

Enjeux Environnementaux et Sociétaux du Numérique

Introduction

L. Morel, Département Informatique, INSA Lyon.

2024

Présentation du cours

Objectifs du cours

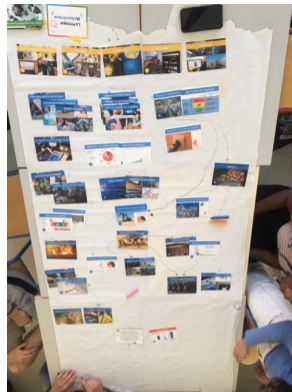
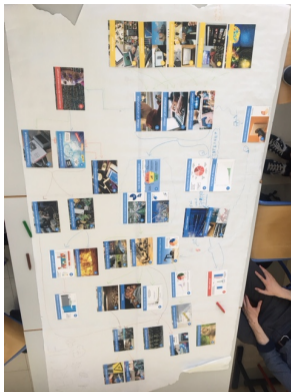
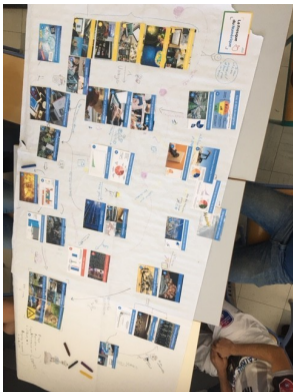
- Conserver une approche **ancrée dans les savoirs scientifiques et techniques**
 - à partir de ces savoirs, **problématiser les enjeux environnementaux et sociaux**, en élargissant progressivement la vision:
 - Ingénieur
 - Monde Économique / l'Entreprise
 - Société
 - Imaginaires
- ⇒ montrer aux ingénieurs que leurs objets propres impliquent par eux-mêmes des **prises de position** et engagent des **problèmes sociétaux complexes**.
- Faire naître chez le/la futur.e ingénieur.e la conscience que **la technologie est autant une solution qu'un problème**.

Plan du module

4IF - S2

S6	06/02/2024	CM1	Pensée Algorithmique	CS
S6	06/02/2024	CM2	Perspectives matérielles	F2D
S8	21/02/2024	CM3	Limites Planétaires - Prospective	MPE & LM
S8	19/02/2024	CM4	Brevets, licences, RGPD	FB
S10	04/03/2024	CM5	Santé	CS
S12	19/03/2024	CM6	Genre	CAD & CS
S??		TD(4h)	World3	CS
S11		TD(4h)	Dark Patterns	AB
S12		TD(4h)	Vie Privée	AB
S14		TD(4h)	Prospective	MPE & LM

Impacts du Numérique



Question : Qu'avez-vous retenu de cette fresque ?

Impacts du Numérique - Sources

Ce cours est très largement inspiré des sources suivantes

- le cours Sylvain Bouveret à l'ENSIMAG¹.
- Situer le Numérique, de Gauthier Roussilhe².
- La Fresque du Numérique³.
- Le document “Empreinte environnementale du numérique mondial”, par Frédéric Bordage de GreenIT⁴

¹<https://recherche.noiraudes.net/ecoinfo/numres/>

²<https://gauthierroussilhe.com/ressources/situer-le-numerique>

³<https://www.fresquedunumerique.org/>

⁴<https://www.greenit.fr/empreinte-environnementale-du-numerique-mondial/>

Le numérique mondial

Chiffres-clefs pour le monde ⁵ :

Total: 34 milliards d'équipements, 4.1 milliards d'utilisateurs.

Terminaux	Smartphones	3,5 milliards
	Autres Téléphones	3,8 milliards
	dispositifs d'affichage	3,1 milliards
	objets connectés	19 milliards
Réseaux	box DSL/fibre	1 milliard
	Antennes relais	10 millions
	autres équip. actifs	200 millions
Datacentres	serveurs	67 millions de serveurs

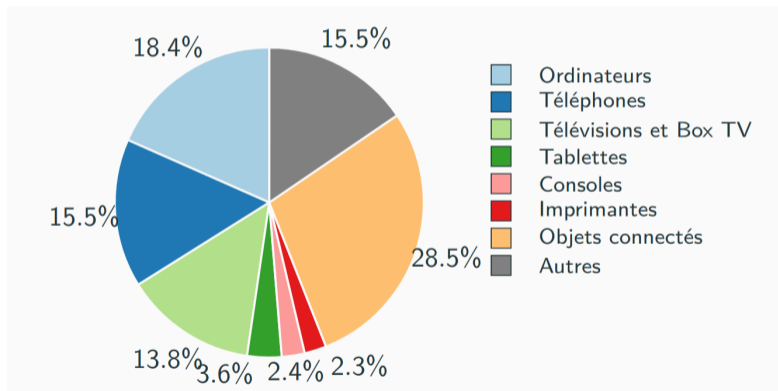
⁵Bordage, GreenIT, 2019

Le numérique en France - équipements

Chiffres-clés pour la France⁶

631 millions d'équipement, 58 millions d'utilisateurs

11 appareils / utilisateur



⁶Bordage, Montenay et Vergeynst, 2021.

Le numérique en France - usages

Quelques chiffres⁷

- 88% des Français connecté.e.s
- Taux d'équipement : téléphones 95%, dont smartphones 77%, ordinateurs 76%
- Dispositifs utilisés pour se connecter majoritairement à internet:
 - smartphone 51%, ordinateur 31%, tablette 6%

En résumé : une population française ultra-équipée, ultra connectée, et avec un usage surtout mobile des réseaux (NB : attention aux disparités que ces chiffres cachent).

⁷Crédoc, 2019.

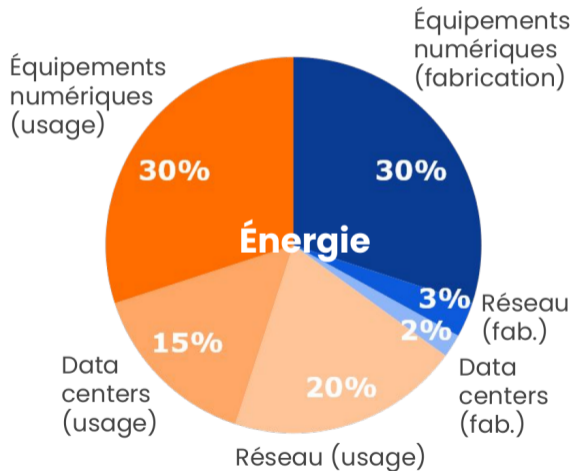
Numérique et environnement

Quelques ordres de grandeurs. à l'échelle mondiale, le numérique (tout compris) c'est ...

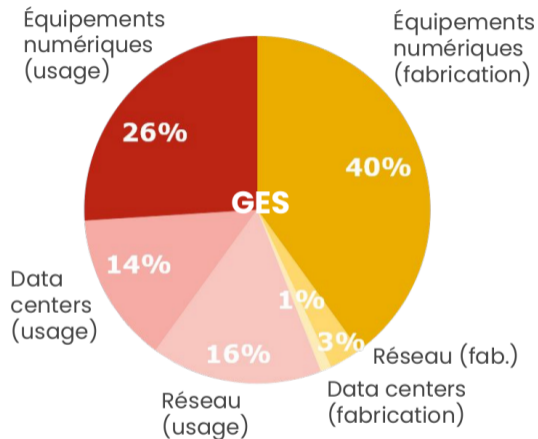
- 4.2% de Consommation d'énergie primaire (EP)
 - 3.8% des émissions de GES
(1.6 × GES aviation (hors forçage radiatif))
 - 0.2% de la consommation d'eau
 - 5.5% de la consommation d'électricité
- ▶ à peu près 2-3 fois la France

Note: Chiffres et tendances des prochains slides sont issus de l'étude GreenIT (Bordage, 2019)

Énergie primaire consommée pour le secteur du numérique



Émissions de GES du numérique

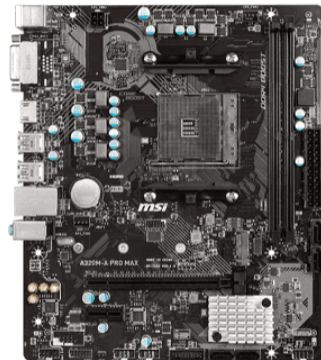


Répartition des émissions de GES du secteur du numérique

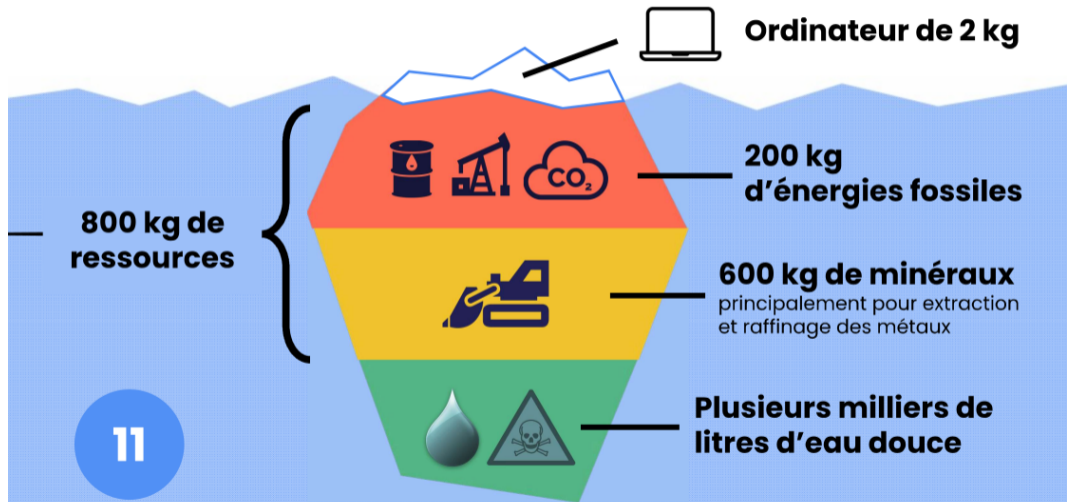
Matérialité du numérique

kg/unité	Ordinateur portable	smartphone
Chrome	6,7	1,8
Cuivre	340,8	84,6
Or	199,6	61,1
Fer	7,5	1,8
Nickel	48,7	13,4
Uranium	3,7	1,0
Argent	3,7	1,0
Lignite	38,8	10,6
Charbon	109,3	29,2
Gaz Naturel	6,8	1,6
Pétrole	6,4	1,7
Autres	63,8	12,9
Total	835,7	220,6
Masse finale	2,4	0,3

D'après *Modélisation et Évaluation des Impacts Environnementaux de Produits de Consommation et Biens d'Équipement*, ADEME, 2018.



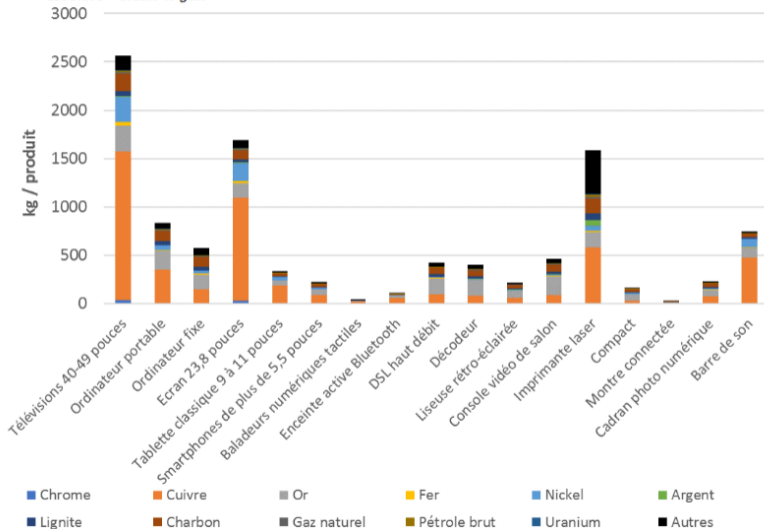
Le “sac à dos” écologique



Source : rapport de l'ADEME "Modélisation et évaluation des impacts environnementaux de produits de consommation [...]", 2018, p.25

Sac à dos écologique

Figure 5-8 : Contribution des appareils électriques à forte composante électronique domestiques au MIPS en valeurs absolues – *Cradle-to-gate*

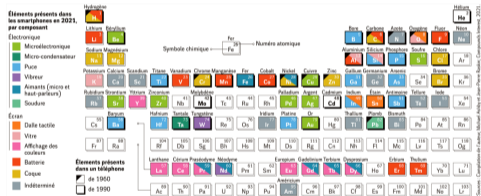


Exemple - Les matériaux d'un smartphone - Fabrication

- Un grand nombre d'éléments en très petite quantité.
- Ces éléments sont parfois en concentration infime dans l'environnement
- Les processus d'extraction sont énergivores, gourmands en eau, polluant.



Mine de cuivre de Chino (Nouveau Mexique), diamètre 2.8km, profondeur 400m

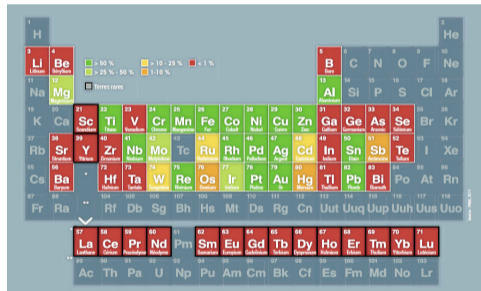


Source : Quand le numérique détruit la planète, G. Pitron, in Le Monde Diplomatique, octobre 2021.

Sur les ressources, voir les analyses de Aurore Stéphan : https://www.youtube.com/watch?v=FkiMqLD3_YQ

Exemple - Déchets et retraitement d'un smartphone

- Une part infime des matériaux utilisés est effectivement recyclée
- Pour beaucoup de matériaux (terres rares en particulier) le coût de recyclage est de plusieurs ordres de grandeur supérieur au coût d'extraction.



Taux de recyclage des métaux dans le monde (en%)
Alternatives Économiques,
<https://www.alternatives-economiques.fr/taux-de-recyclage-metaux-monde-0110201662952.html>

C'est le **renouvellement du matériel** (en particulier **coté usager**) qui est le plus gourmand actuellement.

Projections



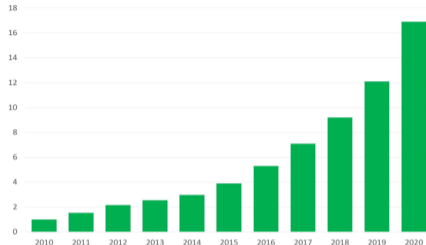
Progression entre 2010 et 2025
(projection 2019)

	2010	2015	2020	2025	Unité
Utilisateurs	2 023	3 185	4 700	5 500	Millions d'utilisateurs
Équip. classiques	13 531	18 405	19 041	20 278	Millions d'équipements
Taux d'équipement	7	6	4	4	Équipement /utilisateur
Objets connectés	1 000	9 605	20 315	48 272	Millions d'équipements
Equip. classiques + objets connectés	14 531	28 010	39 356	68 550	Millions d'équipements
Masse	128	164	236	317	Millions de tonnes

L'univers numérique de 2010 à 2025

L'univers numérique

Trafic internet mondial (base 1 en 2010)

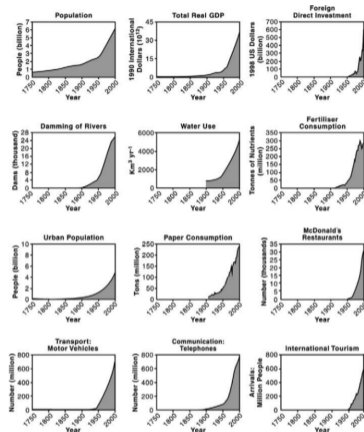
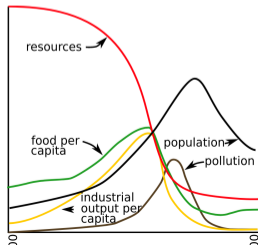
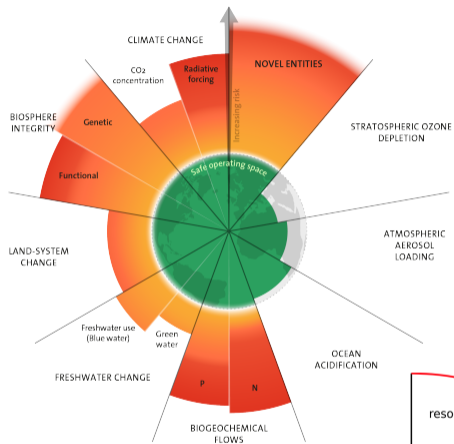


Source : International Energy Agency, "Global trends in internet traffic[...], 2010-2020", 2021



Objets connectés

La Grande Accélération



© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005

Figure 2. The change in the human enterprise from 1750 to 2000 (28). The Great Acceleration is clearly shown in every component of the human enterprise included in the figure. Either the component was not present before 1950 (e.g., foreign direct investment) or its rate of change increased sharply after 1950 (e.g., population).

Au delà du climat et de l'environnement



Exemple: inégalité d'accès au numérique



« Si la hausse du nombre de personnes utilisant Internet dans le monde est encourageante, nous ne pouvons simplement assurer que la forte croissance constatée ces dernières années va se poursuivre ainsi », Doreen Bogdan-Martin, directrice chargée du développement à l'Union Internationale des Telecommunications.

- Que veut dire “Intéressante” ? Pour qui ? Pour faire quoi ?
- Grandes disparités de part de la population connectée
 - Europe, Amériques : 89%
 - Pays Arabes : 70%
 - Asie Pacifique : 64%
 - Afrique : 40%

Effets directs et indirects

Effet rebond (1)

Définition: “Augmentation de consommation liée à la réduction des limites à l’utilisation d’une technologie, ces limites pouvant être monétaires, temporelles, sociales, physiques, liées à l’effort, ...”

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_rebond_\(%C3%A9conomie\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_rebond_(%C3%A9conomie))

$$\text{rebond}(\%) = 1 - \frac{\text{économies réalisées}}{\text{économie prévues}}$$

Effet rebond (2)

Amplitude	Effet	Remarques
< 0%	économies supplémentaires	les économies d'énergie (ou de ressources) réalisées sont encore plus importantes que celles prévues
= 0%	∅	les économies réalisées correspondent à celles prévues par l'amélioration technique
< 100%	rebond partiel	une partie du potentiel d'économie est perdue à cause d'une demande accrue.
= 100%	rebond complet	Le potentiel d'économie est entièrement perdu (eg demande accrue du produit)
> 100%	Paradoxe de Jevons	Potentiel d'économie est "surcompensé"

Paradoxe de Jevons



- William S. Jevons: Économiste du XIX^e siècle
- Observe que “la consommation anglaise de charbon a fortement augmenté après que James Watt a introduit sa machine à vapeur [...] Les innovations de Watt ont fait du charbon une source d'énergie plus rentable, ce qui conduit à généraliser l'utilisation de sa machine à vapeur [et donc] à accroître la consommation totale de charbon ^a.
- Généralisé dans les années 1980 sous le terme de postulat de Khazzoom-Brookes ^b

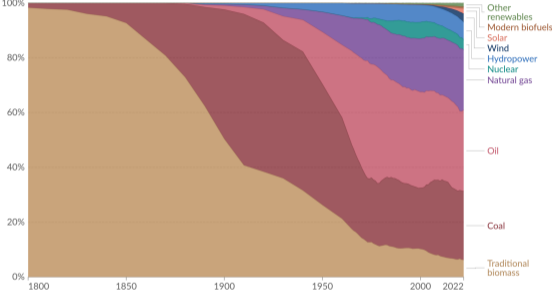
^ahttps://fr.wikipedia.org/wiki/Paradoxe_de_Jevons

^bhttps://fr.wikipedia.org/wiki/Postulat_de_Khazzoom-Brookes

Apparté: Un point sur les énergies utilisées

Global primary energy consumption by source

Primary energy¹ is based on the substitution method² and measured in terawatt-hours³.



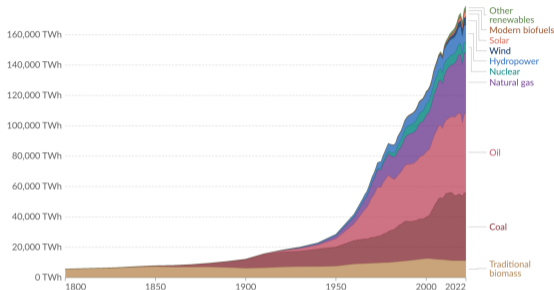
Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2023); Smil (2017)
Note: In the absence of more recent data, traditional biomass is assumed constant since 2015.
OurWorldInData.org/energy | [CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Il n'y a pas de remplacement énergétique

Global primary energy consumption by source

Primary energy¹ is based on the substitution method² and measured in terawatt-hours³.

Our World
in Data



Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2023); Smil (2017)

Note: In the absence of more recent data, traditional biomass is assumed constant since 2015.

OurWorldInData.org/energy/ | CC BY

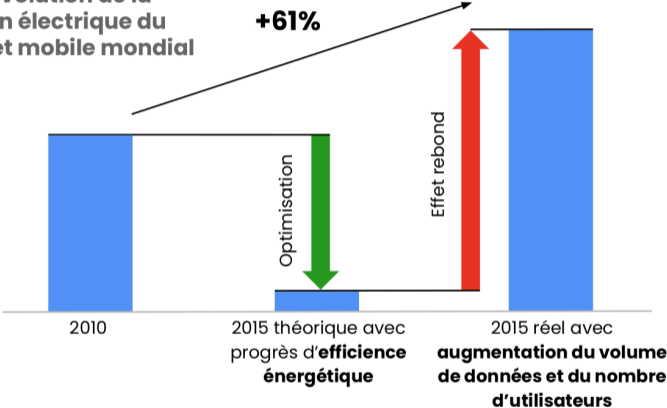
“La transition énergétique n’aura pas lieu”, voir les travaux de l’historien Jean-Baptiste Fressoz⁸.

⁸<https://www.lemonde.fr/idees/article/2024/01/22/>

jean-baptiste-fressoz-le-discours-sur-la-transition-energetique-contribue-a-depolitiser-l-6212243_3232.html

L'effet rebond numérique

Exemple de l'évolution de la consommation électrique du réseau internet mobile mondial



Source données : étude "Moore's Law and ICT Innovation in the Anthropocene", D. Bol, T. Pirson & R. Dekimpe, 2021

Effets directs et indirects

Effets directs

- = empreinte environnementale liée à
 - extraction de ressources, transport, usage, fin de vie
 - Objectif de l'Analyse de Cycle de Vie

Effets indirects

- = effets (positifs ou négatifs) produits par l'usage
- Beaucoup plus durs à mesurer, estimer.

Taxonomie des effets - ex d'un système GPS pour navigation routière

type	périmètre	effet
1er ordre	Direct	impact fabrication
		impact utilisation
		impact fin de vie

- Impact de fabrication d'un système GPS
- Impact d'utilisation d'un système GPS
- Impact de traitement d'un système GPS à la fin de sa vie

Taxonomie des effets - ex d'un système GPS pour navigation routière

type	périmètre	effet
1er ordre	Direct	impact fabrication
		impact utilisation
		impact fin de vie
2ème ordre	Indirect : service unique	optimisation

- Fluidité du trafic accrue grâce au système de navigation

Taxonomie des effets - ex d'un système GPS pour navigation routière

type	périmètre	effet
1er ordre	Direct	impact fabrication
		impact utilisation
		impact fin de vie
2ème ordre	Indirect : service unique	optimisation
		substitution

- Remplacement des cartes papier

Taxonomie des effets - ex d'un système GPS pour navigation routière

type	périmètre	effet
1er ordre	Direct	impact fabrication
		impact utilisation
		impact fin de vie
2ème ordre	Indirect : service unique	optimisation
3ème ordre		substitution
		rebond direct

- Davantage de déplacements à cause d'un coût unitaire de déplacement diminué (trafic plus fluide)

Taxonomie des effets - ex d'un système GPS pour navigation routière

type	périmètre	effet
1er ordre	Direct	impact fabrication
		impact utilisation
		impact fin de vie
2ème ordre	Indirect : service unique	optimisation
substitution		
3ème ordre	Indirect : service complémentaire	rebond direct
rebond indirect		

- Le temps et le coût économisés avec des services plus efficaces sont réinvestis dans des trajets en avion par exemple

Taxonomie des effets - ex d'un système GPS pour navigation routière

type	périmètre	effet
1er ordre	Direct	impact fabrication
		impact utilisation
		impact fin de vie
2ème ordre	Indirect : service unique	optimisation
		substitution
3ème ordre		Indirect : service complémentaire
	Indirect: économie	rebond indirect
		changement structurel

- Le GPS permet le déploiement de véhicules autonomes, ce qui induit une production accrue de ces nouveaux systèmes

Taxonomie des effets - ex d'un système GPS pour navigation routière

type	périmètre	effet
1er ordre	Direct	impact fabrication
		impact utilisation
		impact fin de vie
2ème ordre	Indirect : service unique	optimisation
		substitution
		rebond direct
3ème ordre	Indirect : service complémentaire	rebond indirect
	Indirect: économie	changement structurel
	Indirect: société	transformation systémique

- L'arrivée des véhicules autonomes modifie en profondeur le comportement des individus, qui vont choisir par exemple d'habiter plus loin de leur lieu de travail, accentuant ainsi l'étalement urbain, la déprise agricole, les besoins logistique "du dernier kilomètre".

Pour aller plus loin ...

- lire: <https://learninglab.gitlabpages.inria.fr/mooc-impacts-num/mooc-impacts-num-ressources/Partie2/FichesConcept/FC2.4.2-EffetsRebonds-MoocImpactNum.html>
- lire: <https://theconversation.com/linquietante-trajectoire-de-la-consommation-energetique-du-numerique-13>
- visionner l'exposé de David Bol:
<https://www.lip6.fr/colloquium/?guest=Bol>

Et pendant ce temps

Utilisation de l'iPad pendant un cours de 1h30 (en minutes)

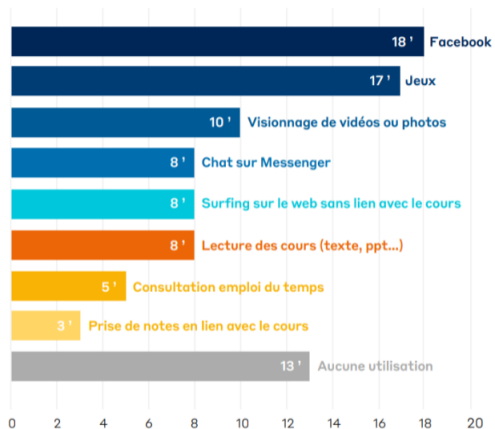


Figure 26 - Utilisation de l'iPad pendant un cours de 1h30
Source : (Rodhain, F., 2019)

9

⁹Rodhain, F. (2019). La nouvelle religion du numérique. Le numérique est-il écologique ? . Editions EMS et Libre & Solidaire, Paris, 2019, 130 p. .