

Éléments pour une évaluation socio-énergétique des TIC

Laetitia Souchon-Foll, Sylvie Tarozzi***

*15 rue de la Plaine
1400 Yverdon les Bains, Suisse

**France Télécom
28 chemin du Vieux Chêne - BP 98
38243 Meylan, France

Lorsque l'on parle de consommation d'énergie au sein de nos sociétés, on est loin d'y associer la place des Technologies d'Information et de Communication, a priori mineure. En effet, les activités et produits générés par la société de l'information, tels que Internet, le télétravail ou encore la musique et la photographie numériques, sont généralement immatériels donc frugaux en énergie et matière première. La consommation énergétique des TIC peut même être considérée comme « négative » si l'on se place sous l'angle des économies d'énergie inhérentes à la dématérialisation (substitution de services aux produits) ou aux substitutions d'usages (substitution d'un usage par un autre usage) : la création du « bureau sans papier » ou le remplacement des réunions physiques par des réunions virtuelles en sont des exemples courants.

Cette vision simpliste n'a finalement guère de rapport avec la réalité dans le sens où un certain nombre d'éléments ne sont pas pris en compte :

- le poids énergétique considérable et complexe des infrastructures et des équipements de télécommunication (ex : les data centers)
- la multitude de terminaux souvent branchés en permanence et dont la durée de vie est parfois très courte
- les modes de vie et les évolutions des usages avec leurs effets rebonds notables

Nous montrerons en quoi la question de la substitution d'usages reste encore à l'état du discours pédagogique (ST). Nous nous focaliserons ensuite sur le domaine de l'énergie des télécoms sur les questions telles

que la hauteur de la consommation énergétique des TIC, ou la structure de celle-ci encore insuffisamment explorées. Nous présenterons alors les premiers résultats du travail de thèse mené à FTR&D (LS) sur l'évaluation de l'intensité de la ressource énergétique requise pendant la phase d'utilisation des TIC en France dans le secteur résidentiel.

Impact des TIC sur l'environnement: simplifications, idées reçues et incertitudes

• TIC et environnement: un aperçu des impacts

Pour mieux comprendre la relation entre TIC et environnement, nous partirons de la classification de Berkhout et Hertin qui propose une hiérarchie des impacts des TIC sur l'environnement en trois catégories, et en distinguant les impacts positifs des impacts négatifs.

	Impacts positifs	Impacts négatifs
Effets du 1 ^{er} ordre	Applications environnementales des TIC <i>Ex : le monitoring</i>	Impacts écologiques liés à la production, à l'utilisation et à l'élimination des TIC <i>Ex : déchets électroniques</i>
Effets du 2 ^d ordre	Changement structurel de l'économie <i>Ex : la dématérialisation</i>	Substitution incomplète : les produits TIC s'ajoutent aux produits existants
Effets du 3 ^e ordre	Changement dans les modes de vie <i>Ex : consumérisme vert</i>	"Effets rebonds" <i>Ex : croissance du voyage à longue distance</i>

Tableau 1 : Un exemple de hiérarchie des impacts des TIC sur l'environnement (Berkhout and Hertin, 2001)

Les impacts du 1^{er} ordre présentent les impacts directs sur l'environnement. Ils sont dus à la production, à l'utilisation et à l'élimination des TIC.

Les impacts du 2^{ème} ordre sont des impacts environnementaux indirects. Ils sont relatifs à l'utilisation des TIC et à leur influence sur la structure de l'économie, sur les évolutions des procédés de fabrication, des systèmes de production et de distribution. Ainsi, les principaux impacts positifs regroupent des effets comme :

- la dématérialisation comprise comme la possible production de valeur ajoutée avec moins de ressources
- la virtualisation soit la possible substitution de biens matériels en biens immatériels
- la démobilité soit la possible substitution des déplacements physiques par la mise en œuvre de services de télécommunications

Enfin, les impacts du 3^{ème} ordre sont des effets indirects de l'usage des TIC sur les comportements et les modes de vie. Ils s'incarnent par exemple dans la stimulation voire l'incitation par les TIC à plus de consommation et à une croissance économique plus grande. Les « effets rebonds » font partie de ces impacts.

Cependant, le tableau précédent ne nous fournit que des « appréciations » d'ordre qualitatif. En effet, le domaine de l'écologie des télécommunications, et en particulier celui de la consommation énergétique des TIC, est encore relativement peu exploré et renseigné.

De plus, les études existantes abordent souvent la problématique de manière fractionnée ou désagrégée, en décorrélant les empreintes écologique, sociale et économique des TIC. De notre point de vue, cela participe à la propagation de discours simplistes, d'idées reçues sur les promesses des innovations technologiques en particulier sur les phénomènes de dématérialisation et de substitution.

• *Simplifications et idées reçues sur l'impact des TIC : dématérialisation et substitution*

Un certain nombre d'idées reçues demeurent sur la question de l'impact environnemental des TIC. Plus précisément, la diffusion des TIC a suscité beaucoup d'espoir. Elles se substitueraient au papier et créeraient « le bureau sans papier » mais encore elles constitueraient une économie de matière dont l'un des enjeux est de s'affranchir de la consommation d'énergie fossile. Elles se substitueraient au transport de personnes et réduiraient ainsi les impacts environnementaux. Qu'en est-il de la réalité de ces deux promesses ?

Échange kilogramme contre kilo-octets, le cas du papier : « Les TIC optimisent les ressources énergétiques en dématérialisant un bien qui n'a donc plus besoin d'être produit ».

Les études réalisées sur l'éventuelle substitution entre TIC et papier convergent vers une affirmation : la consommation de papier a augmenté avec le développement des TIC (Rodhain, 2005). Aujourd'hui, on prévoit même une croissance de l'industrie papetière, au moins jusqu'en 2015 (Lachenal, 2004).

Bien qu'il existe des situations dans lesquelles il y a réellement substitution (lorsque le mail remplace le courrier traditionnel), les TIC stimulent la consommation de papier en favorisant l'accès à tout type de documents susceptibles d'être ensuite imprimés (Mokhtarian, 2003). On parle alors de re-matérialisation, un des aspects critiques de la dématérialisation. D'autres raisons peuvent être avancées pour expliquer ce phénomène d'accroissement de consommation de papier : la persistance d'une culture

papier, les progrès des modes de reproduction, la croissance de la production et de la communication de contenus auto-produits par tous...Le cas du papier met bien en évidence la vision purement comptable et peu pertinente d'un échange de kilogramme contre des kilo-octets.

Cependant toutes les recherches convergent pour établir que la consommation globale de matière a diminué y compris dans les objets de la vie quotidienne qui sont plus légers tout en étant plus performants. Mais cette réalité statistique ne doit pas cacher que la prolifération et les taux de renouvellement des terminaux d'information et de communication, des PC aux téléphones, accompagnant le développement des services dans nos modes de vie et de travail, alourdissent le bilan écologique des TIC. De plus, de ce point de vue, la perspective est celle d'un contexte marqué par l'extrême variété dans les équipements connectés, auxquels il faudra rajouter tous les objets qui nous entourent et qui potentiellement peuvent devenir communicants (montre, stylo, réfrigérateur...).

Pourtant, l'abondance dans les accès aux réseaux (fixes, mobiles, câble, satellite,...) et l'expansion de l'univers des téléservices à la sphère personnelle et professionnelle constituent a priori un fort potentiel pour réduire l'utilisation d'énergie et de ressources dans un échange d'octanes contre octets.

Échange octanes contre octets: « Les TIC induisent une optimisation des ressources énergétiques en évitant ou en optimisant les déplacements ».

Concernant la démobilisation, tout le monde s'accorde sur le fait que cette substitution n'a pas eu lieu ou que tout au moins si elle existe parfois ses conséquences sur l'empreinte écologique sont encore incertaines car de nombreux effets rebonds sont encore à explorer. Il y a ainsi fort à parier qu'en la matière on assiste à un simple glissement des impacts, voire une neutralisation entre effets positifs et négatifs.

Mobilité des hommes et mobilité des informations

Ainsi, si l'on prend le cas de la visioconférence, que nous faisons l'analyse de la consommation d'énergie primaire pour produire et utiliser cet outil, et que nous le comparons à la consommation d'énergie primaire de différents types de déplacements, le bilan est positif et largement en faveur de la visioconférence (Etude FTRD et EPFL, 2006).

Toutefois, la vitesse des moyens de déplacement a produit une augmentation des échanges de face à face qui n'est pas venue compenser l'usage des moyens de communication dont celui de la visioconférence. Rien n'indique qu'une personne impliquée dans une visioconférence se serait déplacée. L'usage de la visioconférence ne signifie pas qu'un déplacement aurait eu lieu, alors que sans les communications cette rencontre n'aurait peut-être jamais existée.

Mobilité des biens et accès aux informations

Le commerce en ligne est un bon exemple de cas de déplacement des impacts. Il peut être analysé comme un moyen d'éviter des déplacements inutiles. Mais son coût environnemental est significatif si l'on considère l'augmentation des achats générée par la plus grande facilité d'accès à l'information, le regain de trafic induit avec des solutions de livraisons très peu rationalisées, le coût du conditionnement spécifique des produits à transporter.

Localisation des activités sur le territoire, déplacement, accessibilité et TIC

L'idée d'une localisation diffuse et ubiquitaire des activités sur le territoire, permise par les TIC et rendant caduque la question de la proximité géographique est une idée simplificatrice qui a la vie dure. En fait, nous assistons à une concentration des activités très marquée et à une spécialisation des territoires géographiques.

Ainsi, nous voilà face à deux alternatives. Ou bien, l'accessibilité permise par l'usage des TIC n'a en rien compensé les distances géographiques et malgré les accès aux réseaux. Il existe de très fortes probabilités de voir se développer encore des friches sociales dépourvues de la « présence » de services publics même dématérialisées. Ou bien, les nouvelles technologies vont finalement permettre de mieux mettre en valeur, voire de créer des richesses, agissant ainsi comme levier dans le développement économique de ces territoires.

Les TIC offrent un potentiel intéressant pour se substituer à des déplacements ou à de la construction/occupation de locaux. Mais la substitution des communications à des transports reste complexe et difficilement prévisible (effets indirects ou rebonds). Ainsi, l'implication des TIC sur les modes de vie peut conduire à de grandes modifications de la charge environnementale, pour ou contre l'environnement.

Enfin, globalement le cadre socio-technique et les usages émergents de communication contredisent aussi largement les idées simplificatrices. Dans un certain nombre de cas, comme le papier, les produits virtuels ne vont pas se substituer aux produits existants mais constituent une autre modalité d'usage qui va venir se superposer à la précédente. Il en est de même pour les usages des TIC (téléphonie, Internet,...). La substitution est ici aussi une vision comptable et utilitariste, elle ne correspond pas à une réalité des « usages ».

De plus, le modèle de consommation continue, le « always on » ou encore « robinet ouvert », sans coût apparent et avec la mise en veille des terminaux que cela suppose, joue en défaveur d'une prise de conscience des utilisateurs de l'impact des TIC sur l'environnement et de la consommation énergétique des télécommunications.

Discours simplificateurs, idées reçues sur les impacts environnementaux et sociaux des TIC renvoient d'abord aux manques de capitalisation, de mise en perspective des expériences et des connaissances mais surtout à l'absence de données fiables. Même dans le domaine de la consommation énergétique des TIC, un domaine quantifiable a priori et essentiel comme point de départ, ce sont les incertitudes et les controverses qui dominent.

Énergie des télécoms : premiers éléments d'évaluation

• *Énergie des télécoms : un domaine peu exploré et controversé*

Le domaine de l'énergie des télécoms est encore peu exploré aujourd'hui et les incertitudes demeurent sur deux grandes questions : celle de la hauteur de la consommation des TIC, et celle de sa structure, en particulier les parts allouées respectivement aux infrastructures de réseau et aux terminaux.

La controverse portant sur la hauteur de la consommation des TIC a débuté en 1999 par Mills qui évalua la part de consommation électrique de l'Internet à l'échelle de son pays, les Etats-Unis, à 50 % de la demande totale du pays en 2010. Ce résultat démesuré fut rapidement réfuté par plusieurs institutions telles que le LBNL (Koomey, 1999 ; Kawamoto, 2001 ; Baer, 2002 ; Koomey, 2002 ; Koomey, 2004 ; Roth, 2002).

La controverse portant sur la structure de la consommation des TIC a suivi. Pour certains, la consommation des infrastructures de réseau est majoritaire alors que d'autres montrent que c'est celle des terminaux. Par exemple, Roth aux Etats-Unis évalue la part du réseau à 30 % (Roth, 2002) alors que Türk et Barthel en Allemagne situent cette part entre 60 et 94 % (Türk, 2001).

Les divergences des résultats produits dans ces études s'expliquent par :

- Le choix des périmètres retenus par les auteurs
- Les équipements considérés, en particulier dans la partie « réseau »
- Des technologies qui évoluent très rapidement
- La non disponibilité des données
- L'absence de lien entre les kWh constatés et les usages générateurs

Selon les études, les périmètres se déclinent en 3 types de secteurs (Internet, téléphonie mobile, et plus globalement TIC) et 3 types d'usages (professionnel, résidentiel et industriel). Avec ces différences de secteurs et d'usages, les résultats ne sont parfois pas comparables.

Par ailleurs, si nous rentrons dans le détail de la liste d'équipements retenus dans la partie « réseau », celle-ci varie d'une étude à l'autre. C'est ce que montre le tableau suivant en comparant les éléments pris en compte respectivement par Roth, Cremer et Kawamoto.

Éléments pris en compte par Roth	Éléments pris en compte par Cremer	Éléments pris en compte par Kawamoto
Serveurs	Serveurs	Serveurs
Switches LAN et WAN	Switches	Switches LAN et WAN
Routeurs	Routeurs	Routeurs LAN et WAN
Commutateurs (Hub)	Commutateurs (Hub)	Équipements LAN : Concentrateurs et serveurs d'accès Commutateurs (Hub)
Onduleurs	Onduleurs	
Modems (CMTS)	Connexion DSL	
	Data Centers	

Tableau 2 : Éléments pris en compte par différents auteurs pour leur partie « réseau informatique »

Une autre difficulté dans la comparaison des résultats réside dans le fait que les technologies évoluent très rapidement. Par exemple, en 5 ans, la consommation d'un GSM a été divisée par 4. Ainsi, le type d'équipements retenu pour une étude a également un impact sur les résultats.

Les données requises pour la réalisation de ce type d'études, comme le nombre de serveurs ou routeurs à l'échelle d'un pays, sont souvent non connues, soit inexistantes, soit confidentielles. Cela amène parfois les auteurs à faire des hypothèses assez larges sur ces données, par manque d'information.

Enfin, sur le plan des usages, les études existantes procèdent à des agrégations à partir d'hypothèses très générales. Ainsi, Kawamoto définit un usage moyen pour chaque type d'équipements de bureau qu'il considère. Pour être plus précis et plus proche de la réalité, des études fines sur les usages seraient nécessaires.

Finalement, l'état de la question énergétique des TIC met en évidence le manque de références, de données sur lesquelles s'appuyer pour évaluer l'impact des TIC. Nous avons donc entrepris des travaux portant sur la consommation énergétique des TIC côté réseau et côté utilisateur dans le cadre d'une thèse.

- *Des données quantitatives côté réseau*

Le travail de thèse porte sur l'évaluation de l'intensité de la ressource énergétique requise pendant la phase d'utilisation des TIC en France et dans le secteur résidentiel. L'objectif est de fournir des données quantifiées et d'alimenter le débat sur la consommation des TIC. Nous présenterons donc ici des résultats partiels, essentiellement basés sur des mesures de consommation réalisées au sein du réseau de France Telecom.

D'un point de vue microscopique – à l'échelle d'un abonné grand public – nous avons cherché à quantifier énergétiquement ce que représente pour un opérateur comme FT le fait de fournir à ses clients les principaux services de télécoms (téléphonie, accès à Internet, VoIP, audiovisuel).

Nous avons procédé par la méthode générale suivante :

- Mesurer la consommation des différents équipements constitutifs du réseau.
- Identifier les éléments du réseau intervenant pour chacun des services retenus.
- Déterminer des clés de répartition lorsque les équipements du réseau sont sollicités par plusieurs services (ex : les DSLAM).

Les résultats de ce travail sont présentés dans le graphique ci-dessous.

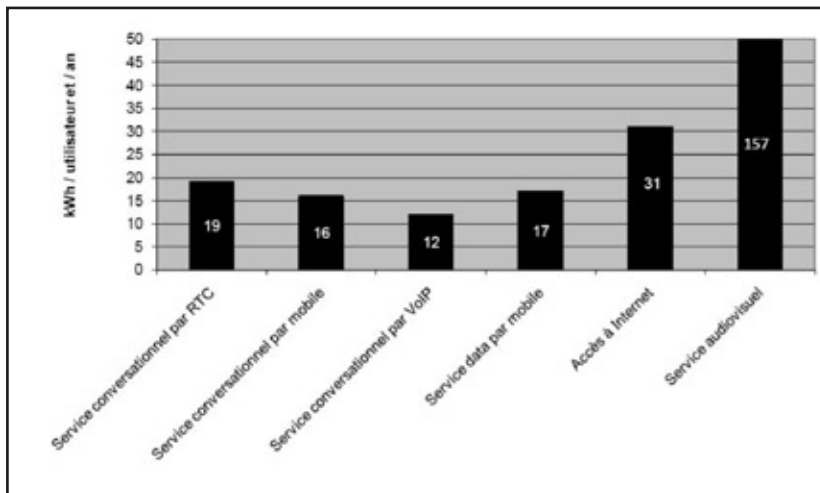


Figure 1 : Quantification énergétique des principaux services de télécom, côté réseau et pour un abonné grand public

On s'aperçoit que les consommations générées côté réseau varient fortement en fonction du service sollicité. Néanmoins, il est nécessaire de rentrer dans le détail des calculs et de bien comprendre les hypothèses retenues avant d'en tirer des conclusions et faire des comparaisons trop rapides.

D'un point de vue macroscopique – à l'échelle de la France –, peu de données existent aujourd'hui sur l'impact énergétique des TIC par rapport à la consommation totale du pays. Les travaux de thèse nous ont permis de quantifier la consommation du réseau requise pour fournir les services de télécoms aux abonnés grand public français. Par un calcul d'extrapolation des données de FT, nous chiffrons ainsi cette consommation à 2,5 TWh par an.

Lorsque l'on parle réseau, il ne faut pas négliger les serveurs d'Internet hébergés dans les data centers et dont le poids est grandissant. Pour avoir un ordre de grandeur de ce que cela représente en France, nous pouvons nous baser sur les travaux de Koomey qui a estimé la consommation mondiale de l'ensemble des serveurs d'internet à 126 TWh en 2005 (Koomey, 2007). En considérant la part d'internautes français et sous certaines hypothèses, nous estimons à 3,4 TWh par an la consommation des serveurs d'internet en France.

- Premiers éléments d'évaluation côté terminaux

Nous avançons qu'une différence majeure entre la consommation du réseau et celle des terminaux se situe au niveau des variations de consommation dans le temps: alors que la consommation des terminaux varie dans le temps en fonction des usages, ce n'est pas le cas du réseau. En effet, d'après des mesures réalisées sur un certain nombre d'infrastructures, en particulier des data centers, des stations de base et des DSLAM, nous constatons que le réseau consomme de manière quasi constante quelque soient les usages des abonnés.

Voici l'exemple de mesures réalisées sur une station de base 2G où l'on a étudié l'influence du trafic sur la consommation de la baie.

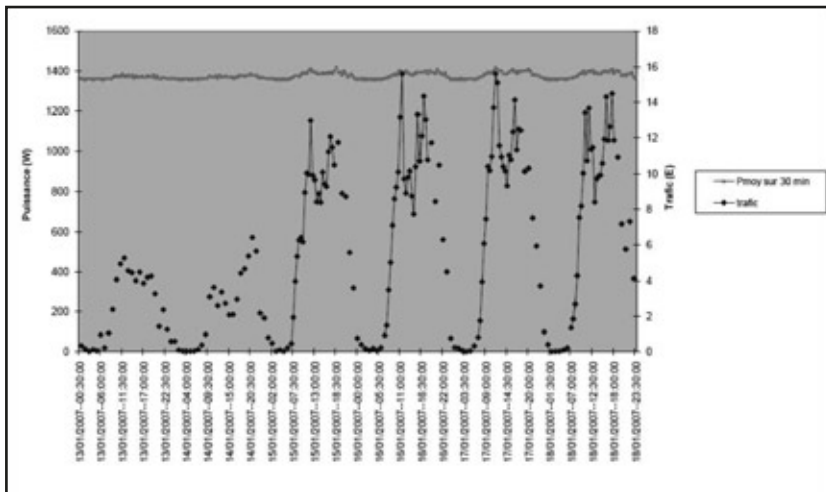


Figure 2: Variations de puissance et de trafic d'une baie 2G sur 6 jours

Il apparaît clairement que la consommation de la baie est quasiment constante, que le trafic soit nul la nuit ou maximal en heures de pointe.

Contrairement au réseau, les terminaux ont un niveau de consommation directement lié à l'usage et aux pratiques de communication des

abonnés. Laisser en veille ses équipements au lieu de les éteindre, choisir ses équipements (écran plat ou écran cathodique) sont des exemples de pratiques qui impactent directement la consommation. Ces paramètres d'usages sont donc essentiels lorsque l'on veut établir des bilans de consommations côté terminaux.

Nous avons mesuré l'impact sur la consommation de l'un de ces paramètres d'usages – le temps de communication d'un foyer sur les différents services de télécoms (téléphonie fixe, mobile et Internet) – à travers une étude statistique menée sur un échantillon de foyers clients de FT. En considérant des équipements moyens en termes de consommation, ce paramètre engendre déjà des différences importantes : de 124 kWh/an en moyenne pour la consommation des terminaux (téléphone fixe, téléphone mobile, PC) pour les foyers les plus petits consommateurs à 235 kWh/an pour les plus gros.

Conclusion : le cadre et les conditions d'un changement

Les interactions entre développement durable et TIC sont encore peu nombreuses ; les TIC ont un impact écologique mal connu et mal maîtrisé par nos sociétés. Néanmoins, ces interactions représentent aujourd'hui une problématique émergente, au cœur de nombreux débats, forums et autres initiatives (« TIC21 », « Sommet Mondial sur la Société de l'Information »,...).

Les TIC, nous l'avons montré, peuvent jouer un rôle prépondérant dans l'amélioration de la situation. Mais nous avons aussi montré que ce discours est encore un discours simplificateur ou « pédagogique » qui ne prend pas en compte la totalité des impacts et surtout les pratiques et les modes de vie de nos contemporains. Les téléservices ne sont pas mécaniquement des solutions à la question de l'énergie. Si l'économie du déplacement est un des axes de progrès, le gain n'est pas automatique ni en énergie, ni en progrès social.

Des impératifs écologiques, économiques et sociaux vont sans doute nous obliger à repenser nos modes de vie. Avec l'éveil des consciences, les entreprises de produits d'abord et maintenant les entreprises de services sont interpellées sur les conséquences à court et long terme de leurs activités. Le secteur des TIC peut ouvrir la boîte noire et offrir les moyens à chaque utilisateur de connaître la consommation énergétique de pratiques de communication. Pour les entreprises du secteur des TIC, il s'agit d'approfondir les recherches en analyse de cycle de vie et en écoconception de leurs produits et services, ce qui est aussi un impératif pour la réduction de l'impact énergétique des TIC.

Mais au-delà de ces « nécessités », l'objectif même du développement durable est aujourd'hui un levier fort pour l'innovation.

De nombreux projets œuvrant directement pour la maîtrise des risques environnementaux, l'amélioration ou la préservation de la qualité de vie exploitent le potentiel des TIC au service du développement durable : informations en temps réels, gestion et optimisation à distance des dépenses énergétiques, contribution à la sécurité des personnes, amélioration de l'efficacité des transports, traçabilité des produits et des déchets... On peut ainsi innover autrement dans le secteur de la santé, de l'éducation, du transport, de la sécurité ou encore des services publics.

Bibliographie

- BAER W., HASSELL S. et al., 2002. *Electricity Requirements for a Digital Society*. Rand Corporation.
- BARTHEL C., LECHTENBOHMER S. et al, 2001. GHG Emission Trends of the Internet in Germany. Japan & Germany: International Climate Policy & the IT-Sector, Wuppertal Institute.
- BERKHOUT F., HERTIN J., 2001. Impacts of Information and Communication Technologies on Environmental Sustainability: speculations and evidence. Brighton, Science and Technology Policy Research. 23 p.
- CREMER C., EICHHAMMER W. et al., 2003. Energy Consumption of Information and Communication Technology (ICT) in Germany up to 2010. Karlsruhe, Zurich, Fraunhofer ISI, CEPE.
- FAIST EMMENEGGER M., FRISCHKNECHT R. et al., 2003. LCA des Mobilfunksystems UMTS. Uster, ETHZ, Forschungsstiftung Mobilkommunikation.
- FTR&D – EPFL: Contrat de recherche. Analyse de cycle de vie des services de télécommunications, 2005 - 2006.
- KAWAMOTO K., KOOMEY J. G., et al., 2001. Electricity Used by Office Equipment and Network Equipment in the U.S. Energy Analysis Department, University of California Berkeley.
- KOOMEY J. G., 2007. Estimating total power consumption by servers in the U.S. and the world. Staff Scientist, Lawrence Berkeley National Laboratory and Consulting Professor, Stanford University. 31 p.
- KOOMEY J. G., CALWELL C., et al., 2002. Sorry, wrong number: The use and misuse of numerical facts in analysis and media reporting of energy issues. In *Annual Review of Energy and the Environment 2002*, pp. 119-158.
- KOOMEY J. G., CHONG H., et al., 2004. Network Electricity Use Associated with Wireless Personal Digital Assistants. In *Journal of infrastructure systems*.
- KOOMEY J. G., KAWAMOTO K., et al., 1999. Initial comments on « The Internet Begins with Coal ». LBNL-44698. Berkeley, CA, Lawrence Berkeley National Laboratory.
- KUEHR R., WILLIAMS E., 2004. Computers and the Environment: Understanding and Managing their impacts. Kluwer Academic Publishers.
- LACHENAL D., 2004. Le papier, un matériau complexe. L'industrie papetière mondiale, croissance prévue jusqu'en 2015.

MOKHTARIAN P.L., 2003. Telecommunications and Travel. In *Journal of Industrial Ecology*, Vol 6 (2), pp. 43-57.

PARK J., 2001. With Few People Discussing How Technology Affects the Environment, Myths Have Grown. In *Herald Tribune*.

Programme des Nations Unis pour l'Environnement PNUE, 2005.

RODHAIN F., 2005. Appel à des recherches sur l'Écologie et les TIC. Université Montpellier 2.

ROTH K., GOLDSTEIN F., et al., 2002. Energy Consumption by Office and Telecommunications Equipment in Commercial Buildings, Volume I: Energy Consumption Baseline. Cambridge, MA, USA, ADL, 201 p.

TURKV., 2001. Assessing the Resource Intensity of the Internet Infrastructure. Data Analysis for a Material-Flow Oriented Approach & First Results on Electricity Consumption., Lund University, Sweden, 99 p.