LISV Laboratoire d'ingénierie des systèmes de Versailles | UVSQ université PARIS-SACLAY

A la recherche de l'empreinte perdue.

Enquête sur le processus sociotechnique européen de constitution de savoirs relatifs aux impacts environnementaux du numérique.

Bastien Béchadergue

Université de Versailles Saint-Quentin

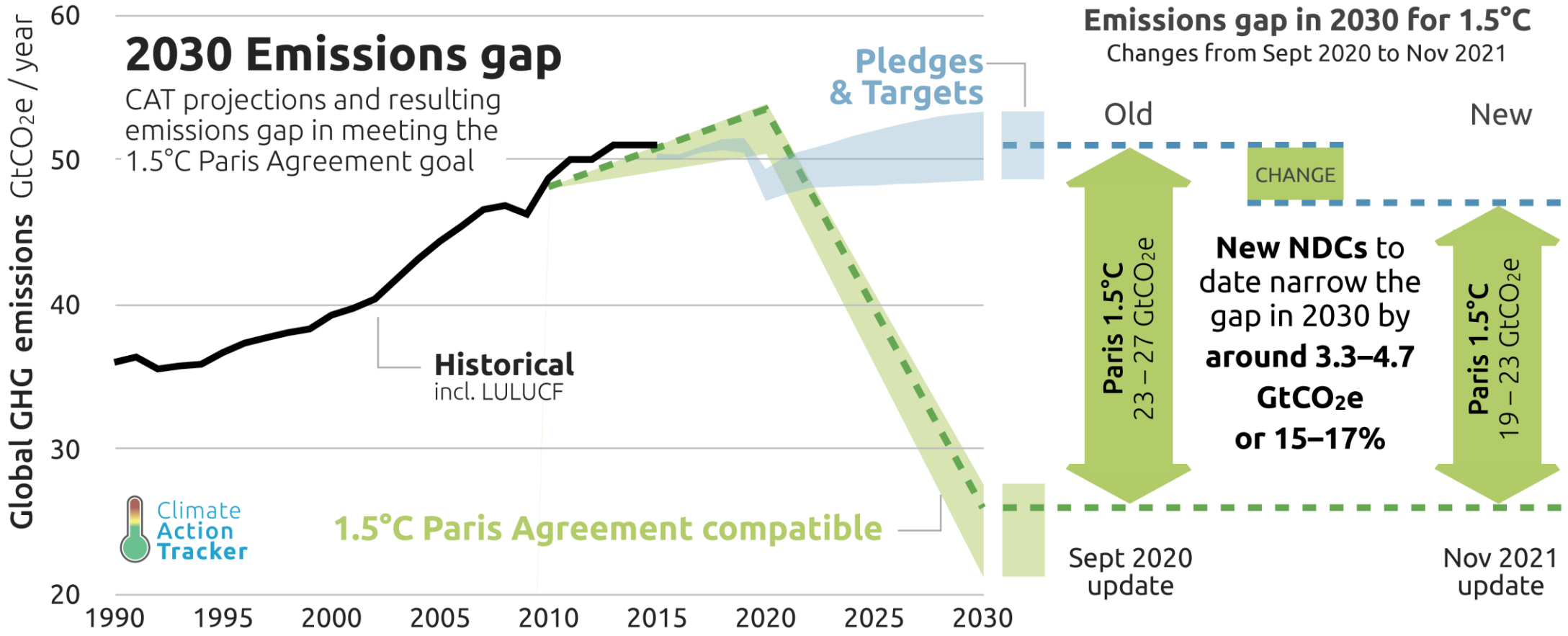
IUT de Vélizy / Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes de Versailles

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

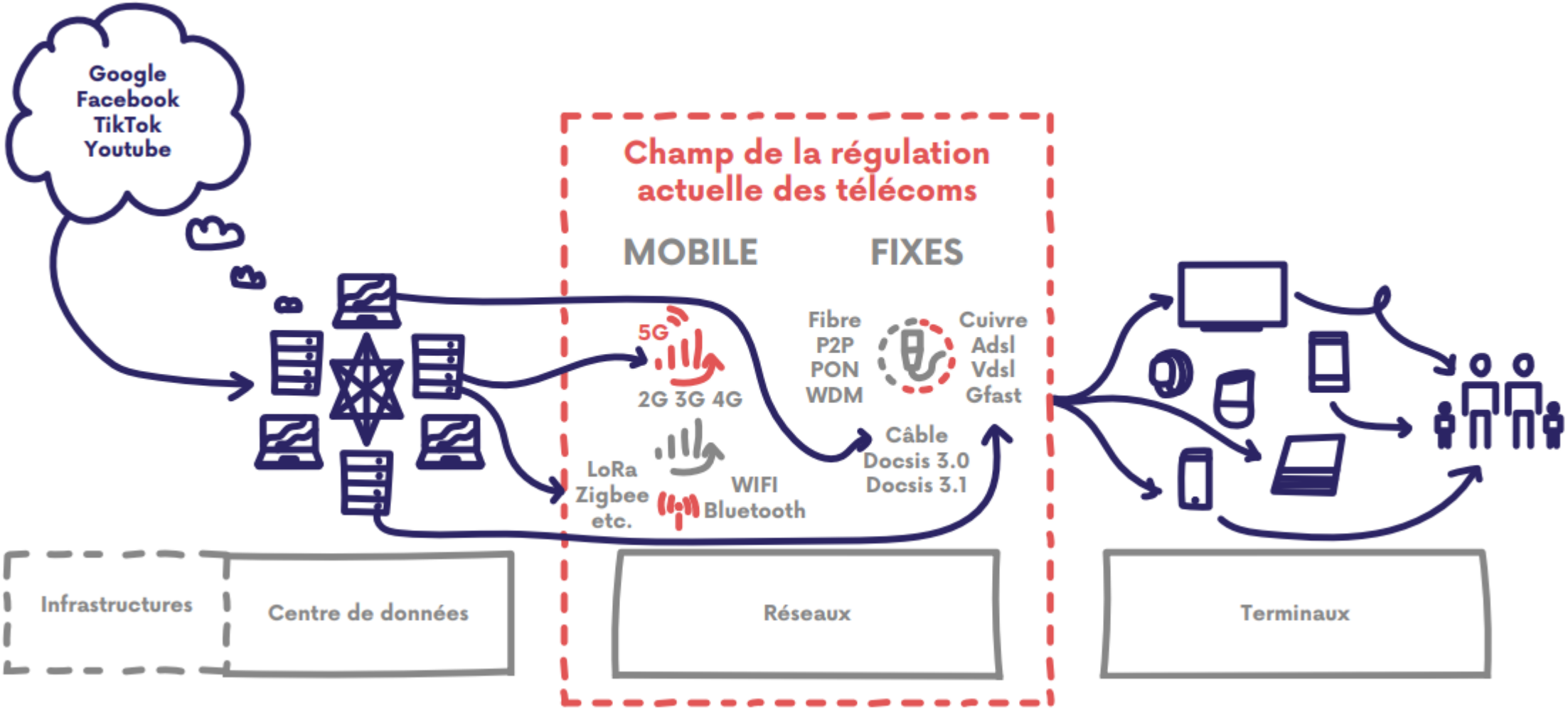
1. Pourquoi parle-t-on des impacts du numérique ?
2. Comment ont été produits les savoirs sur ce sujet ?
3. Conclusions

Accord de Paris et crise climatique



Source : https://climateactiontracker.org/global/cat-emissions-gaps/

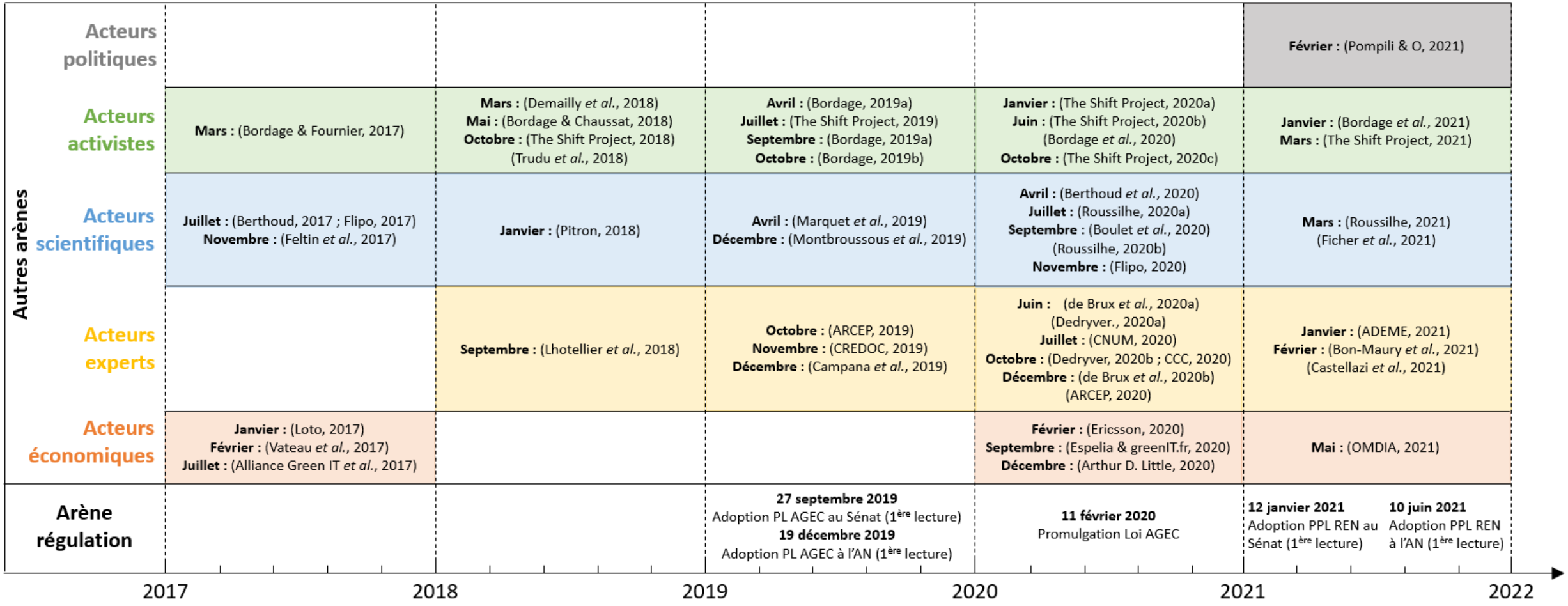
Qu’est-ce que le numérique ?



Numérique (ou TIC) ≈ Terminaux + réseaux + centres de données + usages

Source : ARCEP (2020)

Impacts du numérique : un sujet très discuté…



…et même réglementé !

N° 23

SÉNAT

SESSION ORDINAIRE DE 2021-2022

2 novembre 2021

PROPOSITION DE LOI

visant à réduire *l'*empreinte environnementale *du* numérique *en* France

(Texte définitif)

N° 54

SÉNAT

SESSION ORDINAIRE DE 2019-2020

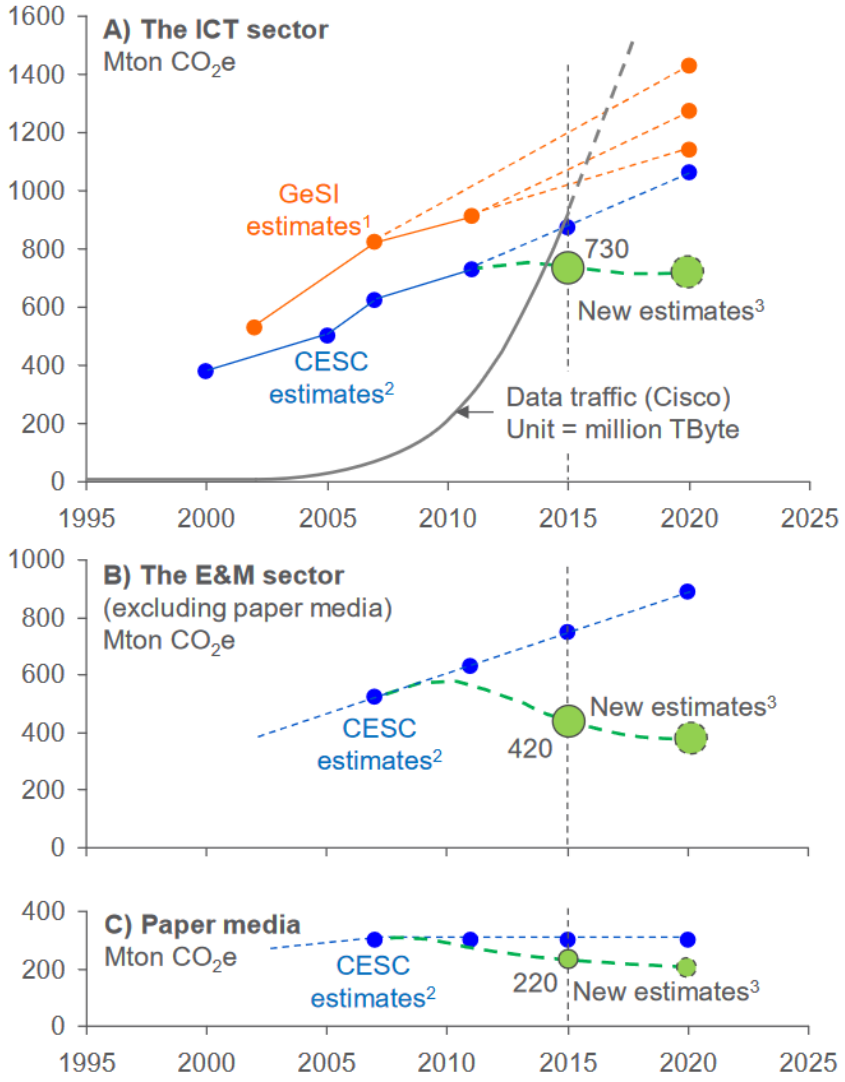
30 janvier 2020

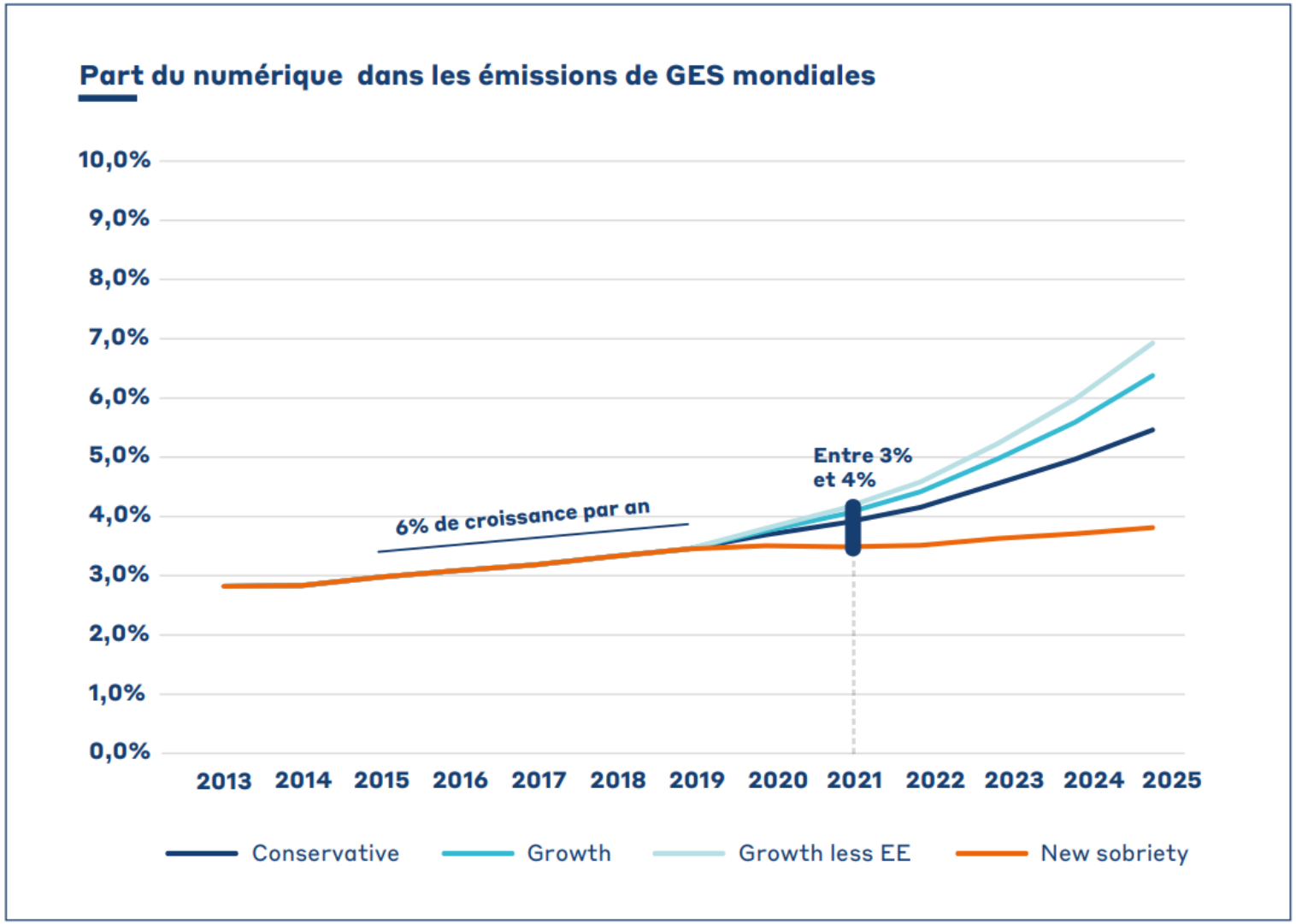
PROJET DE LOI

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

(Texte définitif)

Quelles émissions de GES imputables au numérique ?





Sources : Malmodin & Lundén (2018) ; The Shift Project (2021)

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

La Stratégie de Lisbonne comme point de départ

- 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…

Stratégie de Lisbonne, développement durable et numérique

- 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.

Découplage et éco-efficacité à l'aide du numérique

- **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

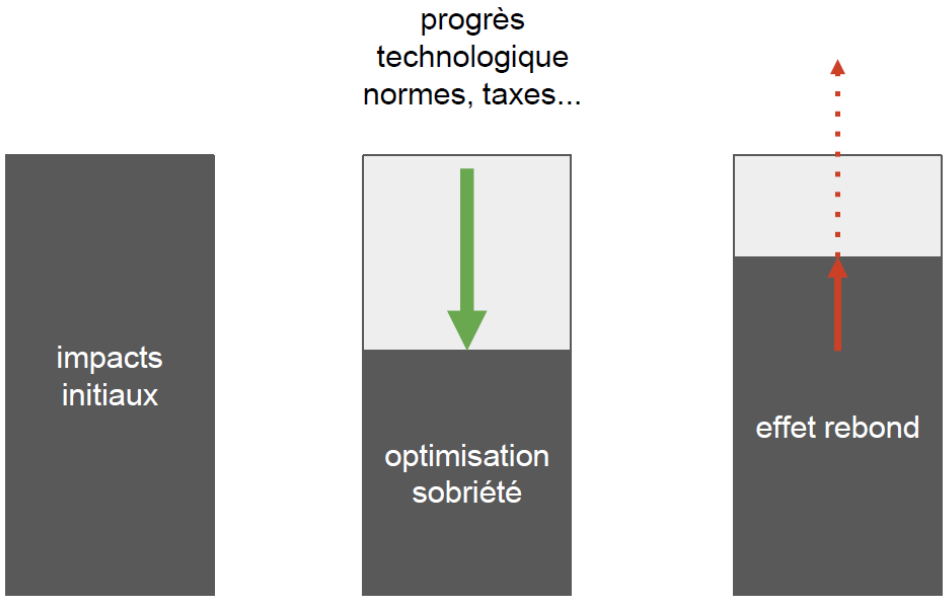
type	périmètre	effet		exemples
1er ordre **direct**	technologies elles-mêmes	impacts du cycle de vie		énergie grise / consommation électrique d'un ordinateur
2ème ordre **indirect**	applications	optimisation	substitution	*smart-*/ dématérialisation
		obsolescence	induction	bureautique / imprimante ➔↗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

Source : EcoInfo (2021)

Effet de levier *versus* effet rebond

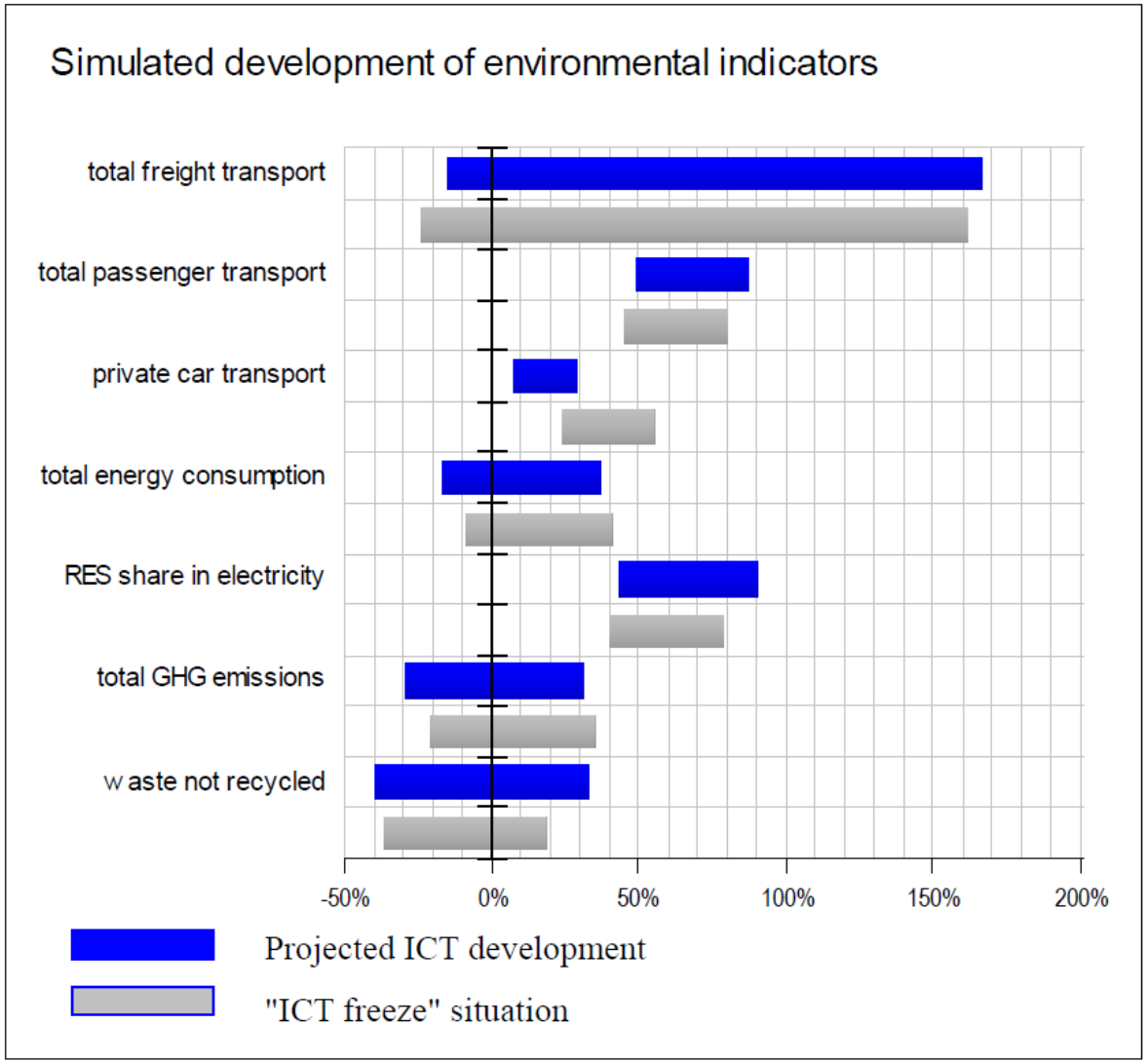
- **Effet de levier** → Potentiel de recours au numérique pour la réduction des impacts environnementaux d'autres secteurs.
- Exemple : Les visio-conférences permettent d'éviter des déplacements physiques.

- **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.



Dans les années 2000, les premiers travaux d'académiques…

- **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.



Source : Erdmann et al. (2004)

…mais aussi d'industriels

- 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 CO_2-eq à horizon 2020 → Non vérifié !
  - Rapport *SMARTer 2020* (GeSI, 2012) : Economie de 9,1 Gt CO_2-eq à horizon 2020 → Non vérifié !
  - Rapport *#SMARTer 2030* (GeSI, 2015) : Economie de 12 Gt CO_2-eq à horizon 2030 !

A propos des rapports de la GeSI

- 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 ! »

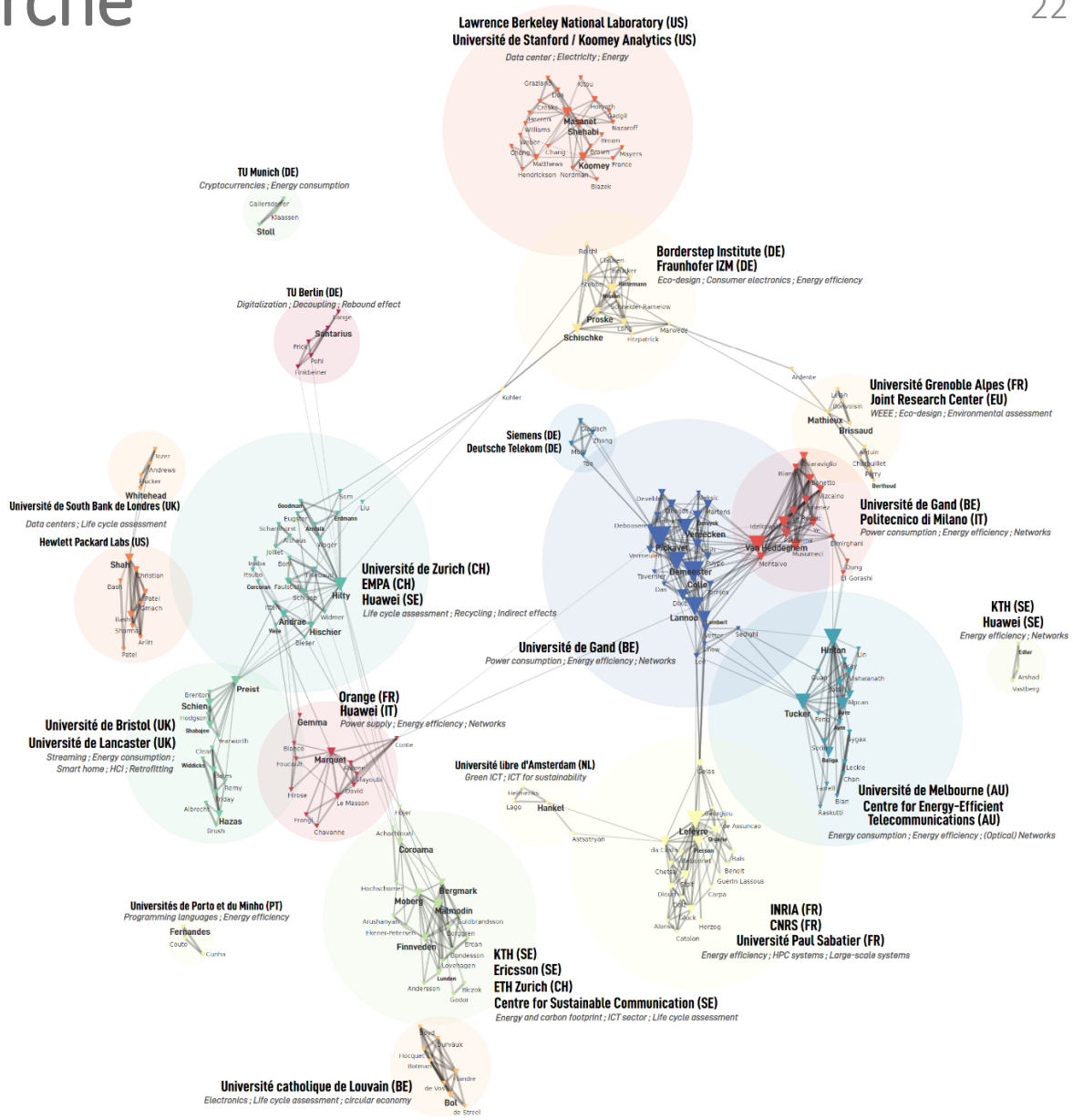
- Difficile de connaître l'influence des rapports de la GeSI sur le débat public.
- Mais **rapports très souvent repris** et même **utilisés comme cadre de référence** de travaux de recherche (périmètre etc.).
- En réaction, publication de nombreux **travaux académiques et industriels** (Ericsson et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

Source : Pitron (2021)

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

Cartographie des réseaux de recherche

- Dès la fin des années 2000, **collaborations entre académiques et industriels** pour affiner les quantification des impacts du numérique.
- Exemple : Ericsson et Institut KTH (CESC).
- Formation d'une **communauté de recherche** sur le sujet, avec ses lieux de sociabilité et de publications…
- …et ses **controverses**, principalement d'ordre méthodologique !
- En parallèle, très importante recherche industrielle sur l'**optimisation de l'efficacité énergétique**.



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. $gCO2_{eq}$/kWh et kWh/Go)

↓

Emissions globales = αV

Avantage : Facile à utiliser
Inconvénient : Peu précis

Au cœur de la méthodologie *bottom-up*, l'ACV

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 boite 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.

Source : Ercan et al. (2016)

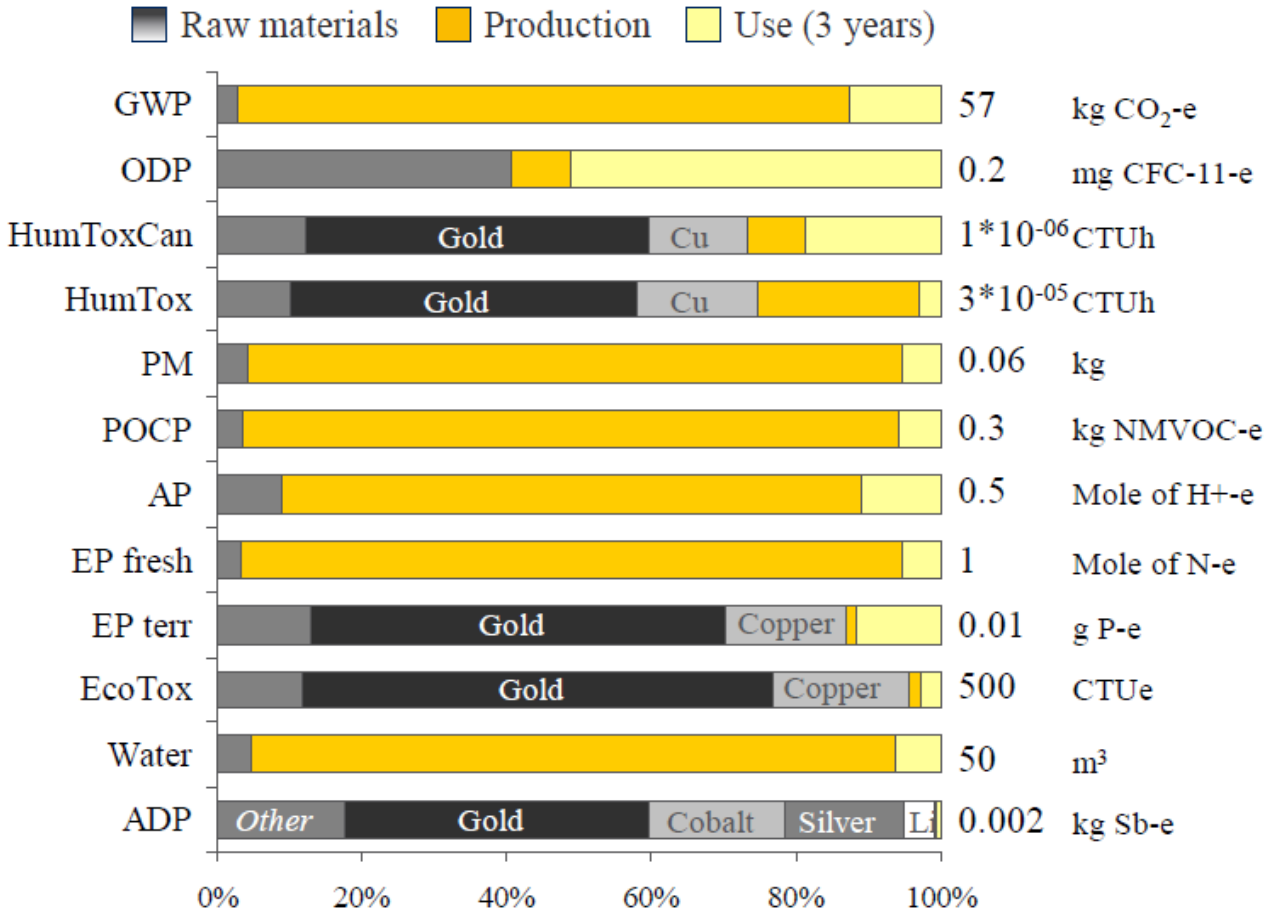
Résultats d'une ACV

- **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.



Source : Ercan et al. (2016)

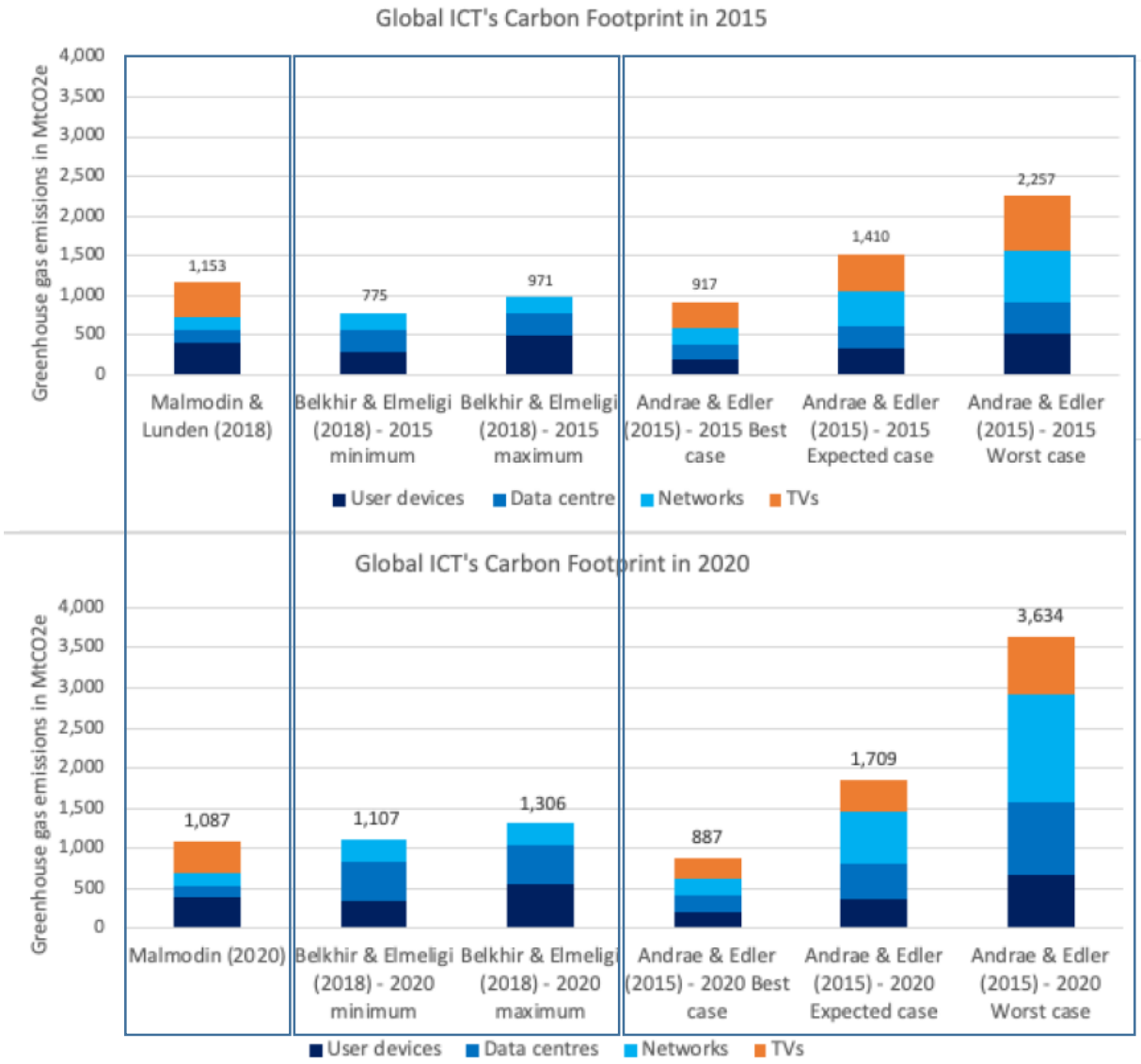
L'ACV, un outil de monopole pour les industriels

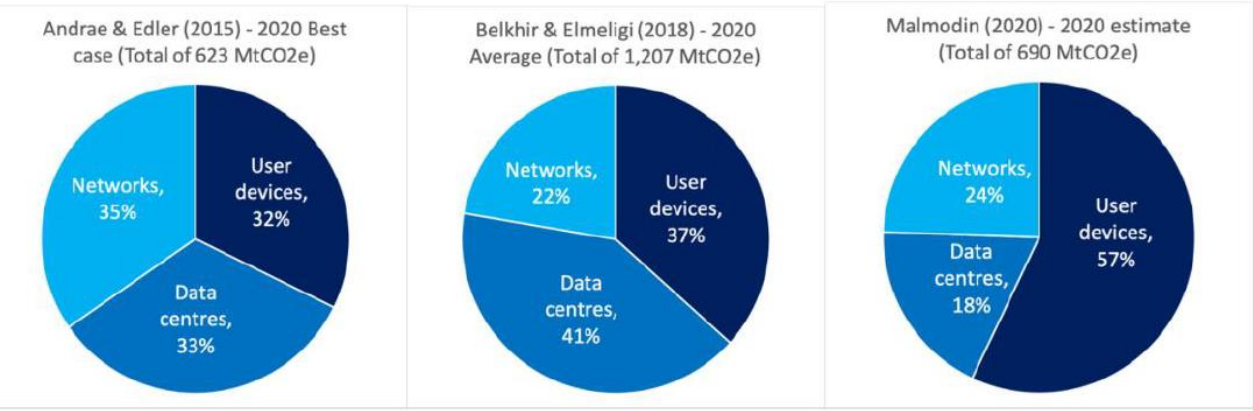
- La réalisation de l'ACV d'un produit/service repose sur une **collecte minutieuse de données** et sur la bonne compréhension de sa constitution/de son fonctionnement.
- Or, **accès** aux données très **difficile** sans **liens directs avec le concepteur** du produit/service analysé.
- **Compréhension** 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).

Source : Freidberg (2015)

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





- **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 !

Source : Freitag et al. (2021)

Les raisons de la discorde

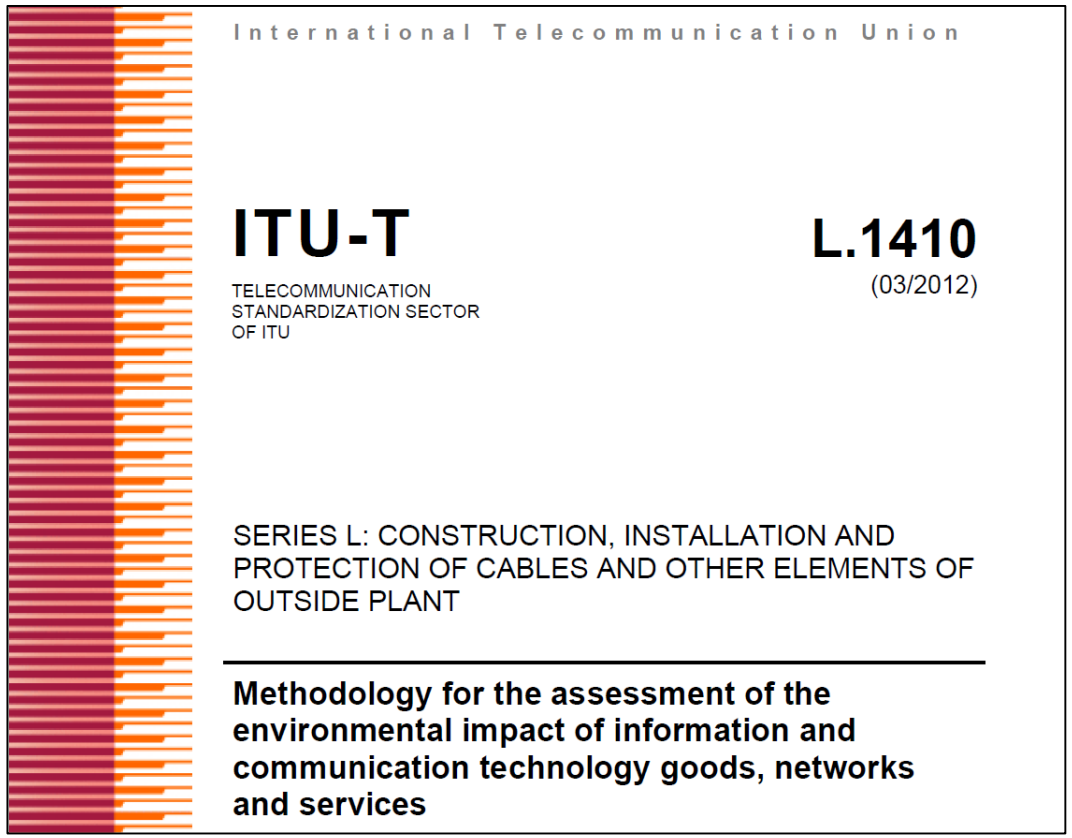
	Andrae et Edler (2015)	Belkhir et Elmeligi (2018)
Andrae et Edler (2015)		
Belkhir et Elmeligi (2018)	- Utilise des données de durée de vie non étayées. - Sous-estime l'amélioration de l'intensité électrique des réseaux d'accès fixes. - N'utilise pas un point de départ de référence commun à tous les 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)	**- 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)	**- 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)

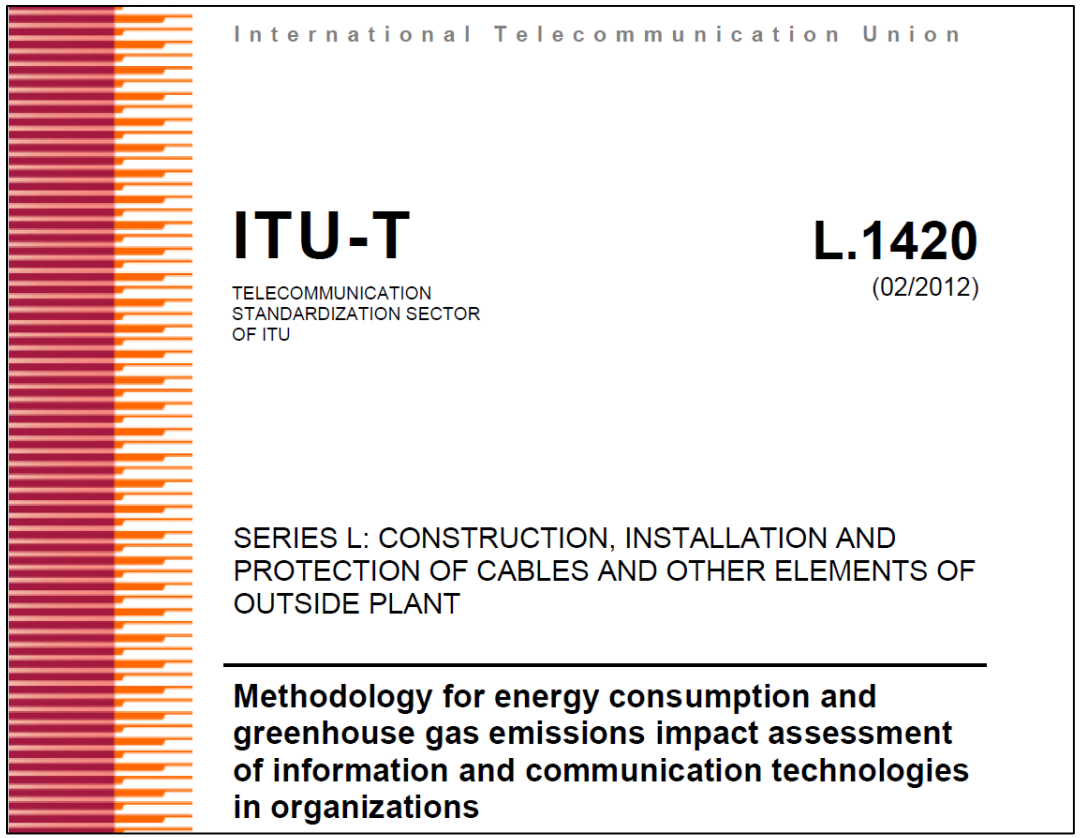
- **Modèle Andrae** (et Belkhir) :
  - Modèle ***top-down*** où variable dimensionnante = **trafic**.
  - Modèle **simple** et **ouvert** (cf. Shift Project) contrairement à celui de Malmodin.
  - Mais modèle peu précis d'après Malmodin.

- **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.

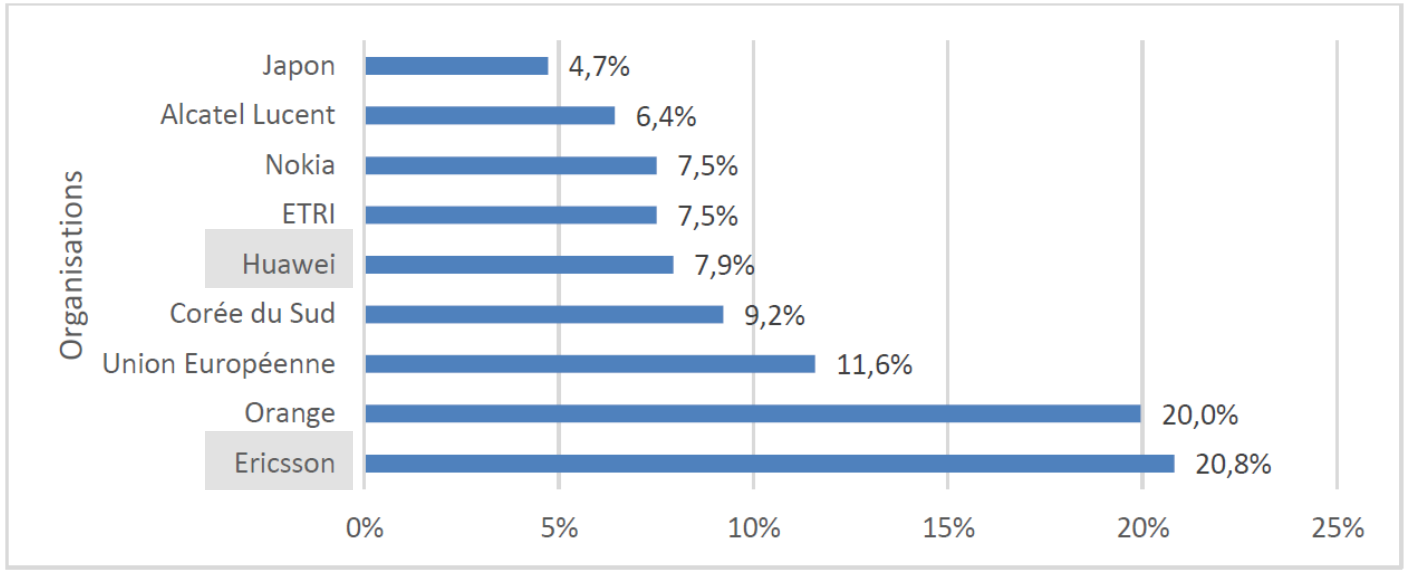




…mais aussi pour les verrouiller

- 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

Des impacts divers et difficiles à estimer

- 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…

Des savoirs fragiles

- Comme toute **question scientifique**, la quantification des **impacts du numérique** est sujette à de nombreuses **discussions** et **controverses**…
- …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**.

LISV Laboratoire d'ingénierie des systèmes de Versailles | UVSQ université PARIS-SACLAY

Merci pour votre attention

bastien.bechadergue@uvsq.fr

Sources

- 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., Malmodin, 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.*
- Malmodin, 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*.