



**University of  
Zurich** <sup>UZH</sup>

**Informatics and Sustainability Research Group**

---

# **Opportunités et risques de la numérisation pour la protection climatique en Suisse**

**Note de synthèse**

Lorenz M. Hilty, Jan C. T. Bieser

Département d'informatique  
Université de Zurich  
Zurich, Suisse

Octobre 2017



## **Mentions légales**

### **Auteurs**

Prof. Dr. Lorenz M. Hilty, Université de Zurich et  
Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa)  
Jan C. T. Bieser, Université de Zurich

### **Contributeur**

Miro Meyer de Stadelhofen, Université de Zurich

### **En coopération avec**

Swisscom SA:  
Res Witschi  
Marius Schlegel  
Mischa Kaspar  
WWF Suisse:  
Sabine Lötscher  
Nico Frey

### **Coordonnées**

Prof. Dr. Lorenz M. Hilty  
hilty@ifi.uzh.ch  
Département d'informatique  
Binzmuehlestrasse 14  
CH-8050 Zurich

© Université de Zurich, Suisse  
Zurich, octobre 2017

La version intégrale de ce rapport de 62 pages sera publiée en même temps en anglais sous le titre «Opportunities and Risks of Digitalization for Climate Protection in Switzerland». Le texte de la version anglaise fait foi.

Le projet sous-jacent au présent compte-rendu a été financé par Swisscom SA et le WWF dans le cadre d'un partenariat de longue date portant en particulier sur les actions en faveur du climat et de la numérisation.

## Note de synthèse

Information and Communications Technology (ICT) is an important enabler for a low-carbon economy in Switzerland. ICT has the potential to avoid up to 3.37 times more greenhouse gas (GHG) emissions than the amount of emissions caused by the production, operation and disposal of ICT devices and infrastructures used in Switzerland in 2025. In absolute terms, ICT will enable the Swiss economy to save up to 6.99 Mt CO<sub>2</sub>-equivalents (CO<sub>2</sub>e) per year, with an own carbon footprint of 2.08 Mt CO<sub>2</sub>e per year (see Figure 1).

Les technologies de l'information et de la communication (TIC) sont des moteurs importants de l'économie bas-carbone en Suisse. Les TIC peuvent potentiellement permettre d'empêcher jusqu'à 3.37 fois plus d'émissions de gaz à effet de serre (GES) que la quantité des émissions causées par la production, le fonctionnement et l'élimination des équipements et infrastructures TIC utilisés en Suisse en 2025. Dans l'absolu, les TIC permettront à l'économie suisse d'économiser jusqu'à 6.99 Mt équivalent CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>e) par an, pour une empreinte écologique de ce secteur s'élevant à 2.08 Mt CO<sub>2</sub>e par an (voir figure 1).

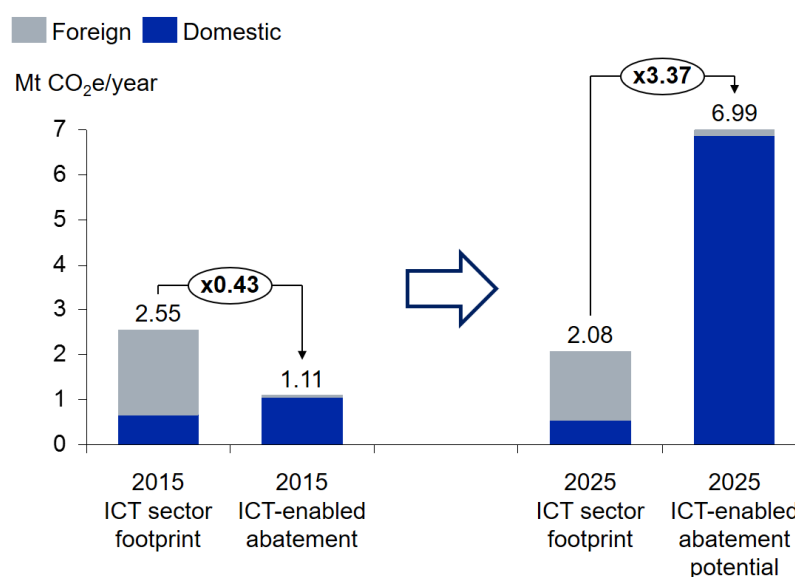


Figure 1: le secteur des TIC suisse produit des émissions de gaz à effet de serre à la fois en Suisse et à l'étranger. En parallèle, l'application des TIC en Suisse contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre dans les secteurs autres que les TIC. Projection de 2015 à 2025.

Néanmoins, cette opportunité pour le secteur des TIC de contribuer à la protection climatique n'est valable que dans un scénario optimiste. Plus précisément, il est nécessaire que des mesures ambitieuses et ciblées assurent une exploitation systématique des potentiels économiques et technologiques existants. De telles actions peuvent être spécialement efficaces dans les secteurs du transport, de la

construction et de l'énergie, lesquels présentent le plus fort potentiel en termes de solutions reposant sur les TIC («smart») permettant de diminuer les émissions de GES. Dans le même temps, l'empreinte écologique du secteur des TIC proprement dit doit baisser de 17%, ce qui est faisable au niveau technologique et économique par des gains d'efficacité.

Les mesures et les projections de l'empreinte des TIC sont fondées sur une vue basée sur la consommation, c.-à-d. sur l'empreinte des matériels et services TIC consommés en Suisse, et incluant les émissions produites dans d'autres pays, telles que celles causées par la production de matériel TIC importé (émissions dites grises, ou intrinsèques). Pour l'estimation de la réduction des GES reposant sur les TIC, les effets sur les émissions produites à l'étranger sont donc également pris en compte. Comme le montre la figure 1, une part significative de l'empreinte GES du secteur des TIC est relevée à l'étranger, tandis que la quasi-totalité de la baisse des GES reposant sur les TIC est réalisée en Suisse.

L'étude ici mentionnée s'est penchée sur les opportunités et les risques de la numérisation pour la protection climatique en Suisse en se concentrant sur les deux aspects suivants:

- la propre empreinte du secteur des TIC (les effets directs des TIC sur les émissions de GES), et
- le potentiel de réduction des GES des TIC (les effets indirects des TIC sur les émissions de GES).

#### *La propre empreinte du secteur des TIC:*

Notre étude démontre que la majeure partie des émissions de GES du secteur des TIC provient des équipements des utilisateurs finaux. A l'heure actuelle, environ  $\frac{2}{3}$  des émissions de GES, basées sur la consommation, des TIC en Suisse proviennent des ordinateurs de bureau et portables, tablettes, smartphones et imprimantes, tandis qu'un  $\frac{1}{3}$  de ces émissions sont produites par les exploitants de réseaux de télécommunication et les data centers (chiffres de 2015).

La figure 2 montre la répartition des émissions annuelles par type d'appareils. Ce graphique met en lumière le fait suivant: la suppression progressive (*phase out*) des ordinateurs de bureau (le traditionnel PC) et leur remplacement par des appareils mobiles, dont le poids et la puissance sont restreints pour des raisons pratiques, offrent l'opportunité de diminuer les émissions à la fois en termes de production et d'utilisation des équipements. Les appareils mobiles (laptops, tablettes, smartphones) pourraient même être considérés comme «à efficacité énergétique» en raison du faible niveau de leur consommation énergétique dans l'absolu: c'est en effet la condition pour que les batteries de petite dimension aient une longue durée de vie. Ainsi, il se présente une opportunité de baisser les émissions par habitant causées

par la consommation des TIC tout en améliorant l'expérience des utilisateurs. Ce glissement vers des appareils mobiles légers et à efficacité énergétique aboutit à l'augmentation de la part relative de la production. En clair, il est désormais plus important pour le secteur des TIC de «verdir» la chaîne d'approvisionnement et d'éviter les émissions dites grises, c.-à-d. celles produites à l'étranger, où le matériel est fabriqué et où les matières premières sont exploitées. Il est essentiel de réduire l'utilisation des énergies fossiles tout au long du cycle de vie entier de ces produits.

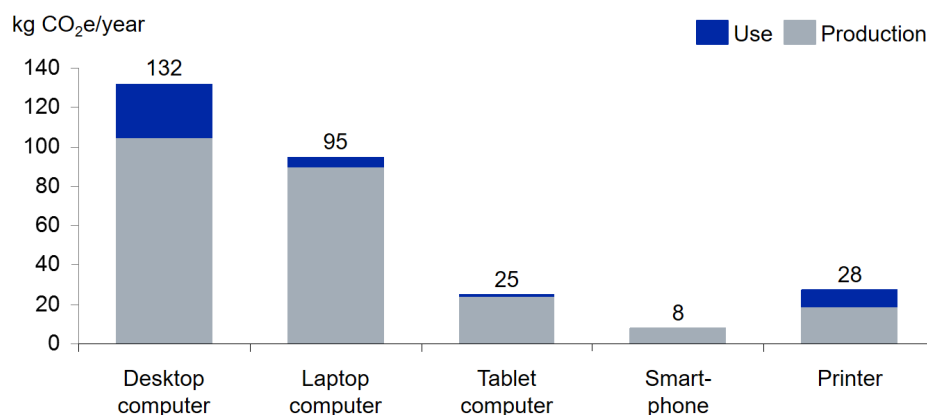


Figure 2: le niveau moyen annuel des émissions de gaz à effet de serre par appareil d'utilisateur final pendant la production et l'utilisation, par type d'appareils. Les valeurs annuelles des émissions lors de la production (en gris) reposent sur les actuelles durées d'utilisation moyennes des appareils.

Le risque principal pour le développement de la propre empreinte du secteur des TIC est que cette tendance positive soit compensée, voire surcompensée par un nombre croissant d'appareils par habitant, et par une durée de service décroissante des équipements. Le pire des cas serait si une mentalité du prêt-à-jeter des équipements électroniques numériques venaient à se répandre. Cela augmenterait de manière significative l'empreinte du secteur des TIC, et ce même dans les conditions du système de recyclage suisse bien établi. Si une quantité équivalente (voire supérieure) de matières premières rares sont réparties dans un plus grand nombre d'appareils, il y aura un accroissement de la dispersion de beaucoup de métaux rares. L'épuisement des ressources et les efforts déployés pour retrouver les ressources de matières rares (également en termes d'énergie et d'émissions de GES) augmenteront en conséquence. L'autre risque est la possibilité d'une hausse du trafic Internet, en particulier celui de machine à machine, plus rapide que l'efficacité énergétique future des infrastructures, ce qui aboutirait à la croissance des émissions de parties importantes de l'Internet mondial, qui continuera d'être alimenté par des énergies non renouvelables.

### Le potentiel de réduction des GES des TIC:

Notre étude a examiné dix Use Cases traités dans la littérature, ré-évaluant les paramètres d'adoption et d'impact requis pour notre projection d'ici à 2025. Nous avons calculé trois scénarios dans le but de refléter à la fois l'incertitude des données et le fait que le futur reste à façonner (figure 3). Les zones foncées dans les barres de la figure 3 montrent les résultats du scénario pessimiste, qui mise sur un potentiel de réduction de 0.72 Mt CO<sub>2</sub>e par an. Dans le scénario optimiste, le potentiel de réduction atteint les 6.99 Mt CO<sub>2</sub>e par an. Quant au scénario probable dans les conditions du «business as usual», le niveau s'élève à 2.79 Mt CO<sub>2</sub>e par an. Tous ces scénarios reposent sur des Use Cases réalisables dans l'état actuel de la technologie, et qui apporterait un bénéfice financier à leurs utilisateurs.

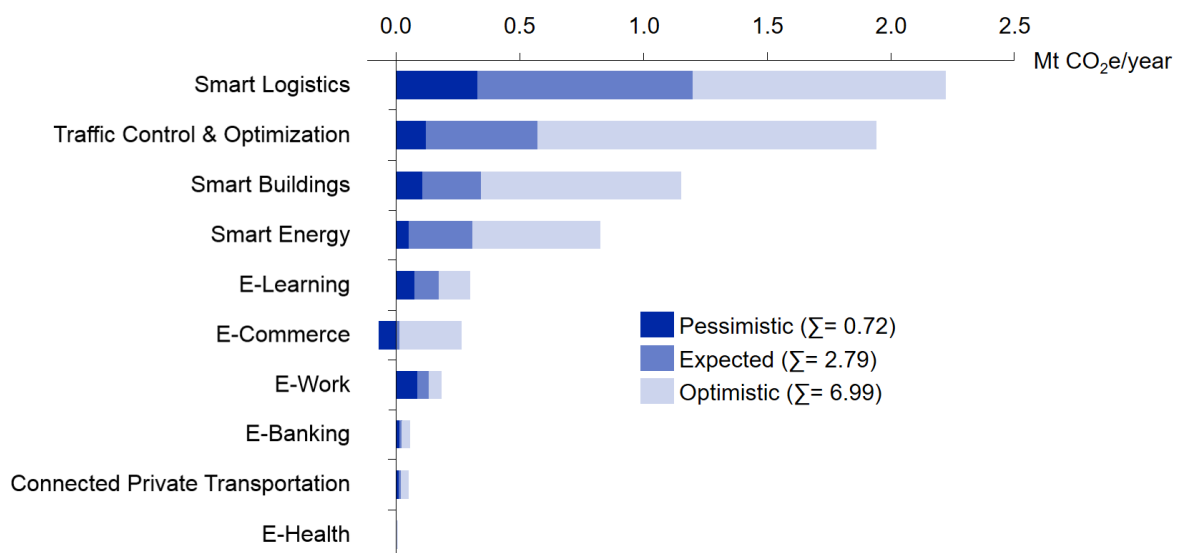


Figure 3: le potentiel de réduction des GES d'ici à 2025 selon un scénario pessimiste, probable et optimiste, par Use Case.

Il se présente une opportunité sans précédent de prendre des mesures ambitieuses et ciblées pour mettre en œuvre en moins d'une décennie des solutions bas-carbone basées sur les TIC («smart»), tant en termes de technologies que de business models. Cela peut se faire principalement par le développement continu de solutions «smart» en logistique, en régulation et optimisation du trafic, en construction et en énergie électrique. Libérer ce potentiel de réduction des GES apporterait une contribution significative aux objectifs de réduction des GES de la Suisse.

Le risque principal de cette contribution des TIC à la protection climatique est que ce potentiel de réduction ne puisse pas être libéré parce que les solutions ne sont pas adoptées par les entreprises et les consommateurs finaux, ce qui aboutirait au scénario pessimiste. Les solutions basées sur les TIC («smart») sont uniquement

acceptables lorsque les entreprises et les consommateurs finaux peuvent les utiliser de manière directe, sécurisée, et en étant certains que l'énorme quantité de données générées et traitées n'est pas utilisée aux dépens de leurs intérêts par quiconque, y compris par les concurrents, le gouvernement et les cybercriminels. Dans certains domaines, des effets rebonds (demande croissante due à la baisse des coûts), compensant la réduction, constituent un risque supplémentaire.

*Etudes de cas sur des Use Cases prometteurs:*

Afin d'approfondir la compréhension des moteurs et des obstacles à la réduction des GES reposant sur les TIC, analysons cinq exemples en détail:

- Logistique collaborative (exemple de logistique «smart»): le partage basé sur les TIC d'actifs logistiques entre les sociétés de transport de fret routier peut accroître l'utilisation d'actifs et réduire les émissions de GES par tonne kilométrique. L'usage souple d'actifs logistiques peut faire partie de la vision de l'«Industrie 4.0». Des mesures sont nécessaires pour éviter la hausse de la demande de transport qui résulterait des faibles coûts (effet rebond).
- Chauffage intelligent (exemple de construction «smart»): les systèmes de chauffage intelligents peuvent réduire la consommation d'énergie des ménages de manière significative sans pour autant diminuer le confort des habitants. Pour les bâtiments construits avant 1980 et les logements individuels, le chauffage intelligent peut être considéré comme la solution à portée de main en matière d'économies d'énergie. Les TIC et l'industrie du chauffage, à l'instar des sociétés fournisseuses, devraient coopérer pour normaliser et simplifier l'utilisation de la technologie de chauffage intelligent.
- Maîtrise de la demande en énergie (DSM) pour la consommation d'électricité (exemple d'énergie «smart»): la DSM soutient l'intégration des énergies renouvelables au réseau électrique, et augmente l'utilisation des capacités de l'infrastructure existante. Par exemple, l'opération des lave-vaisselle peut être reportée de sorte qu'elle soit exécutée à un moment où la demande en consommation électrique est plus faible, ou bien l'approvisionnement plus grand. Des normes réglementaires et techniques sont nécessaires pour en permettre l'adoption.
- Coworking (exemple d'e-travail): les TIC augmentent sans cesse la part du travail pouvant être accompli quel que soit le lieu. L'utilisation active d'espaces de bureau est faible en moyenne tandis que les émissions de GES associées aux constructions sont élevées. Les espaces de coworking peut accroître l'utilisation des espaces de bureau, réduire les distances de trajet et offrir des avantages par comparaison au télétravail à domicile, tels que la possibilité de faire des réunions en présentiel.

- Autopartage (exemple de transport privé connecté): le rôle de leader de la Suisse en matière d'autopartage pourrait constituer le point de départ du développement de programmes d'autopartage, tels que l'autopartage en libre-service. La coopération entre les autorités publiques, les sociétés de transport publiques et les prestataires d'autopartage est nécessaire pour étendre la couverture des programmes d'autopartage innovants.

Une comparaison de ces cinq exemples démontre un fort potentiel en matière de gestion de la demande en énergie dès lors que nous supposons que cela joue un rôle capital dans la transformation du système énergétique en faveur d'une électricité produite par des sources d'énergie exclusivement renouvelables. La logistique collaborative et le chauffage intelligent peuvent tous les deux apporter des contributions significatives à la transition vers une économie bas-carbone. En comparaison directe, le potentiel de réduction du coworking et de l'autopartage est inférieur, mais il mérite d'être étudié.

#### *Limites du système:*

L'étude fournit des résultats quantitatifs uniquement pour les émissions de GES, prises comme un indicateur environnemental pertinent parmi d'autres, tels que l'épuisement des ressources rares et la toxicité. Toutefois, nous montrons sur le plan qualitatif qu'inclure ces autres indicateurs ne changerait en rien les implications essentielles de nos résultats.

L'étude ne prend pas en considération les changements opérés dans le mix de courant (à l'exception des Use Cases où l'intégration des énergies renouvelables constitue le levier du potentiel de réduction des GES). Nous utilisons un mix de courant constant pour mettre en lumière l'impact des TIC aussi clairement que possible. La transition vers une part plus importante des énergies renouvelables dans le mix de courant suisse a plusieurs effets sur nos résultats. En particulier, cela peut diminuer les émissions dues à l'utilisation des appareils des utilisateurs finaux, ainsi que celles des réseaux de télécommunications et des data centers. Pourtant, une transition vers une énergie bas-carbone dans les pays où le matériel TIC est produit aurait davantage d'impact sur la protection climatique.

Au regard de l'effet entraînant des TIC, cette étude se concentre sur les Use Cases où un potentiel de réduction des GES est probable. Il est possible qu'il existe des Use Cases où les TIC sont les moteurs ou soutiennent des activités aux émissions de GES élevées, mais où elles sont néanmoins porteuses de potentiels d'induction (par opposition aux potentiels de réduction). Les potentiels d'induction ont été exclus du système étudié.

Plusieurs développements dans le secteur des TIC ont également dû être exclus, car prédire ceux-ci aurait dépassé le champ d'application de la présente étude. Cela



inclut la tendance générale à l'«Internet des objets» et les applications d'intelligence artificielle, telles que les véhicules et robots autonomes.

Face à l'incertitude qui en résulte, nous pouvons émettre les recommandations fiables suivantes à partir de nos résultats.

*Recommandations:*

- Les ménages et entreprises suisses peuvent influencer les impacts directs sur l'environnement en utilisant des appareils mobiles (laptops, tablettes, smartphones) en lieu et place des anciens équipements de bureau, et en les utilisant le plus longtemps possible.
- Les ménages et entreprises suisses devraient évaluer le bénéfice qu'ils tireraient à titre individuel en adoptant des solutions basées sur les TIC («smart») dans des domaines où l'investissement dans ce type de solutions offre un potentiel de réduction des GES significatif: la maîtrise de la demande en énergie, le chauffage intelligent, l'autopartage ou le partage d'autres biens peuvent ainsi avoir des effets positifs substantiels, mais leur impact dépend du contexte et doit être évalué au cas par cas.
- Les entreprises TIC suisses, y compris les exploitants de réseaux de télécommunication, devraient réduire systématiquement leurs émissions de carbone, à la fois au niveau local et en utilisant leur pouvoir d'achat pour influencer la chaîne d'approvisionnement des équipements importés en faveur de fournisseurs verts et équitables.
- Les entreprises TIC suisses, y compris les exploitants de réseaux de télécommunication, devraient utiliser leur potentiel pour développer des solutions bas-carbone basées sur les TIC et les fournir à leurs clients B2B et B2C dans les domaines à fort potentiel de réduction des GES.
- Les autorités devraient développer des conditions-cadres incitant et encourageant la mise au point de solutions TIC sécurisées et respectant la vie privée.
- Les autorités devraient encourager le développement de normes techniques libres et élaborer des incitations pour adopter des solutions bas-carbone basées sur les TIC, et ce en particulier dans les domaines à fort potentiel de réduction des GES (transport, *smart buildings*, *smart energy*).