C3%A0%20celle%20de%202017>.
- [6] ADEME. "tranphlyn" transports lourds fonctionnant à l'hydrogène, 2022. <https://librairie.ademe.fr/mobilite-et-transport/5722--tranphlyn-transports-lourds-fonctionnant-a-l-hydrogene.html>.
- [7] ADEME. Commerce en ligne : impacts environnementaux de la logistique, des transports et des déplacements, 2023. <https://librairie.ademe.fr/mobilite-et-transport/6261-commerce-en-ligne-impacts-environnementaux-de-la-logistique-des-transports-et-des-deplacements.html>.
- [8] ADEME and ARCEP. Empreinte environnementale du numérique en France : L'ADEME et l'ARCEP remettent leur premier rapport au gouvernement, 2022. https://www.arcep.fr/fileadmin/cru-1677573101/user_upload/04-22-version-francaise.pdf.
- [9] APUR. Recueil de bonnes pratiques pour la logistique urbaine, 2021. https://www.apur.org/sites/default/files/recueil_bonnes_pratiques_logistique_urbaine.pdf?token=q8eu3mtN.
- [10] Bigo Aurélien. *Les transports face au défi de la transition énergétique. Explorations entre passé et avenir, technologie et sobriété, accélération et ralentissement*. . Thesis, 2020. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03082127/>.
- [11] Les cahiers du Développement Durable. Les déchets et les aspects environnementaux, 2023. <http://les.cahiers-developpement-durable.be/vivre/09-dechets-aspects-environnementaux/#:~:text=La%20mise%20en%20d%C3%A9charge%20engendre,sol%20et%20les%20eaux%20souterraines>.
- [12] Carbone 4. Transport routier : quelles motorisations alternatives pour le climat ?, 2020. <https://www.carbone4.com/files/wp-content/uploads/2020/12/Transport-Routier-Motorisations-Alternatives-Publication-Carbone-4.pdf>.
- [13] Carbone 4. Le e-commerce est-il vraiment un élément clé de la décarbonation du transport de marchandises ?, 2021. <https://www.carbone4.com/decryptage-e-commerce-decarbonation-transport>.

RÉFÉRENCES

- [14] Carbone 4. Camion électrique : il est temps d'embrayer sur la logistique urbaine, 2022. https://www.carbone4.com/files/Rapport_Camion_Electrique_Logistique_Urbaine_compress_e.pdf.
- [15] Carton ondulé de France. L'analyse du cycle de vie (ACV) du carton ondulé montre des progrès environnementaux substantiels, 2019. <https://www.cartononduledefrance.org/wp-content/uploads/2019/06/CP-Environnement-1.pdf>.
- [16] CIOLOG. 2è comité interministériel de la logistique, 2021. https://www.economie.gouv.fr/files/files/2021/20211021_DP_2e_comite_interministeriel_logistique.pdf.
- [17] Commissariat général au développement durable. Les véhicules utilitaires légers : une bonne complémentarité avec les poids lourds, 2014. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2018-11/lps190-vul.pdf>.
- [18] Conseil national du numérique. Feuille de route sur l'environnement et le numérique, 2020. <https://cnnumerique.fr/files/uploads/2020/CNNum%20-%20Dossier%20de%20presse%20environnement%20%26%20numerique.pdf>.
- [19] Commission de l'aménagement du territoire et du développement durable. Rapport d'information - transport de marchandises : se donner les moyens d'une transition nécessaire, 2021. <http://www.senat.fr/rap/r20-604/r20-6041.pdf>.
- [20] Commission de l'aménagement du territoire et du développement durable. Rapport d'information au sénat : "logistique urbaine durable : 14 propositions pour anticiper un défi majeur pour nos agglomérations", 2022. <https://www.senat.fr/rap/r21-636/r21-6361.pdf>.
- [21] Cour des comptes. La politique de développement des biocarburants, 2021. <https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/2021-12/20211220-S2021-1718-politique-developpement-biocarburants.pdf>.
- [22] DGE and DGITM. Mission Logistique Urbaine Durable, Rapport final, 2021. <https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/282046.pdf>.
- [23] Direction Générale de l'Énergie et du Climat. Synthèse du scénario de référence de la stratégie française pour l'énergie et le climat , 2020. <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Synth%C3%A8se%20sc%C3%A9nario%20de%20r%C3%A9f%C3%A9rence%20SNBC-PPE.pdf>.
- [24] Envoyé Spécial. Très chers colis, 2021. https://www.francetvinfo.fr/monde/environnement/video-tres-chers-colis_4655523.html.
- [25] Estia. Etude de l'impact environnemental de l'achat sur internet et dans le commerce traditionnel, 2009. <https://docplayer.fr/1627871-E-commerce-environnement.html>.
- [26] FM Logistic et Roland Berger. La logistique urbaine face aux défis économiques et environnementaux , 2020. https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/ETUDE_ROLAND_BERGER_LOGISTIQUE_URBAINE.pdf.
- [27] Eurostat. Glossaire :Équivalent dioxyde de carbone, 2019. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Carbon_dioxide_equivalent/fr#:~:text=L'%C3%A9quivalent%20dioxyde%20de%20carbone,de%20carbone%20ayant%20le%20m%C3%Aame.
- [28] EVE. Fret21 - les chargeurs s'engagent, 2016. <https://www.eve-transport-logistique.fr/wp-content/uploads/2022/05/fiches-actions-fret21-octobre-2016-mep2019.pdf>.
- [29] EVE. Objectif CO2 - les transporteurs s'engagent, 2022. https://www.objectifco2.fr/docs/upload/34/FA_TRM_octobre2022_vf.pdf.

RÉFÉRENCES

- [30] FEDEREC and ADEME. Évaluation environnementale du recyclage en France selon la méthodologie de l'analyse de cycle de vie, 2017. <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-28012-etude-federec-bilan-recyclage-france.pdf>.
- [31] FEVAD. Achat en ligne : livraisons et retours / Baromètre trimestriel du e-commerce en France T1 2021, 2021. <https://www.fevad.com/barometre-trimestriel-du-e-commerce-en-france-t1-2021/>.
- [32] FEVAD. Les chiffres clés du e-commerce 2021, 2022. <https://fr.calameo.com/read/0071351454b6664e02df2>.
- [33] Fight Climate Change. The environmental cost of email, 2022. <https://fightclimatechange.earth/2022/05/22/the-environmental-cost-of-email/>.
- [34] Fnac. Livraison éclairée, 2023. <https://www.fnac.com/livraison-eclairée>.
- [35] FNTR, OTRE, and TLF. Task-force : Transition énergétique du transport routier de marchandise, 2022. https://e-tlf.com/app/uploads/2022/07/task_force_transition_energetique_trm_synthese_op_mai_2022.pdf.
- [36] France Stratégie. Objectif "Zéro artificialisation nette" : quels leviers pour protéger les sols ?, 2019. <https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-rapport-2019-artificialisation-juillet.pdf>.
- [37] France Stratégie, Conseil Générale de l'environnement et du développement durable, and Inspection générale des finances. Pour un développement durable du commerce en ligne, 2021. https://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/2021/Rapport_Devt_durable_commerce_en_ligne.pdf.
- [38] Gouvernement français. Charte d'engagements pour la réduction de l'impact environnemental du commerce en ligne, 2021. https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/charte_dengagements_pour_la_reduction_de_limpact_environmental_du_commerce_en_ligne.pdf?v=1647345216.
- [39] Gouvernement français. Stratégie nationale logistique, 2022. <https://presse.economie.gouv.fr/12122022-strategie-cilog/>.
- [40] Gontard, Nathalie. Que faire des emballages plastiques, 2021. https://www.mnhn.fr/system/files/atoms/files/que_faire_des_emballages_plastiques.pdf.
- [41] Jesus Gonzalez-Feliu, Frédéric Henriot, and Florence Toilier. Urbanisme commercial et approvisionnement des ménages : Impacts sur la mobilité de quatre scénarios extrêmes. In *Atelier de Recherche : " Transport et Logistique : Histoire (s) de durabilité*, 2009.
- [42] Gouvernement du Royaume-Uni. The non-domestic national energy efficiency data-framework 2022 (England and Wales), 2022. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1086903/non_domestic_need_data_framework_2022.pdf.
- [43] GreenIT.fr. iNUM : impacts environnementaux du numérique en France, 2021. <https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2021/02/2021-01-iNum-etude-impacts-numerique-France-rapport-0.8.pdf>.
- [44] Haut Conseil pour le Climat. Rapport annuel du HCC, 2022. <https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2022/06/Rapport-annuel-Haut-conseil-pour-le-climat-29062022.pdf>.
- [45] Hipli. Le e-commerce fait un carton !, 2023. <https://hipli.fr/impact/>.

RÉFÉRENCES

- [46] IPCC. Synthesis Report of the IPCC Sixth Assessment Report (AR6) - Summary for Policy-makers, 2023. https://report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf.
- [47] Jarotwan Koiwanit. Analysis of environmental impacts of drone delivery on an online shopping system. *Advances in Climate Change Research*, 9(3) :201–207, 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674927818300261>.
- [48] Serge Lambert and Diane Riopel. Logistique inverse : revue de littérature. *Les Cahiers du GERAD ISSN*, 711 :2440, 2003.
- [49] Le Monde. Au Pakistan, les pires inondations de l’histoire du pays ont eu l’effet d’un électrochoc sur la population, 2022. https://www.lemonde.fr/planete/article/2022/11/09/dereglement-climatique-au-pakistan-les-inondations-marquent-un-tournant-dans-l-opinion-publique_6149138_3244.html.
- [50] Le Monde. Les mégafeux, des phénomènes appelés à se multiplier sous l’effet du dérèglement climatique, 2022. https://www.lemonde.fr/planete/article/2022/07/24/le-dereglement-climatique-augmente-le-risque-de-megafeux_6135913_3244.html.
- [51] Ministère Chargé des Transports. Stratégie nationale pour le développement du fret ferroviaire, 2021. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/210909_Strategie_developpement_fret_ferroviaire.pdf.
- [52] Ministère de la Transition Ecologique. Le développement du e-commerce : marché, organisation logistique, enjeux environnementaux, 2021. <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-38057-developpement-e-commerce-analyse-cgdd.pdf>.
- [53] Ministère de la Transition Ecologique. Système de route électrique (ERS) - solutions techniques, potentialités et verrous, 2021. <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/GT2%20rapport%20final.pdf>.
- [54] Ministère de la Transition Ecologique. Chiffres clés du climat - France, Europe et Monde, 2022. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat-2022/pdf/chiffres-cles-du-climat-2022-integral.pdf>.
- [55] Ministère de la Transition Ecologique. Plan de programmation des ressources minérales de la transition bas-carbone : La mobilité bas-carbone, 2022. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/rapport_cgdd_01_mobilite_bas_carbone_fevrier2022.pdf.
- [56] Ministère de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires. Bilan annuel des transports en 2021, 2022. https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2022-10/datalab_108_bilan_annuel_transports_2021_octobre_2022.pdf.
- [57] Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire. Stratégie Nationale Bas-Carbone, 2020. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf.
- [58] Ministère de la Transition Energétique. Chiffre clés des énergies renouvelables - édition 2022, 2022. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-energies-renouvelables-2022/pdf/chiffres-cles-des-energies-renouvelables-2022.pdf>.
- [59] Météo France. 2022, année la plus chaude en France, 2023. <https://meteofrance.com/actualites-et-dossiers/actualites/2022-annee-la-plus-chaude-en-france>.
- [60] Office Français de la Biodiversité. La démarche ZAN (Zéro Artificialisation Nette), 2023. [https://www.ofb.gouv.fr/la-demarche-zan-zero-artificialisation-nette#:~:text=Z%C3%A9ro%20Artificialisation%20Nette%20\(ZAN\)%20est,mesur%C3%A9e%20entre%202011%20et%202020](https://www.ofb.gouv.fr/la-demarche-zan-zero-artificialisation-nette#:~:text=Z%C3%A9ro%20Artificialisation%20Nette%20(ZAN)%20est,mesur%C3%A9e%20entre%202011%20et%202020).

RÉFÉRENCES

- [61] Opopop. Pour un e-commerce responsable, 2023. <https://opopop.co/pour-un-ecommerce-responsable/>.
- [62] Orange. Suivi conso : internet mobile, 2022. https://assistance.orange.fr/assistance-commerciale/la-facture-le-suivi-conso/suivre-la-consommation/suivi-conso-internet-mobile_44104-44750.
- [63] Organisation de coopération et de développements économiques (OCDE). Le commerce électronique au temps de la pandémie de COVID-19, 2020. https://read.oecd-ilibrary.org/view/?ref=137_137593-v669p5a57x&title=Le-commerce-electronique-au-temps-de-la-pandemie-de-COVID-19.
- [64] Organisation Météorologique Mondiale. Observer la vapeur d'eau, 2016. <https://public.wmo.int/fr/ressources/bulletin/observer-la-vapeur-d%E2%80%99eau>.
- [65] Organisation Météorologique Mondiale. Aggravation des impacts du changement climatique dans le contexte des huit années les plus chaudes jamais enregistrées, 2022. <https://public.wmo.int/fr/medias/communiqu%C3%A9s-de-presse/aggravation-des-impacts-du-changement-climatique-dans-le-contexte-des#:~:text=Les%20manifestations%20et%20les%20r%C3%A9percussions,un%20nouveau%20record%20cette%20ann%C3%A9e>.
- [66] Réseau de Transport d'Électricité. Bilan électrique 2021 - une production d'électricité assurée à plus de 92% par des sources n'émettant pas de gaz à effet de serre, 2022. <https://www.rte-france.com/actualites/bilan-electrique-2021>.
- [67] Samsara. Rapport d'efficacité du conducteur, 2023. <https://kb.samsara.com/hc/fr/articles/360042972271#UUID-e03c9e3d-4100-41b8-263e-0c7973f4b50a>.
- [68] SNCF. Opti-Conduite : énergie économisée, régularité préservée, 2021. <https://www.sncf.com/fr/groupe/newsroom/opticonduite-energie-economisee>.
- [69] SNCF. En République Tchèque, le TGV M fait ses premiers tests en mouvement, 2023. <https://www.sncf.com/fr/innovation-developpement/innovation-recherche/premiers-essais-tgv-m>.
- [70] The Shift Project. [lean ICT Materials] 1byte Model (2018)), 2019. <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/10/Lean-ICT-Materials-Liens-%C3%A0-t%C3%A9l%C3%A9charger-r%C3%A9par%C3%A9-le-29-10-2019.pdf>.
- [71] The Shift Project. Assurer le fret dans un monde fini, 2022. https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2022/03/Fret_rapport-final_ShiftProject_PTEF.pdf.
- [72] The Shift Project. Présentation du rapport 'assurer le fret dans un monde fini' [ptef], 2022. https://www.youtube.com/watch?v=Uk7QHfjby7I&ab_channel=TheShiftProject.
- [73] Transport & Environment. Comment décarboner le fret français d'ici 2050 ?, 2020. https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/2020_05_TE_comment_decarboner_le_fret_francais_d_ici_2050_FR_final.pdf.
- [74] VNF. Dossier de presse - Contrat d'objectifs et de performances - Le fluvial au coeur de la transition écologique, 2021. <https://www.vnf.fr/vnf/app/uploads/2021/06/DPCOP-ok.pdf>.
- [75] VNF. FLUENT : Schéma de verdissement de la flotte du bassin Rhône-Saône à horizons 2035 et 2050, 2022. <https://www.vnf.fr/vnf/app/uploads/2023/03/Rapport-final-FLUENT-POC-RS.pdf>.
- [76] Voxlog. La CVP-500 de Neopost Shipping séduit Cdiscount, 2017. <https://www.voxlog.fr/actualite/2376/la-cvp-500-de-neopost-shipping-seduit-cdiscount>.

RÉFÉRENCES

[77] Wikipédia. Biocarburant, 2022. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Biocarburant>.

Tous les liens ont été testés et étaient fonctionnels au 23/06/2023.

