



Processus sociotechnique européen de constitution de savoirs relatifs aux impacts environnementaux du numérique

Conférence VerIT, le 6 mars 2024, Grenoble

Bastien Béchadergue

Université de Versailles Saint-Quentin

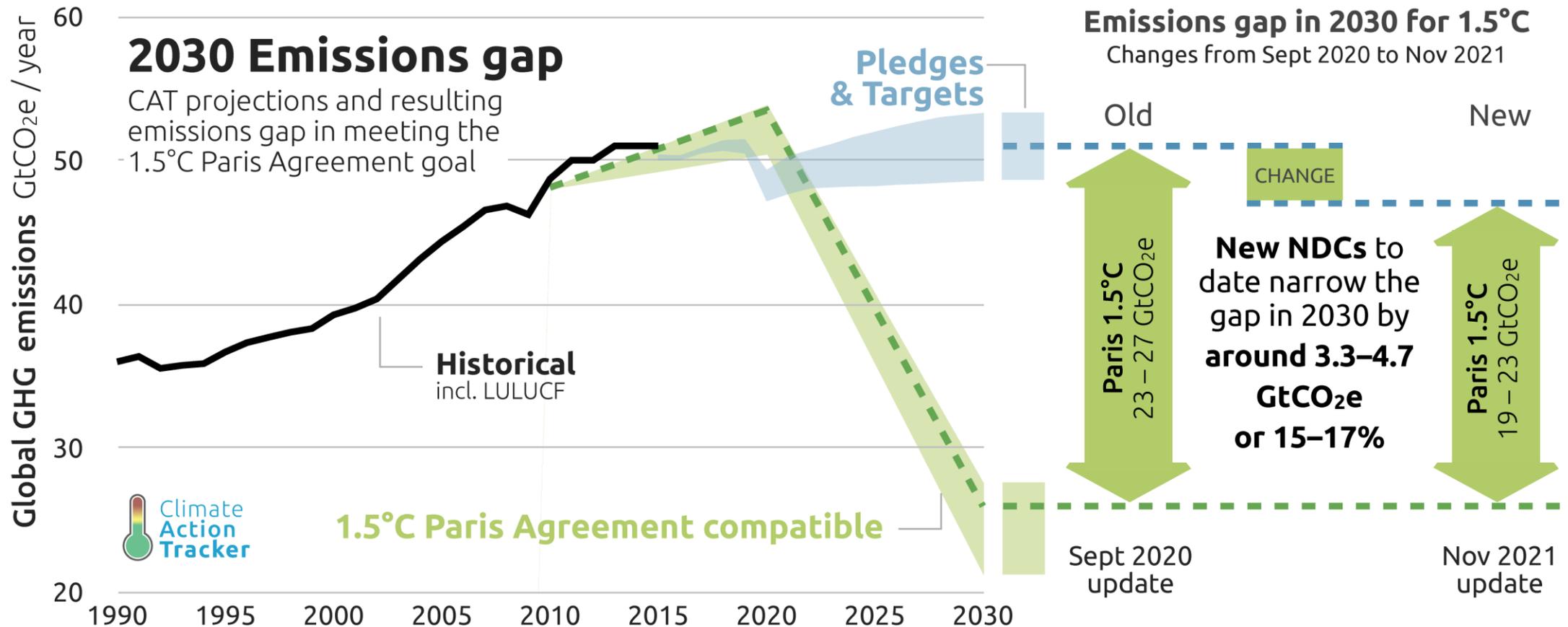
IUT de Vélizy / Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes de Versailles

bastien.bechadergue@uvsq.fr

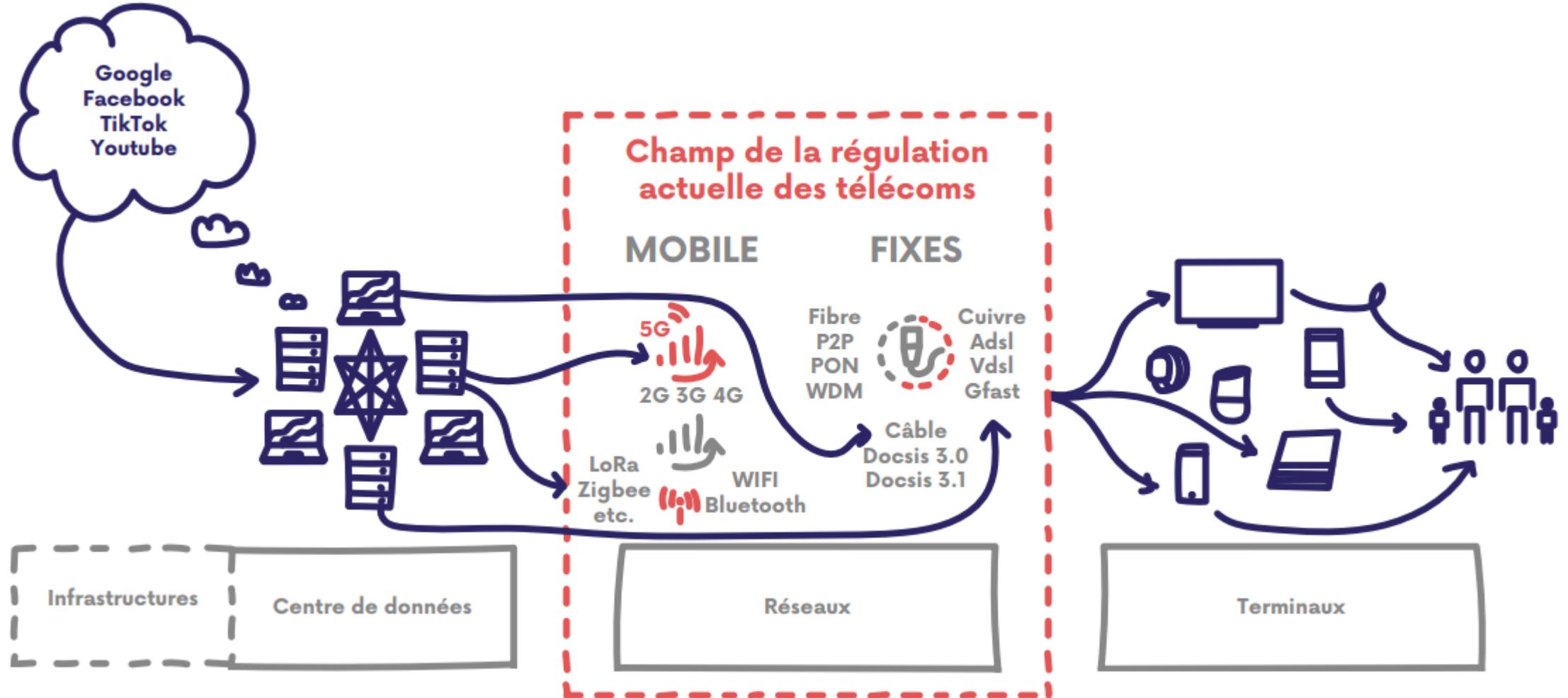
1. Pourquoi parle-t-on des impacts du numérique ?
2. Comment ont été produits les savoirs sur ce sujet ?
3. Conclusions

1. Pourquoi parle-t-on des impacts du numérique ?
2. Comment ont été produits les savoirs sur ce sujet ?
3. Conclusions

Accord de Paris et crise climatique



Comment est défini le « numérique » ?



Impacts du numérique : un sujet très discuté...

Autres arènes	Acteurs politiques					Février : (Pompili & O, 2021)
	Acteurs activistes	Mars : (Bordage & Fournier, 2017)	Mars : (Demailly <i>et al.</i> , 2018) Mai : (Bordage & Chaussat, 2018) Octobre : (The Shift Project, 2018) (Trudu <i>et al.</i> , 2018)	Avril : (Bordage, 2019a) Juillet : (The Shift Project, 2019) Septembre : (Bordage, 2019a) Octobre : (Bordage, 2019b)	Janvier : (The Shift Project, 2020a) Juin : (The Shift Project, 2020b) (Bordage <i>et al.</i> , 2020) Octobre : (The Shift Project, 2020c)	Janvier : (Bordage <i>et al.</i> , 2021) Mars : (The Shift Project, 2021)
	Acteurs scientifiques	Juillet : (Berthoud, 2017 ; Flipo, 2017) Novembre : (Feltin <i>et al.</i> , 2017)	Janvier : (Pitron, 2018)	Avril : (Marquet <i>et al.</i> , 2019) Décembre : (Montbroussous <i>et al.</i> , 2019)	Avril : (Berthoud <i>et al.</i> , 2020) Juillet : (Roussilhe, 2020a) Septembre : (Boulet <i>et al.</i> , 2020) (Roussilhe, 2020b) Novembre : (Flipo, 2020)	Mars : (Roussilhe, 2021) (Ficher <i>et al.</i> , 2021)
	Acteurs experts		Septembre : (Lhotellier <i>et al.</i> , 2018)	Octobre : (ARCEP, 2019) Novembre : (CREDOC, 2019) Décembre : (Campana <i>et al.</i> , 2019)	Juin : (de Brux <i>et al.</i> , 2020a) (Dedryver., 2020a) Juillet : (CNUM, 2020) Octobre : (Dedryver, 2020b ; CCC, 2020) Décembre : (de Brux <i>et al.</i> , 2020b) (ARCEP, 2020)	Janvier : (ADEME, 2021) Février : (Bon-Maury <i>et al.</i> , 2021) (Castellazi <i>et al.</i> , 2021)
	Acteurs économiques	Janvier : (Loto, 2017) Février : (Vateau <i>et al.</i> , 2017) Juillet : (Alliance Green IT <i>et al.</i> , 2017)			Février : (Ericsson, 2020) Septembre : (Espelia & greenIT.fr, 2020) Décembre : (Arthur D. Little, 2020)	Mai : (OMDIA, 2021)
Arène régulation			27 septembre 2019 Adoption PL AGECE au Sénat (1 ^{ère} lecture) 19 décembre 2019 Adoption PL AGECE à l'AN (1 ^{ère} lecture)	11 février 2020 Promulgation Loi AGECE	12 janvier 2021 Adoption PPL REN au Sénat (1 ^{ère} lecture)	10 juin 2021 Adoption PPL REN à l'AN (1 ^{ère} lecture)
	2017	2018	2019	2020	2021	2022

...et même réglementé !

7

N° 23
SÉNAT

SESSION ORDINAIRE DE 2021-2022

2 novembre 2021

N° 54

SÉNAT

SESSION ORDINAIRE DE 2019-2020

30 janvier 2020

PROJET DE LOI

relatif à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire

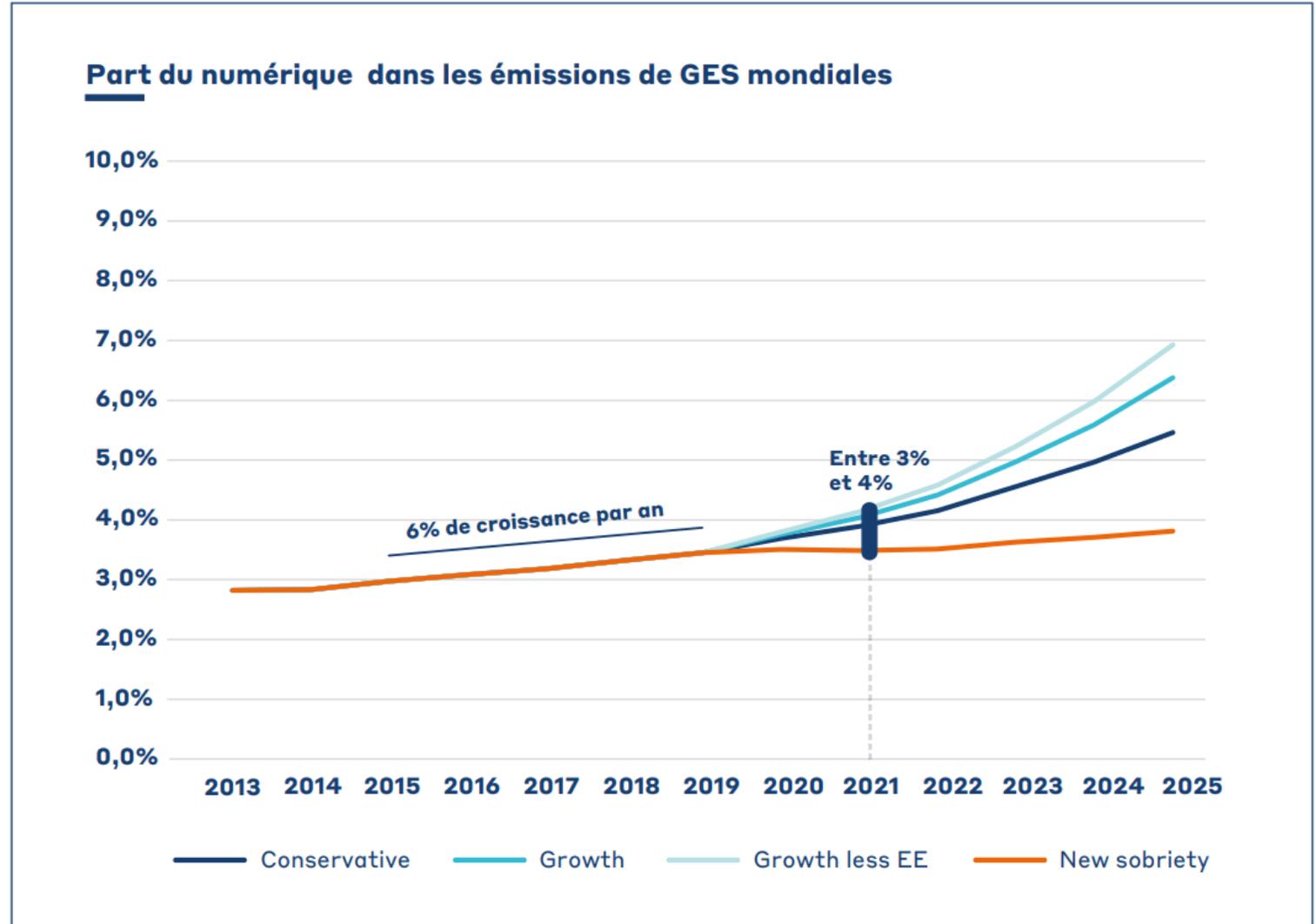
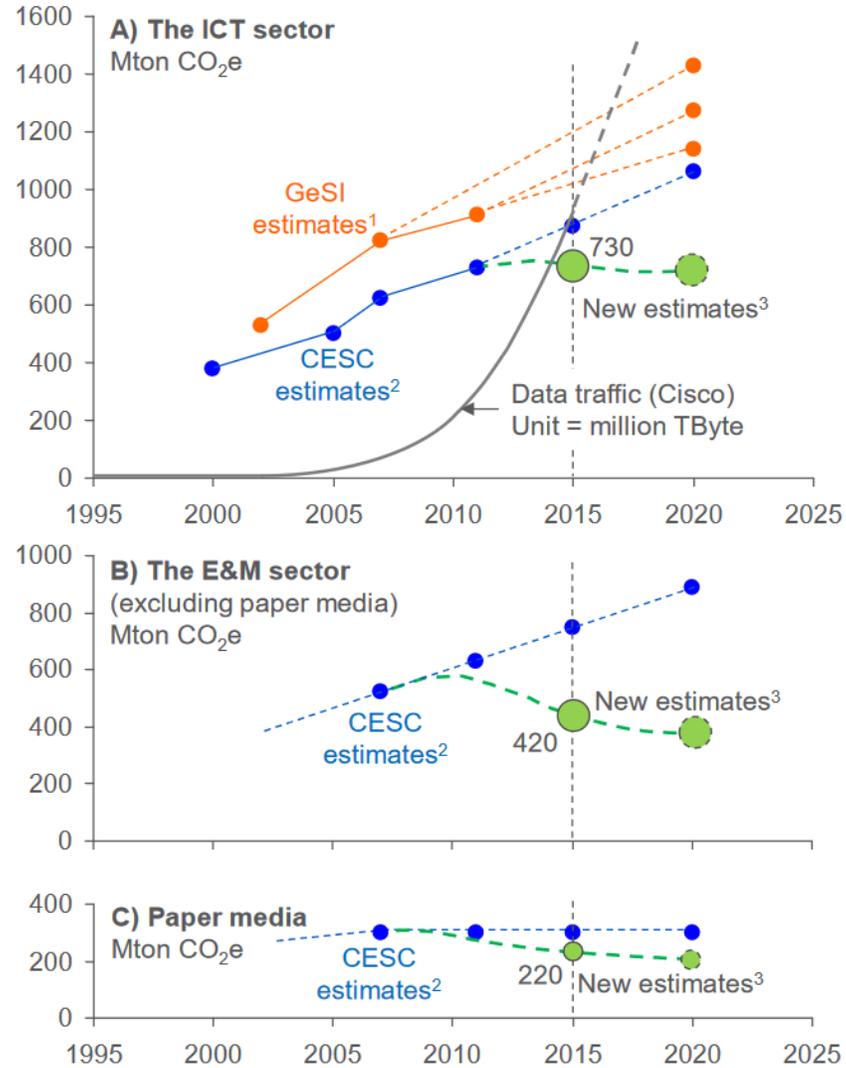
(Texte définitif)

PROPOSITION DE LOI

visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique en France

(Texte définitif)

Quelles émissions de GES imputables au numérique ?



1. Pourquoi parle-t-on des impacts du numérique ?
- 2. Comment ont été produits les savoirs sur ce sujet ?**
 1. Un contexte politique très favorable au numérique
 2. Années 2000 : premières classifications et estimations
 3. Années 2010 : une recherche soutenue
 4. Controverses et normalisation
3. Conclusions

1. Pourquoi parle-t-on des impacts du numérique ?
- 2. Comment ont été produits les savoirs sur ce sujet ?**
 1. Un contexte politique très favorable au numérique
 2. Années 2000 : premières classifications et estimations
 3. Années 2010 : une recherche soutenue
 4. Controverses et normalisation
3. Conclusions

- Au tournant des années 2000, **euphorie** politique et financière **pour le numérique**, vu comme **LA solution** pour relancer la **croissance économique** et la **productivité**.
- Les **institutions européennes** lancent en juin 2000 la **Stratégie de Lisbonne**.
- Objectif : Faire de l'Europe « *l'économie de la connaissance la plus compétitive et la plus dynamique du monde* ».
- Comment :
 - Education au numérique dès le plus jeune âge,
 - Déploiement des infrastructures pour un Internet massif et bas coût,
 - Investissement dans les PME technologiques, les transports intelligents, la dématérialisation...

- A partir de 2002, la notion de **développement durable** est ajoutée à la Stratégie de Lisbonne et définie comme devant :
 - « *faire aller de pair la croissance économique, la cohésion sociale et la protection de l'environnement* »
 - « *rompre les liens entre croissance économique, utilisation des ressources naturelles et production de déchets.* »
- Conséquence : Il n'est pas question de remettre en cause la croissance économique, mais plutôt de la **découpler** des dégradations environnementales.

- **Comment découpler** économie et environnement ? Par l'optimisation de l'**éco-efficacité**.
 - Optimiser l'éco-efficacité = Réduire l'intensité en ressources, la pollution et autres impacts environnementaux **par unité de valeur économique** (e.g. efficacité énergétique d'un réseau d'accès mobile en kWh/Go).
-
- Comment optimiser l'éco-efficacité ? En ayant recours à des **solutions numériques** !
 - Conclusion : Dès les années 1990/2000, le **numérique** est vu par les dirigeants politiques et économiques comme une **solution aux problèmes économiques et environnementaux**.
 - Conséquence : **Soutien financier massif** des institutions européennes aux **projets de R&D** en faveur du **développement du numérique**.

1. Pourquoi parle-t-on des impacts du numérique ?
- 2. Comment ont été produits les savoirs sur ce sujet ?**
 1. Un contexte politique très favorable au numérique
 2. Années 2000 : premières classifications et estimations
 3. Années 2010 : une recherche soutenue
 4. Controverses et normalisation
3. Conclusions

Quid des impacts environnementaux du numérique ?

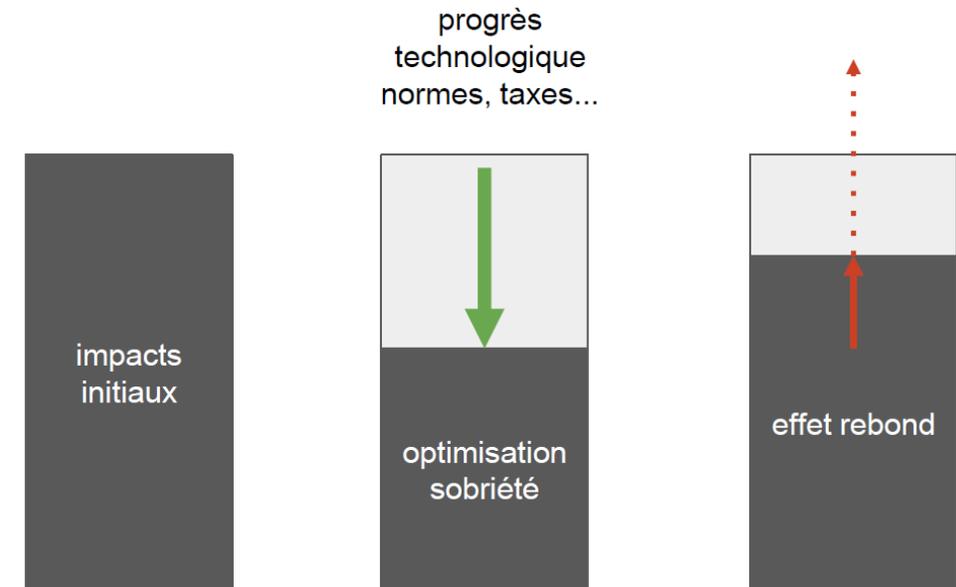
- Fin des années 1990, **premiers travaux de recherche** dédiés aux impacts de **sous-ensembles du numérique**.
- Travaux globalement **mesurés** quant à l'intérêt du **numérique pour lutter** contre les problèmes environnementaux :
 - « *Le progrès technique vers la dématérialisation et l'éco-efficacité est nécessaire, mais pas une condition suffisante pour s'approcher des objectifs de la durabilité* » qui « *pourra seulement être atteinte en changeant les modes de vie* » (Hilty & Ruddy, 2000).
- Mais **peu d'éléments de quantification concrets** à cette époque.
- Néanmoins, premières propositions de **méthodologies de quantification** et de **taxonomies** des impacts.

Taxonomie des impacts environnementaux du numérique

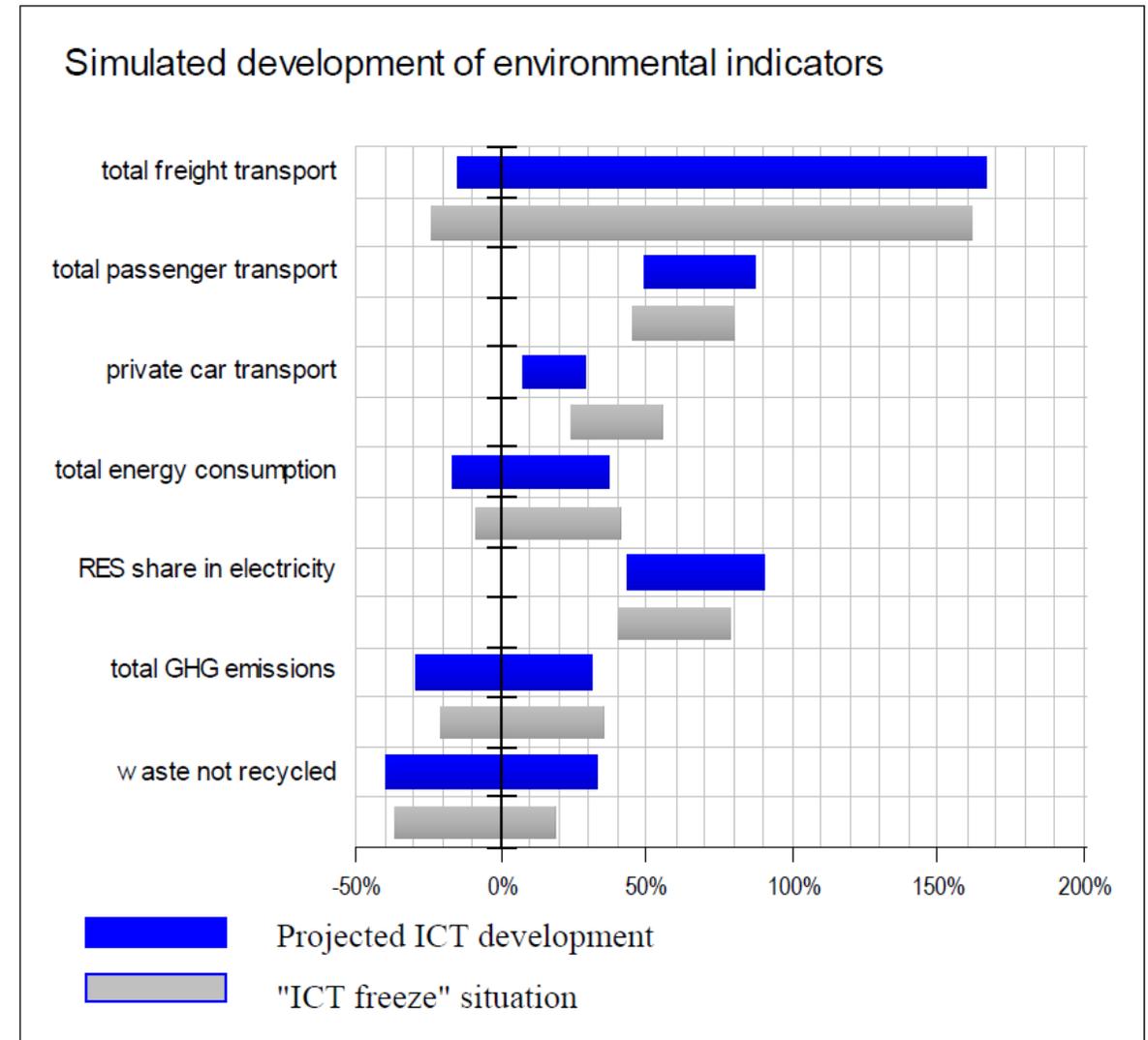
type	périmètre	effet		exemples
1^{er} ordre direct	technologies elles-mêmes	impacts du cycle de vie		énergie grise / consommation électrique d'un ordinateur
2^{ème} ordre indirect	applications	optimisation	substitution	<i>smart-*</i> / dématérialisation
		obsolescence	induction	bureautique / imprimante → ↗ papier
3^{ème} ordre structurel	sous-partie de l'économie	rebond direct		<i>km</i> covoiturés sont moins chers ↗ <i>km</i>
		rebond indirect		covoiturage → économies → ↗ <i>km</i> avion
	économie	croissance économique		↘ générale des coûts / création économ.
		accélération		mondialisation des échanges / financiarisation de l'économie
	société	transformation sociétale		télétravail → éloignement du logement

Effet de levier *versus* effet rebond

- **Effet de levier** → Potentiel de recours au numérique pour la réduction des impacts environnementaux d'autres secteurs.
 - Exemple : Les visio-conférences permettent d'éviter des déplacements physiques.
-
- **Effet rebond** → « *effets globaux du progrès technique, organisationnel et social, qui augmentent l'efficacité de l'économie et permettent une plus grande consommation.* » (Schneider *et al.*, 2001).
 - Exemple : Les visio-conférences facilitent la mise en relation, ce qui multiplie *in fine* les besoins de déplacements physiques.



- Erdmann *et al.* (2004) : Première tentative de quantification de divers impacts environnementaux du numérique en incluant effets directs, rebonds et de levier.
- Insistent sur l'usage de **données pertinentes** et la **transparence méthodologique**.
- Mais proposent des **résultats difficile à interpréter** et à transposer en politiques publiques.



- Coalition entre le WWF et l'ETNO pour proposer une estimation des impacts du numérique plus opérationnelle.
- Conséquence : **Cadrage** largement et « opportunément » **restreint** :
 - Estimation de la **consommation énergétique** et des **émissions de GES** seulement.
 - Limitation aux **impacts directs** et à l'**effet de levier** → effet rebond oublié.
- Ce cadrage sera par la suite **régulièrement repris** par les industriels (**GeSI, GSMA** notamment) pour appuyer le **message politique** des **bénéfices** apportés par le **numérique** dans la **lutte contre le réchauffement climatique** :
 - Rapport *SMART 2020* (GeSI, 2008) : Economie de 7,8 Gt CO₂-eq à horizon 2020 → Non vérifié !
 - Rapport *SMARTer 2020* (GeSI, 2012) : Economie de 9,1 Gt CO₂-eq à horizon 2020 → Non vérifié !
 - Rapport *#SMARTer 2030* (GeSI, 2015) : Economie de 12 Gt CO₂-eq à horizon 2030 !

- D'après des sources ayant travaillé sur *#SMARTer 2030*, **travaux très largement orientés** :

« Dès le départ, tout le monde savait que les conclusions du rapport seraient positives. Le business, c'est le business ! Tout cela, c'est d'abord du marketing, un « marketing vert » dont l'objectif est de toujours mettre en avant des chiffres positifs ».

« Il serait très dangereux que les rapports du GeSI soient utilisés à des fins de politique publique ! »

- Difficile de connaître l'influence des rapports de la GeSI sur le débat public.
- Mais **rapports très souvent repris** et même **utilisés comme cadre de référence** de travaux de recherche (périmètre etc.).
- En réaction, publication de nombreux **travaux académiques et industriels** (Ericsson et Huawei notamment) se présentant comme **plus sérieux**.

1. Pourquoi parle-t-on des impacts du numérique ?
- 2. Comment ont été produits les savoirs sur ce sujet ?**
 1. Un contexte politique très favorable au numérique
 2. Années 2000 : premières classifications et estimations
 3. Années 2010 : une recherche soutenue
 4. Controverses et normalisation
3. Conclusions

Les méthodologies *bottom-up* et *top-down*

Méthodologie *bottom-up*

Calculs des impacts de chaque équipement numérique E_i



Estimation du parc d'équipement N_i



Emissions globales = $\sum_i E_i N_i$

Avantage : Plus précis

Inconvénient : Difficile à utiliser

Méthodologie *top-down*

Choix d'une variable dimensionnante V
(e.g. quantité de données)



Choix de facteurs de conversion α
(e.g. $\text{gCO}_2_{\text{eq}}/\text{kWh}$ et kWh/Go)



Emissions globales = αV

Avantage : Facile à utiliser

Inconvénient : Peu précis

Comment faire une ACV ? L'exemple d'un smartphone.

• Etape 1 – Délimitation du périmètre de l'étude

- Produit analysé : Un smartphone avec ses accessoires et sa boîte de transport
- Unité fonctionnelle : « *Utilisation à vie (3 ans) du smartphone et de ses accessoires pour un scénario d'utilisation représentatif.* »
- Frontières du système : Extraction, production, transport, usage, fin de vie.
- Indicateurs d'impact : Potentiel de réchauffement global (*GIEC-100 ans*), consommation d'eau douce (*Swiss Ecoscarcity*) etc.
- Coupures : « *L'impact des matériaux au-delà des quelques 30 matériaux les plus contributifs selon l'expérience antérieure des auteurs n'a pas été pris en compte.* »

• Etape 2 – Inventaire du cycle de vie

- Liste des divers flux de matières et d'énergie nécessaires à la fabrication des différents composants du produit.
- Utilisation de données fournies directement par les producteurs ou par des bases de données tierces.

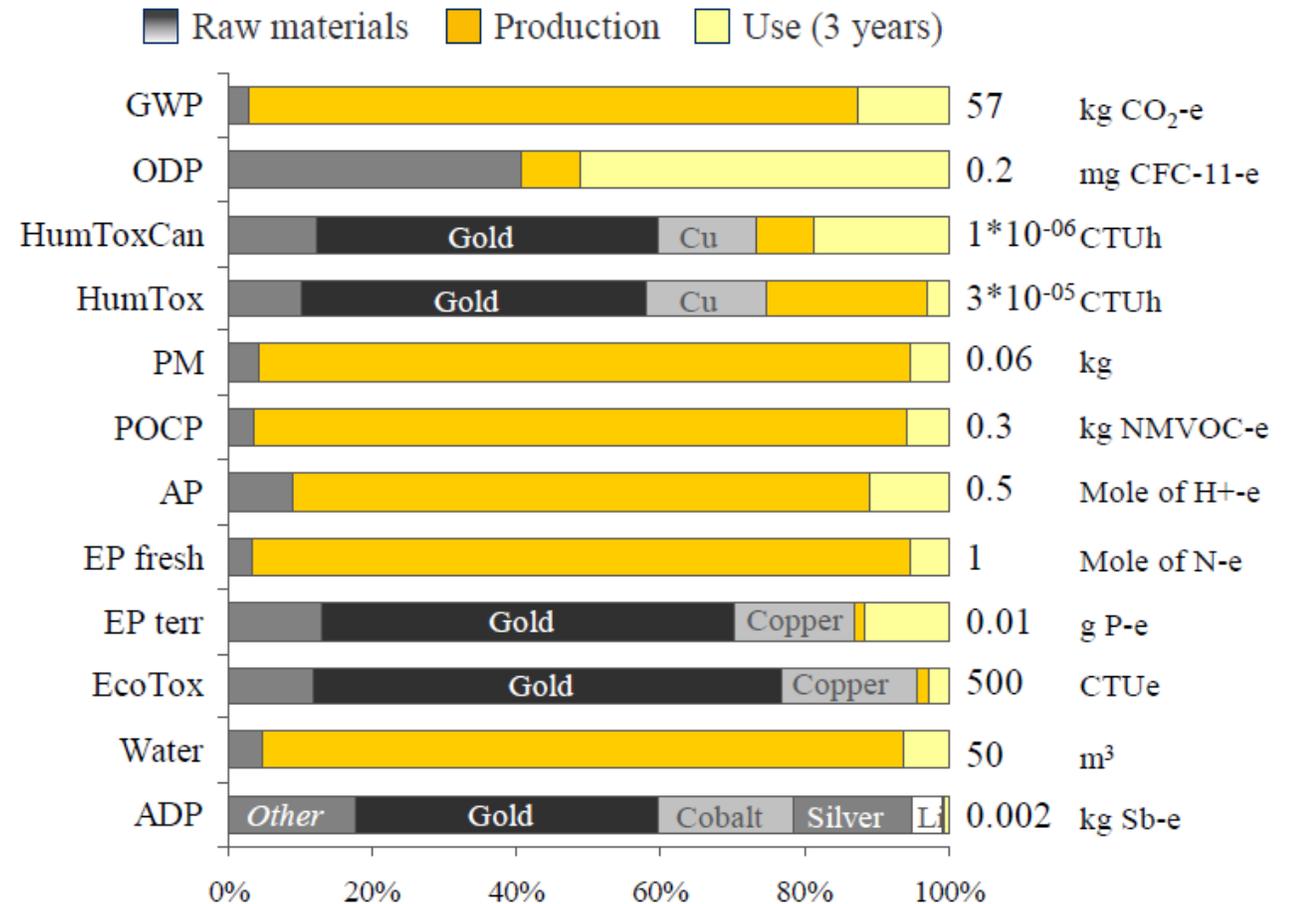
Résultats d'une ACV

- Etape 3 – Evaluation de l'impact du cycle de vie
→ Conversion des flux en impacts à l'aide des indicateurs d'impacts retenus.

- Etape 4 – Interprétation des résultats

Conclusions :

- Les résultats d'une ACV dépendent fortement des hypothèses retenues par l'ACViste.
- Ils reposent sur des référentiels, eux-mêmes fruits de débats et controverses.
- Ils ne peuvent donc par construction pas être objectifs.

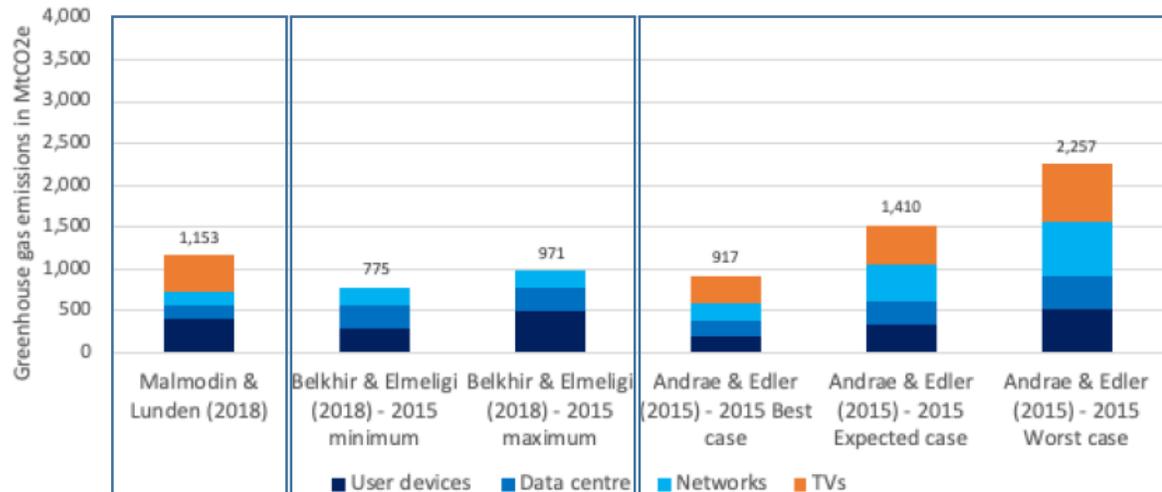


- La réalisation de l'ACV d'un produit/service repose sur une **collecte minutieuse de données** et sur la bonne compréhension de sa constitution/de son fonctionnement.
- Or, **accès** aux données très **difficile** sans **liens directs avec le concepteur** du produit/service analysé.
- **Compréhension** du produit/service analysée aussi **difficile sans liens** avec son concepteur.
- Conséquences :
 - Les **industriels** possèdent un **double monopole données/expertise** vital pour la bonne réalisation d'une ACV.
 - De nombreux **ACVistes** ont des **liens étroits** avec l'**industrie** du numérique.
 - Exemples : **Jens Malmodin** (Ericsson) et **Anders Andrae** (Huawei).

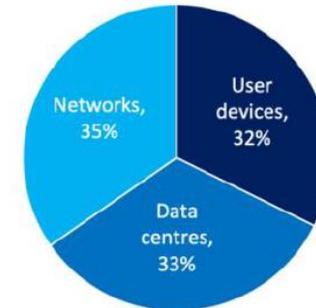
1. Pourquoi parle-t-on des impacts du numérique ?
- 2. Comment ont été produits les savoirs sur ce sujet ?**
 1. Un contexte politique très favorable au numérique
 2. Années 2000 : premières classifications et estimations
 3. Années 2010 : une recherche soutenue
 4. Controverses et normalisation
3. Conclusions

Un sujet de controverses

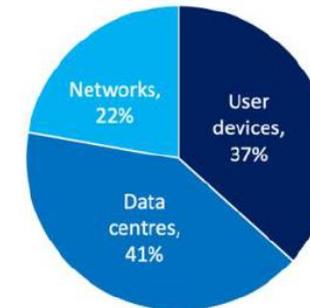
Global ICT's Carbon Footprint in 2015



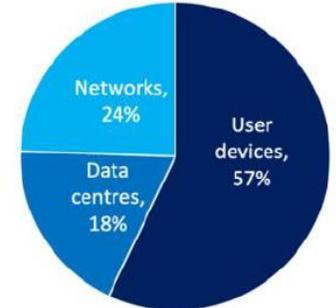
Andrae & Edler (2015) - 2020 Best case (Total of 623 MtCO2e)



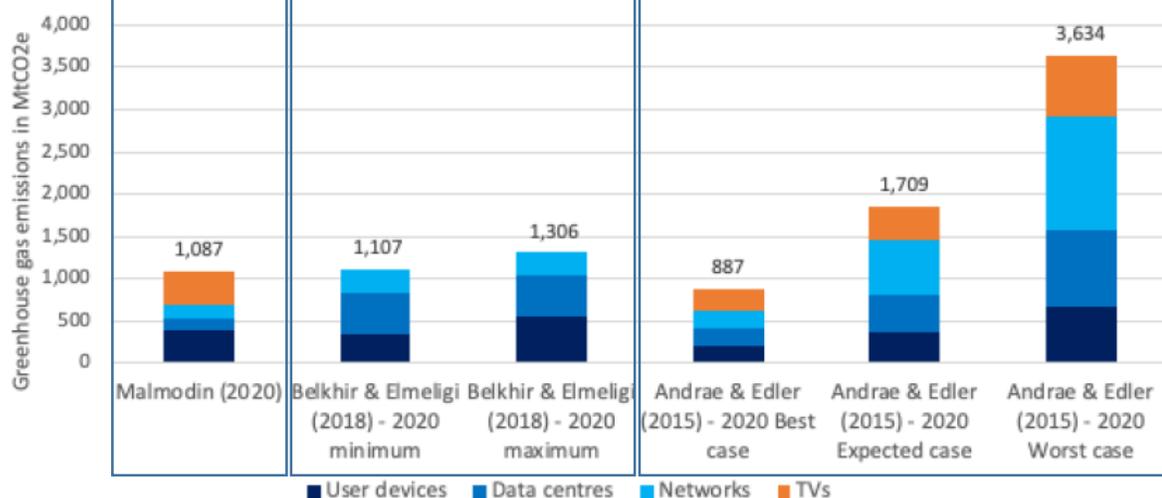
Belkhir & Elmeligi (2018) - 2020 Average (Total of 1,207 MtCO2e)



Malmodin (2020) - 2020 estimate (Total of 690 MtCO2e)



Global ICT's Carbon Footprint in 2020



- Trois principales études de références :
 - Malmodin → Emissions en décroissance, principalement dues au terminaux
 - Andrae & Belkhir → Emissions en hausse (mais valeurs différentes), principalement dues aux réseaux et centres de données.
- Implications en termes de régulations différentes selon l'étude retenue !

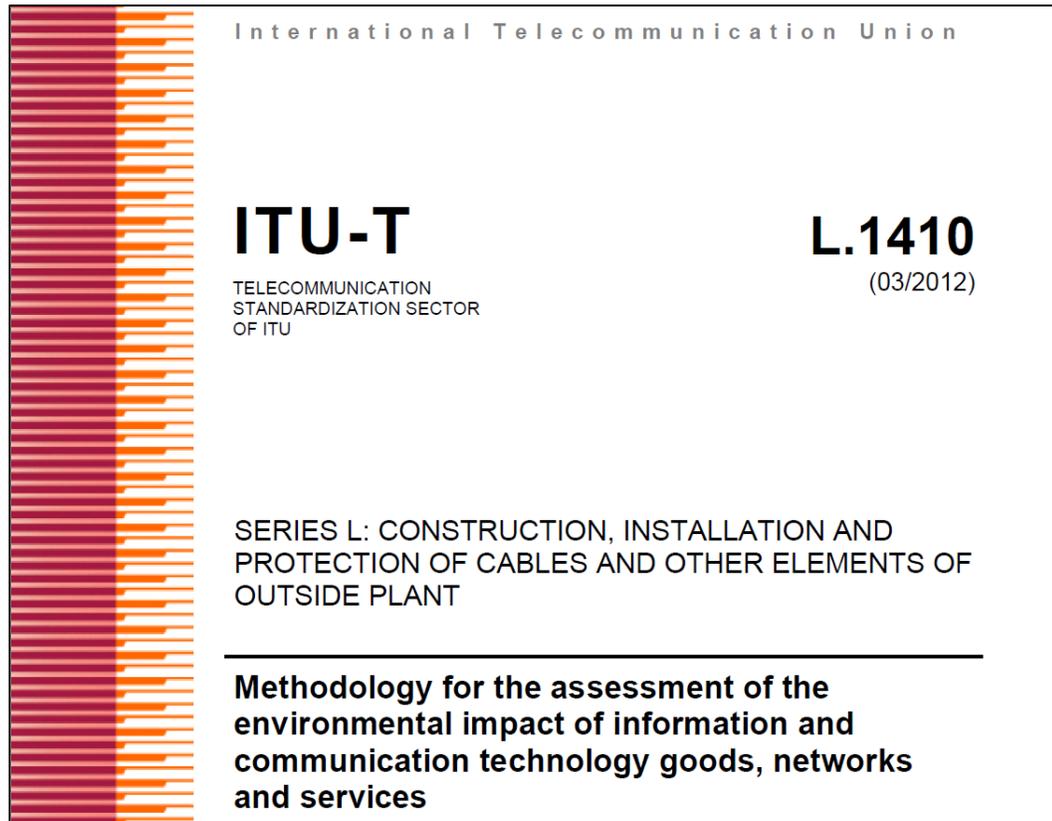
Les raisons de la discorde

	Andrae et Edler (2015)	Belkhir et Elmeligi (2018)
Andrae et Edler (2015)		
Belkhir et Elmeligi (2018)	<ul style="list-style-type: none"> - Utilise des données de durée de vie non étayées. - Sous-estime l'amélioration de l'intensité électrique des réseaux d'accès fixes. - N'utilise pas un point de départ de référence commun à tous les scénarios pour 2010. - Sur-estime probablement le total des émissions mondiales de CO2-eq et la consommation mondiale totale d'électricité. 	
Malmodin et Lundén (2018)	<ul style="list-style-type: none"> - Données limitées, incertaines, souvent datées. - Modélisation incomplète qui ne capture pas la complexité du secteur. - Faible degré de transparence. - Croissance de la consommation des data centers qui suit celle du trafic. - Pas de référence aux standards ITU/ETSI (indirect) - Mauvaise prise en compte de l'évolution de l'efficacité énergétique (indirect) 	<ul style="list-style-type: none"> - Données limitées, incertaines, souvent datées - Modélisation incomplète qui ne capture pas la complexité du secteur - Faible degré de transparence - Croissance de la consommation des data centers qui suit celle du trafic - Pas de référence aux standards ITU/ETSI (indirect) - Mauvaise prise en compte de l'évolution de l'efficacité énergétique (indirect)

- **Modèle Andrae (et Belkhir) :**
 - Modèle *top-down* où variable dimensionnante = **trafic**.
 - Modèle **simple** et **ouvert** (cf. Shift Project) contrairement à celui de Malmodin.
 - Mais modèle peu précis d'après Malmodin.
- **Modèle Malmodin :**
 - Modèle *bottom-up* à base d'ACV principalement réalisée par **Ericsson**.
 - Modèle **précis** d'après Malmodin...
 - ...mais **fermé** car nécessite **données confidentielles** d'après Andrae.

La normalisation pour lever les controverses...

- Comment surmonter les controverses ? En trouvant un **terrain d'entente méthodologique**.
- Le **consensus** peut être créé en **standardisant les pratiques** → Travaux de l'UIT depuis les années 2010.

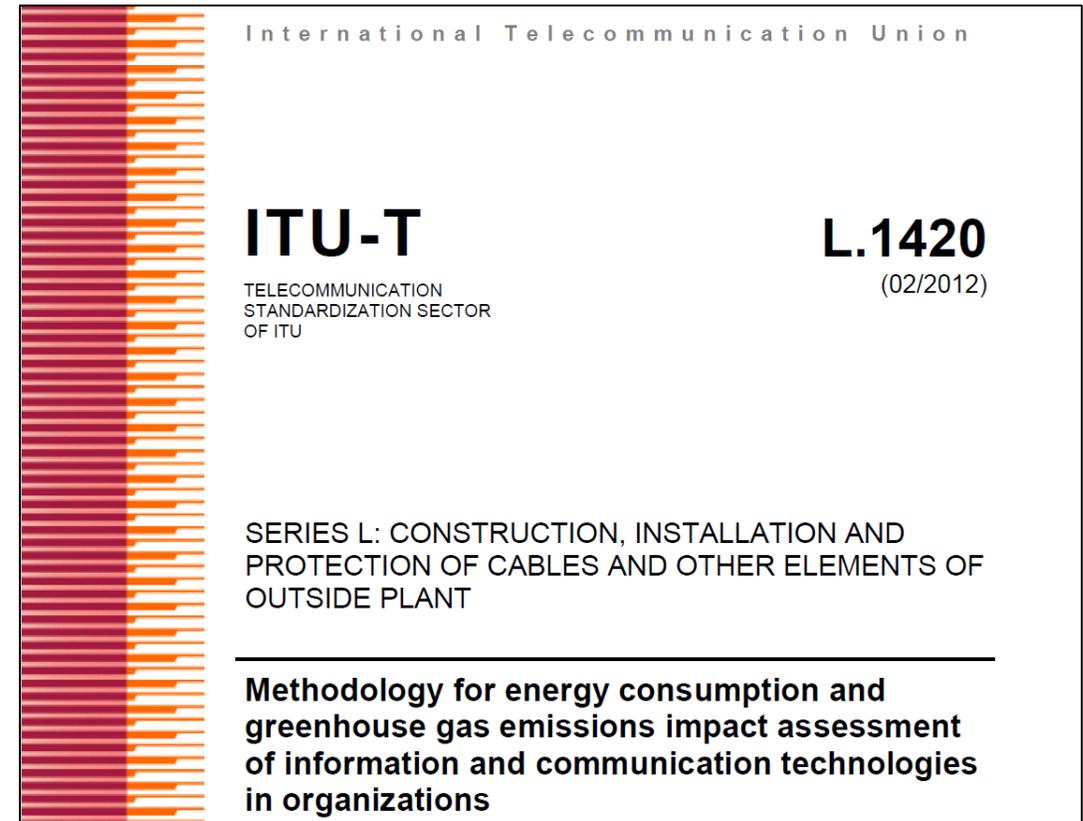


International Telecommunication Union

ITU-T **L.1410**
TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU (03/2012)

SERIES L: CONSTRUCTION, INSTALLATION AND PROTECTION OF CABLES AND OTHER ELEMENTS OF OUTSIDE PLANT

Methodology for the assessment of the environmental impact of information and communication technology goods, networks and services



International Telecommunication Union

ITU-T **L.1420**
TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU (02/2012)

SERIES L: CONSTRUCTION, INSTALLATION AND PROTECTION OF CABLES AND OTHER ELEMENTS OF OUTSIDE PLANT

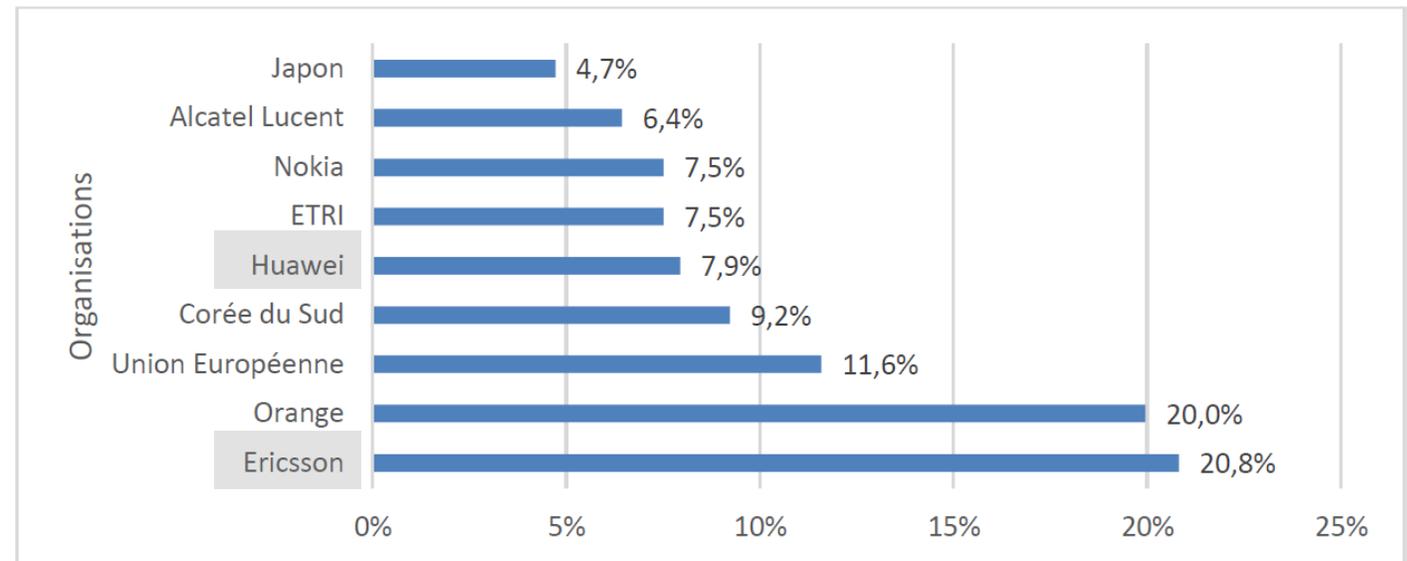
Methodology for energy consumption and greenhouse gas emissions impact assessment of information and communication technologies in organizations

...mais aussi pour les verrouiller ?

- Comment **contribuer** au travaux de normalisation de l'UIT ?
 - Etre **membre** de l'UIT → > 10 000€/an.
 - Participer aux **réunions trimestrielles**, souvent dans différentes villes du monde.
 - Allouer des **ressources humaines** pour produire des contributions ou à minima suivre les travaux.
 - Forte **inertie** dans la modification des standard → difficile de pousser des méthodes nouvelles.
- Conclusion : Ticket d'entrée très élevé → Travaux réservés à des organisations qui ont les moyens !

• Quel **intérêt** ensuite ?

- Permet de se construire une **position et une image d'experts**, et de se poser en **garants des bonnes pratiques...**
- ...tout en poussant pour l'adoption de méthodes fournissant un **avantage compétitif**.
- Exemple : Malmodin reproche à Andrae de ne pas utiliser les standards UIT auxquels il a largement contribué.



1. Pourquoi parle-t-on des impacts du numérique ?
2. Comment ont été produits les savoirs sur ce sujet ?
- 3. Conclusions**

- Un sujet de production de savoirs en plein boom depuis cinq ans.
- Des tendances préoccupantes, sujettes à des **effets rebonds** potentiellement **importants** mais **difficiles à estimer**.
- Incertitudes également concernant l'**effet de levier**.
- De ces **incertitudes** découlent différents **partis-pris politiques** importants :
 - Favoriser l'**innovation technologique** et numérique pour continuer à **optimiser l'eco-efficacité**
→ Solution privilégiée par les **dirigeants économiques** et **politiques** (e.g. amélioration de l'efficacité énergétique, récupération d'énergie etc.).
 - Prôner la **sobriété numérique** et donc une forme de décroissance
→ Solution plutôt privilégiée par des *think tank*, ONG, chercheur.euse.s...

- Comme toute **question scientifique**, la quantification des **impacts du numérique** est sujette à de nombreuses **discussions** et **controvertes**...
- ...certaines semblent **légitimes** (*cf.* Malmodin vs Andrae), d'autres **plus orientées** (*cf.* GeSI).
- Conséquences : **Savoirs fragiles**, pris dans divers mouvements de **production d'ignorance**, délibérés ou non.
 - **Contexte** très favorable au numérique ne favorise sans doute pas la **distance critique**.
 - **Focalisation émissions GES** → Autres impacts moins connus et documentés.
 - **Focalisation impacts directs** et **effet de levier** → L'**effet rebond** commence tout juste à être quantifié !
 - Tentative de **verrouillage** de la production de **savoirs légitimes** par la **normalisation** → Limite les **acteurs** susceptibles de produire des **savoirs reconnus** aux seuls **industriels**.



Merci pour votre attention

bastien.bechadergue@uvsq.fr

- Andrae, A. S. G., & Edler, T. (2015). On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030. *Challenges*, 6(1), 117-157.
- ARCEP (2020). *Pour un numérique soutenable*.
- Belkhir, L., & Elmeligi, A. (2018). Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. *Journal of Cleaner Production*, 177, 448-463.
- EcoInfo. (2021). *Mesurer et réduire les impacts du numérique*. En ligne : <https://ecoinfo.cnrs.fr/wp-content/uploads/2021/06/Formation-IRD-Mesurer-et-reduire-les-impacts-du-numerique.pdf>
- Ercan, M., Malmmodin, J., Bergmark, P., Kimfalk, E., & Nilsson, E. (2016). *Life Cycle Assessment of a Smartphone*. 124-133.
- Erdmann, L., Hilty, L. M., Goodman, J., & Arnfalk, P. (2004). *The Future Impact of ICTs on Environmental Sustainability*. Institute for Prospective Technological Studies.
- Freidberg, S. (2015). It's Complicated: Corporate Sustainability and the Uneasiness of Life Cycle Assessment. *Science as Culture*, 24(2), 157-182.
- Freitag, C., Berners-Lee, M., Widdicks, K., Knowles, B., Blair, G., & Friday, A. (2021). *The climate impact of ICT: A review of estimates, trends and regulations*.
- Malmmodin, J., & Lundén, D. (2018). The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015. *Sustainability*, 10(9), 3027.
- Pitron, G. (2021). *L'enfer numérique: Voyage au bout d'un Like*. Les Liens qui Libèrent.
- The Shift Project. (2021). *Impact environnemental du numérique : Tendances à 5 ans et gouvernance de la 5G*.