



HAL
open science

Les technologies de l'information à l'épreuve du développement durable

Fabrice Flipo, François Deltour, Michelle Dobré

► **To cite this version:**

Fabrice Flipo, François Deltour, Michelle Dobré. Les technologies de l'information à l'épreuve du développement durable. Natures Sciences Sociétés, 2016, 24 (1), pp.36-47. 10.1051/nss/2016007 . hal-01443660

HAL Id: hal-01443660

<https://hal.science/hal-01443660v1>

Submitted on 30 May 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les technologies de l'information à l'épreuve du développement durable

Fabrice Flipo¹, François Deltour², Michelle Dobré³

¹ Philosophie, Mines-Télécom/TEM, Laboratoire LCSP, Université Paris Diderot-Paris 7, 91011 Évry, France

² Sciences de gestion, Mines de Nantes, Laboratoire LEMNA, 44307 Nantes, France

³ Sociologie, Université de Caen Normandie, Laboratoire CERReV, CS 14032 Caen cedex 5, France

Tout devient « *smart* », c'est-à-dire, implicitement, connecté, et cela est sensé nous rendre la vie plus facile et contribuer à protéger la planète des nuisances des systèmes de communication habituels en économisant des déplacements, tous générateurs de pollutions innombrables et mal connues... Cet article, issu d'un projet de recherche, nous invite à lever le voile sur ces innovations techniques dont le but premier n'est pas de répondre à des enjeux environnementaux. Une analyse critique nécessaire qui a notamment débouché sur un rapport publié en novembre 2012 aux Presses des Mines.

La Rédaction

Mots-clés :
technologies ;
développement
durable ;
interdisciplinarité ;
technologies de
l'information et de la
communication

Résumé – Les termes de « TIC vertes », « *Green IT* » ou « éco-TIC » se propagent depuis plusieurs années afin d'affirmer le potentiel écologique des technologies numériques, tout en soulignant – par effet de miroir – les progrès qui doivent être accomplis dans ce secteur. L'article questionne la propension des TIC à rendre notre société plus écologique ou, au contraire, à générer des pollutions et des « effets rebonds » qui pourraient bien faire plus qu'annuler les bénéfices escomptés. Quels enjeux sont aujourd'hui associés à ces termes ? En croisant les apports de plusieurs disciplines, l'article montre que la tendance, partagée par de nombreux acteurs, à s'en remettre à l'évolution technique revient à ajourner le problème environnemental posé par les TIC, sans le résoudre.

Keywords:
technologies;
sustainable
development;
interdisciplinarity;
information and
communication
technologies

Abstract – **How do information technologies stand the test of sustainable development?** The words “green ICTs” (information and communication technologies), “green IT” or “eco-ICTs” have spread in recent years either asserting the ecological potential of digital technologies or, on the contrary, underlining the progress needed in this field. Our paper raises the issue of ICT production and use, showing how they help to steer human societies towards more ecological ways, or on the other hand how they generate pollutions and “rebound effects”, which might more than cancel expected benefits. What stakes are currently involved in these terms? By crossing the contributions of several disciplines, the paper highlights a trend shared by many stakeholders who believe that the problem can be solved through technical advances and thus can be dropped out of their agendas.

En 1990, le numérique est presque inexistant. L'équipement des foyers est proche de zéro. Le téléphone est filaire, souvent à cadran. Le téléphone mobile existe déjà, mais il est cher et encombrant, réservé à quelques usages précis. L'arrivée des « autoroutes de l'information » marque une rupture : en 1993, *Netscape Navigator* ouvre les portes d'un monde « virtuel » et permet une nouvelle activité, « surfer ». Le réseau ne compte encore que 130 sites

web. Quatre ans plus tard, ce sont plus d'un million de sites qui sont recensés, et dès lors ce qui compte est d'être capable de se repérer. Amazon est fondée en 1995, Google en 1998, et bientôt c'est la bataille autour des « portails » d'information.

Apparaît alors un discours bien séduisant : une « nouvelle économie », « immatérielle », car tirée par l'information, serait en voie d'émergence. L'information, arguait-on

déjà dans les années 1970, permet d'aller contre les funestes avertissements de Nicholas Georgescu-Roegen et du Club de Rome. Les technologies de l'information et de la communication (TIC) ne « produisent » rien d'autre, à première vue, que de la mise en relation. Or c'est justement ce qui manque, semble-t-il : davantage de mise en relation ne pourrait conduire qu'à une société mieux (auto)contrôlée. Les TIC apporteraient donc « la maîtrise de la maîtrise » cherchée par Michel Serres dans son *Contrat naturel*. Les TIC apparaissent comme la clé du développement durable, selon certains spécialistes de cette question : « Le salut de la planète, la cohésion sociale et la reprise de la croissance sous une nouvelle forme semblent passer par la réussite et la vitesse de cette révolution » (Faucheux *et al.*, 2010). Les TIC sont vues comme l'outil validant l'hypothèse d'une « courbe de Kuznets » (Zuindeau, 2005), en forme de « U inversé » : après une période de forte croissance des inégalités et de la pollution, correspondant à peu près au XIX^e siècle européen, la tendance s'inverse et l'économie tend à se « dématérialiser ».

Mais en 2007, Gartner – le cabinet d'étude de référence dans le secteur des nouvelles technologies – révèle que le secteur des TIC est à l'origine d'une quantité de gaz à effet de serre comparable à celle produite par l'aviation : 2 % des émissions globales (Mingay, 2007). Le chiffre émeut le secteur. Déstabilisé, il contre-attaque : se concentrer sur les 2 %, c'est oublier les 98 % restants, pour la réduction desquels les TIC sont une solution. À l'échelle mondiale, ce serait un potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre de 15 à 30 % d'ici 2020 (GeSI, 2008). Ces chiffres sont en grande partie repris par les autorités publiques, et même par certaines ONG. L'espoir est-il fondé ?

Le présent article soutient que les bénéfices écologiques espérés des TIC ne sont pas fondés, pour une raison principale : ils s'appuient sur des scénarios de nature ingénieriale reposant sur des hypothèses sociales, économiques et politiques qui ne sont pas problématisées. Cette absence de raisonnement hors de l'ingénierie est d'ailleurs reconnue par le rapport du GeSI qui indique que l'effet rebond n'a pas été pris en compte dans les analyses. En résumé, une technologie ne peut à elle seule changer les valeurs d'une société. L'émergence des TIC ne peut, en soi, changer les institutions d'une société tournée vers la croissance économique. Dans cette perspective, les TIC seraient plutôt une « troisième révolution industrielle » : une révolution de plus, dans la même direction que les précédentes. Cette conclusion est tirée non seulement d'un examen détaillé du jeu d'acteurs qui s'est mis en place ces dernières années autour de la question des « TIC vertes », mais aussi d'une analyse des implications matérielles des différents déterminants de l'évolution des TIC, dans une approche interdisciplinaire mobilisant sciences de gestion, sociologie, philosophie et

sciences de l'ingénieur, à l'issue d'une étude menée sur deux ans qui a déjà conduit à la publication de deux livres (Flipo *et al.*, 2012, 2013)¹.

Méthodologie

Le périmètre de l'étude que nous avons menée a été restreint aux TIC numériques et a donc exclu les autres véhicules de l'information : analogique, papier, déplacement physique, etc. Cherchant à construire la problématique du point de vue de l'utilisateur final, qui est aussi le citoyen, l'étude s'est focalisée en particulier sur deux produits emblématiques et relativement stables : l'ordinateur et le téléphone portable (Arthaut, 2006). Le domaine géographique et administratif couvert est celui de la France.

Les dispositifs et corpus d'investigation adoptés comportent notamment une bibliographie dans les domaines disciplinaires correspondant aux spécialités de chacun des membres de l'équipe, une étude de la réglementation et des grandes politiques publiques, une webographie, deux *focus groups*, l'un sur les aspects écologiques pour les usagers de l'ordinateur personnel et l'autre autour du téléphone portable, et la réalisation de dix-sept entretiens auprès de cinq acteurs identifiés comme des acteurs clés dans la définition de ce que sont les « TIC vertes » : équipementiers, distributeurs, consommateurs, associations écologistes et autorités publiques.

Le fil conducteur est le signifiant « TIC vertes », « éco-TIC » ou « *green IT* », qui a pris, avec le temps, deux sens différents : « *Green IT* » qui désigne des TIC « vertes », susceptibles d'avoir une moindre incidence sur l'environnement, et « *IT for green* », qui désigne l'usage de TIC, vertes ou non, dans des politiques qui cherchent à écologiser les modes de vie. C'est un signifiant qui est à la fois répandu et compris par les acteurs. La recherche a visé à identifier la manière dont l'enjeu est appréhendé par les acteurs, puis à mettre en regard les perceptions, les représentations et les convictions avec les déterminants plus généraux dans lesquels ces acteurs sont pris, pour évaluer la portée des pratiques et des discours de chacun d'entre eux.

Le choix de l'interdisciplinarité vient de ce que la question, pour être traitée de manière pertinente pour les acteurs et la société, doit nécessairement intégrer diverses dimensions (technique, économique, sociale, etc.) en l'absence desquelles l'analyse serait trop partielle pour être conclusive ou convaincante. L'interdisciplinarité

¹ L'article est issu d'un projet de recherche cofinancé par la Caisse des dépôts et consignations et la Fondation Télécom (Flipo *et al.*, 2009). Ce projet a notamment débouché sur un rapport publié en novembre 2012 aux Presses des Mines (Flipo *et al.*, 2012).

Tableau. Analyse des différentes catégories d'effets des TIC (Flipo *et al.*, 2012, 2013).

Effets de premier ordre (description de l'existence écologique des TIC)	Épuisement des ressources, consommation énergétique, gestion des déchets et diffusion de toxiques	
	Impacts positifs	Impacts négatifs
Effets de deuxième ordre (substitution à fonction sociale égale)	Applications environnementales des TIC (par exemple le monitoring) Dématérialisation, virtualisation (de systèmes), moindre mobilité (visioconférences, échanges distants)	Les produits TIC s'ajoutent aux produits existants Augmentation des transports rapides et des emballages Augmentation de la demande
Effets de troisième ordre (modification des fonctions sociales)	Changement dans les modes de vie tel que consumérisme « vert »	« Effet rebond » comme par exemple la croissance du voyage à longue distance, le temps disponible pour consommer (l'accroissement en volume de la consommation annule les effets de l'écoconception)

permet de montrer ce que les études disciplinaires comportent de points aveugles, menant à des conclusions erronées.

Les études d'ingénieur, en particulier, passent beaucoup trop vite de solutions techniques locales à des promesses pharaoniques en termes de potentiel de réduction des impacts globaux, renvoyant l'écart entre le possible et le réel à un mystérieux « effet rebond » dont la gestion relèverait des sphères économiques et politiques, hors de leur portée. Notre analyse montre plutôt que le cadrage des problèmes en termes de logique d'ingénieur est l'un des obstacles les plus importants sur la voie d'une politisation des enjeux.

Le contexte et la problématique

TIC d'un côté, développement durable de l'autre

La question des « TIC vertes » se construit à l'interface entre numérique et développement durable. Vus de loin, les liens entre les deux semblent évidents : le rapport du MIT au Club de Rome a été un pionnier dans l'utilisation de modèles numériques, qui se sont généralisés depuis ; la Terre est sans cesse observée par de multiples satellites ; l'émergence de la « société civile » à l'échelle mondiale n'aurait guère pu se faire sans les facilités de communication offertes par les TIC ; etc. Pourtant, dans les faits, les deux domaines se sont construits de manière largement disjointe, que ce soit au niveau des négociations internationales, des ministères, des réglementations, et même des mouvements sociaux. Au sommet de Rio en 1992, les TIC sont très marginales, tout comme à la Conférence Rio+20. À l'inverse, les différents sommets de régulation de la société de l'information n'abordent jamais la question écologique. Dans divers documents de la littérature grise, économique ou technique, se développe par contre l'idée que la croissance pourrait être dématérialisée ou découplée de l'empreinte écologique, et que les TIC seraient à cet égard un levier essentiel. La

stratégie de Lisbonne initiée par l'Union européenne en 2000 s'appuie ainsi sur l'usage massif des TIC pour initier une « croissance verte », évoquée dès le rapport Nora-Minc (Nora et Minc, 1978). Comment expliquer ce décalage entre technique et politique ?

Équipement

Quelques données marquantes peuvent être rappelées. Les dépenses affectées à ce poste sont celles qui ont le plus fortement progressé ces dernières années, après celles relatives à la santé. Elles continuent de progresser, et sont aussi probablement responsables de la hausse des dépenses d'équipements (4,6 % en 2014) dans la catégorie des « autres biens durables », dans laquelle l'Insee regroupe les achats de matériel téléphonique, plaques de cuisson et lave-vaisselle. Elles ont été multipliées par six depuis 1990, quand la dépense totale n'a progressé que d'environ 20 %. En France, le marché des smartphones connaît par exemple une hausse de 66,5 % en volume sur l'année 2012 (76 % en 2011). L'équipement suit. Plus des trois quarts des ménages français possèdent un micro-ordinateur en 2012 (82 % des individus de 12 ans et plus en 2014, contre 54 % en 2007), et autant ont un accès Internet à domicile (Bigot *et al.*, 2013 ; Insee, 2014 ; Direction générale des entreprises, 2015). Et les TIC, ce sont aussi les réseaux, les photocopieurs, les écrans, les serveurs, etc. Une société comme Google possède entre un et deux millions de serveurs, par exemple (le chiffre exact reste confidentiel).

Classification des effets

Les effets du déploiement des TIC relativement aux enjeux écologiques sont généralement classés en trois grandes catégories, à la suite de Berkhout et Hertin (2001) : premier ordre (effets « directs »), deuxième ordre (substitution à fonction sociale identique) et troisième ordre (modifications des fonctions sociales) (voir Tableau). Les effets directs positifs seraient le monitoring

environnemental (imagerie satellite, etc.), tandis que les effets négatifs seraient la consommation d'énergie et les déchets.

Cette présentation extrêmement répandue induit en erreur. Mettre en regard l'imagerie satellite et sa consommation d'énergie, c'est déjà induire de manière sous-jacente une discussion sur les coûts et les bénéfices, le « positif » et le « négatif », ouvrant sur la question de la substitution. Premier et second ordre sont donc assez largement confondus.

Nous proposons une analyse des différentes catégories d'effets des TIC distinguant le descriptif du normatif. Une infrastructure informationnelle a toujours une existence écologique, qu'elle soit sous forme papier, charnelle (déplacement physique, échanges oraux) ou numérique. Cette phase de description des faits (1^{er} ordre) est soigneusement détachée de toute la discussion sur la substitution (2^e ordre) ou de la transformation sociale (3^e ordre), qui engagent des jugements de valeur (coûts et bénéfices, « positif » et « négatif ») et des normes. D'où la classification présentée dans le tableau.

Écologie des infrastructures numériques

Les données sur les effets de premier ordre sont à la fois nombreuses (des centaines de références), disparates (périmètres, méthodologies, etc.) et insuffisantes (elles sont loin de couvrir tout le champ). Coroama *et al.* (2015) montrent ainsi que les estimations de l'intensité énergétique d'Internet (énergie consommée par unité d'information) varient selon les études d'un facteur 20 000. Nous ne pouvons donner ici qu'un aperçu assez limité, le lecteur pourra se reporter à notre ouvrage ou à d'autres sources² pour le détail.

Du côté de l'énergie, les TIC représentent entre 5 % (Lanoo, 2013) et 10 % (Mills, 2013) de la consommation mondiale d'électricité. En France, elles absorbent 14 % de la consommation électrique, soit près de sept réacteurs nucléaires, et génèrent 5 % des émissions annuelles de gaz à effet de serre (Breuil *et al.*, 2008). En 2009, le journaliste et essayiste Nicholas Carr montrait qu'un avatar sur Second Life consomme autant d'énergie qu'un Brésilien de la classe moyenne, soit 1 750 kWh/an. À cela s'ajoutent les observations en dynamique. La consommation mondiale a progressé de 6,6 % par an (2007-2012). En France, cette croissance serait de l'ordre de 10 % par an, et a représenté, entre 1990 et 2005, un accroissement de 635 kWh par ménage et par an (EnerTech, 2008), annulant totalement les gains énergétiques obtenus sur tous les autres équipements énergétiques domestiques sur la même période (réfrigérateurs A++, etc.), ce qui explique que la forte hausse de consommation soit restée largement inaperçue, aucune centrale nucléaire n'ayant été construite en plus dans l'intervalle.

Sans trop détailler la répartition par poste, les parts principales, au niveau de l'UE par exemple, sont les terminaux (deux tiers du total, principalement ordinateurs et écrans) et le réseau (un tiers du total, la moitié pour le réseau, le reste à parité pour les infrastructures télécom et cellulaire) (BIO IS, 2008). L'équilibre est toutefois trompeur car la phase de construction des équipements (souvent réalisée hors de l'UE) peut proportionnellement représenter entre un quart (télévisions) et 99 % (téléphones portables) de la dépense énergétique totale (Breuil *et al.*, 2008). La fin de vie par contre a généralement peu d'incidences énergétiques.

En dynamique toujours, on observe une course entre gains de performance et accroissement en volume. Sur les équipements, les gains sont notamment réalisés sur les chargeurs ou les écrans. Sur le réseau, c'est la fibre optique, l'efficacité énergétique des stations de base et des centres de données. Mais le nombre de produits et l'augmentation de la demande en bande passante compensent ces gains en valeur absolue : c'est ce que les étudiants appellent « l'effet rebond », concept fréquemment convoqué pour expliquer l'inefficacité globale des solutions locales, sur lequel nous reviendrons plus loin. Si la demande en vidéo a beaucoup progressé, par exemple, en dépit des gains en efficacité, c'est parce que les écrans sont plus nombreux et plus grands (Souchon Foll, 2008).

Sur les aspects « matière », le secteur des TIC est à l'origine de 30 % de la demande mondiale du minerai d'argent, 12 % de l'or, 30 % du cuivre, et jusqu'à 80 % du ruthénium ou de l'indium selon Umicore (Hagelüken, 2008), l'un des leaders mondiaux des matériaux. Des ruptures temporaires d'approvisionnement se sont déjà produites. Certaines filières, comme le coltan, sont pointées du doigt comme alimentant les guerres en Afrique (République démocratique du Congo). Ceci conduisait déjà Bihouix et de Guillebon (2010) à classer les métaux utilisés dans les TIC dans la catégorie « à risques élevés », à rebours de ce que disait le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) en 2005.

Ce flux de matière aboutit sans surprise à une production conséquente de déchets. Il croît de 3 à 5 % par an, dans un pays comme la France (Ademe, 2012). Le taux de récupération et de recyclage est généralement faible. Pour le téléphone mobile, le taux de tri et recyclage est estimé entre 16 % (Afom, 2010) et 28 % (Bigot et Croutte, 2011)³,

³ Dans le détail, les chiffres de l'Afom (2010) indiquent que 10 % des clients ont rapporté leur téléphone dans une boutique de l'opérateur, 3 % l'ont rapporté dans un magasin qui vend des téléphones mobiles, 2 % l'ont rapporté dans un conteneur/ une poubelle pour le tri, 1 % l'a rapporté à la déchetterie. Les chiffres du Crédoc (Bigot et Croutte, 2011) précisent que 16 % des utilisateurs de téléphones mobiles recyclent leur appareil en le déposant dans une poubelle de tri, 10 % le ramènent en boutique, 2 % le ramènent à leur employeur.

² Notamment www.ecoinfo.cnrs.fr

ce qui reste plus faible que les taux de recyclage aujourd'hui atteints sur les emballages (67 %) ou le papier (47 %) (Didier et Stiller, 2013). Enfin, les TIC utilisent des produits toxiques, incorporés (retardateurs de flamme bromés, phtalates, chrome hexavalent ou encore béryllium) ou lors de leur fabrication (solvants, acides, métaux lourds, composés organiques volatils notamment) (Kuehr et Williams, 2003 ; Flipo *et al.*, 2007). Malgré les progrès importants de la filière depuis un peu plus d'une décennie, tout n'est pas récupéré, et d'ailleurs tout n'est pas récupérable.

Le positionnement des acteurs

Quel est le positionnement des principaux acteurs à l'égard de ces flux ? À l'aune des investigations empiriques, les acteurs se mobilisant autour des « TIC vertes » nous ont paru pouvoir être regroupés en cinq catégories idéal-typiques :

- deux dans la sphère marchande, à but lucratif : les équipementiers et les distributeurs ;
- deux dans la sphère non marchande : les associations écologistes et les autorités publiques ;
- les consommateurs.

Les équipementiers et fabricants

Ces entreprises industrielles sont susceptibles de mener leurs activités dans les filières informatique, télécom ou électronique. Suite à des logiques de concentration de la production, les acteurs les plus importants dans chaque domaine sont des firmes multinationales qui suivent des logiques mondialisées de production : chiffres d'affaires en milliards d'euros et effectifs en centaines de milliers de personnes (Direction générale des entreprises, 2015). À côté des noms emblématiques du secteur (Sony, Apple, etc.) coexistent de très nombreuses sociétés de taille plus réduite. C'est fréquemment au niveau des multiples structures communes à ces sociétés, consortiums ou syndicats professionnels (la Fédération des industries électriques, électroniques et de communication [FIEEC], le Groupement des industries de l'équipement électrique, du contrôle-commande et des services associés [Gimélec] ou l'Afnum en France), que sont prises en charge des questions considérées comme non opérationnelles, dont relève généralement la problématique environnementale. *The Green Grid*, *The Green Touch* ou *Climate Savers Computing* sont des exemples d'initiatives de ces acteurs dans le domaine.

Au niveau de la firme, la question environnementale relève d'un choix stratégique. Dans les faits, le respect de la réglementation en vigueur (internationale ou directives européennes) est le premier horizon. Cet effort peut même être considéré comme conséquent dès lors que la

réglementation est récente et que s'y conformer nécessite des investissements importants. L'attitude des entreprises est ambivalente : la réglementation est coercitive mais elle a des effets positifs attendus. D'ailleurs, ces entreprises sont parties prenantes dans sa conception. L'exemple le plus cité est la directive relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (directive DEEE 2002/96/CE, entrée en vigueur en France en 2005) qui a pu créer un intérêt pour l'écoconception.

Au-delà du respect de la réglementation, c'est l'efficacité énergétique qui concentre l'attention des équipementiers. Le cas des fermes de serveurs en est le plus emblématique. Plusieurs explications peuvent être données à cet état de fait. Une explication réglementaire, tout d'abord, avec la directive d'écoconception (directive 2009/125/CE). C'est aussi un enjeu porteur, en termes de communication. C'est enfin une exigence du marché. L'écoconception est un objectif plus ambitieux, tiré par l'enjeu de la fin de vie du produit, dont l'entreprise est désormais responsable. Mais la mise en œuvre est plus complexe. De nombreux cabinets de conseil se sont créés sur le secteur. La FIEEC et le Gimélec ont impulsé leur propre outil : le logiciel EIME de la société CODDE, dont les données et le fonctionnement sont confidentiels.

Le discours tend toutefois à modérer les nuisances créées par le secteur pour au contraire faire des TIC l'une des grandes solutions aux problématiques environnementales. Le rapport *SMART 2020* (GeSI, 2008) illustre cette tendance.

Les distributeurs

En ce qui concerne les distributeurs, les données sont plus confidentielles, car stratégiques. Dans le secteur des télécoms, les publications dédiées au marketing et à la distribution estiment cependant que la plus grande partie des terminaux est écoulée par les boutiques des opérateurs (Dubreuil et Roger, 2003), et non par les supermarchés par exemple.

Toujours à propos de la téléphonie mobile, le constat est que les moyens des opérateurs sont importants. Ils peuvent compter sur leur taille imposante pour vendre des services à un prix inférieur au coût de revient, qui est difficilement calculable. La généralisation des terminaux actuels a par exemple pour cause principale la technique de la « subvention » interne (Dubreuil et Roger, 2003) : gratuité de l'appareil, qui est payé par d'autres sources de revenus, par exemple certaines tranches de services particulièrement rentables. La segmentation de marché se fait en fonction de la « zone d'acceptance » des individus, c'est-à-dire « l'ensemble des services que l'utilisateur [-type] est prêt à payer selon les conditions d'usage qui lui sont offertes » (Dubreuil et Roger, 2003). Les opérateurs estiment être sur un marché « de l'offre », avec une demande qui est largement à créer.

Les opérateurs sont peu mobilisés par rapport aux enjeux écologiques. Leur action se borne généralement à l'application de la réglementation, notamment la reprise « un pour un » des terminaux usagés (directive DEEE). Certaines initiatives vont un peu plus loin, par exemple l'affichage environnemental, et la mise à disposition de téléphones de seconde main. Les opérateurs disent que le vert ne fait pas vendre. Les faibles aspirations des clients sont expliquées par quatre facteurs : la primauté du rapport qualité (fonctionnalités)/prix ; la difficulté à faire le lien entre un achat individuel et une conséquence écologique globale ; le refus de payer plus cher pour un produit plus vert ; des pouvoirs publics qui apparaissent comme « brouillant les pistes », en multipliant les législations et les contraintes. D'où cette conclusion : rien ne sert d'être trop « en avance », si on ne vend rien. Les TIC vertes, dans ce cas, c'est d'abord faire des efforts sur l'organisation de l'entreprise (énergie, déchets, etc.).

Les opérateurs ne remettent en cause ni la croissance du numérique, ni la croissance des acteurs économiques du secteur. Que les nouveaux services augmentent considérablement la demande d'énergie faite aux serveurs est réinterprété comme un coût nécessaire à consentir pour des gains beaucoup plus élevés par ailleurs. Ceci s'illustre parfaitement dans la charte d'engagement volontaire du secteur télécom (FFT, 2010) qui – en parallèle de mesures de sobriété énergétique – appelle à « un vaste plan de diffusion des TIC dans l'industrie, les services et la vie quotidienne des Français ». L'idée est que « *green is competitive* » (Porter et Van der Linde, 1995).

Les associations écologistes

Plusieurs associations se sont mobilisées sur la question. Historiquement, tout commence avec la Silicon Valley Toxics Coalition, en Californie, et le Basel Action Network, qui dénoncent la pollution et les exportations de déchets vers les pays pauvres. Greenpeace cible en 2005 Apple au motif que l'entreprise, sur ce sujet, ne pense pas « différemment », contrairement à ce que dit son slogan (« *think different* »). La société est présentée comme étant à la traîne. Par la suite, Greenpeace (2010) met en place un classement régulièrement actualisé, fondé sur les déclarations des entreprises. D'abord focalisé sur la fin de vie et les toxiques, il inclut ensuite l'énergie et le climat. Les solutions proposées par l'association sont la substitution (par des dispositifs moins impactants) et la collecte (en fin de vie). En 2011 et 2014, Greenpeace se penche sur les centres de données et montre que si Internet était un pays, il serait le 5^e consommateur mondial d'électricité. L'organisation veut aussi pousser les grands utilisateurs de serveurs (Facebook, Google, etc.) à revoir leur politique d'approvisionnement en énergie (renouvelable, etc.).

Le World Wildlife Fund aborde la question de manière variée et manifestement peu coordonnée. Le volet « toxiques » est intégré dans la campagne « DetoX » qui entend montrer la présence de produits chimiques dans les organismes humains ou animaux. Le volet « énergie » est présent dans un programme plus général d'information des consommateurs, *via* un classement des produits, le « *TopTEN* ». L'organisation développe un partenariat avec Orange sur la dématérialisation des factures, l'évaluation environnementale des produits, l'écoconception des boutiques, la promotion de la collecte et du recyclage, et la sensibilisation aux ondes électromagnétiques. Mais le WWF emboîte aussi le pas aux arguments du secteur marchand, présentant les TIC comme une solution pour réduire massivement les émissions de CO₂. L'organisation se démarque toutefois avec les « trois lois du Green IT » (WWF, 2008) : la nécessité de « vouloir » ces réductions, qui ne se feront pas de manière spontanée ; la conscience que gouvernements et entreprises ne les souhaitent pas encore suffisamment ; et l'existence, pour chaque solution, de contre-effets qui peuvent renforcer ou entraver le passage vers une société à faible contenu en carbone.

France nature environnement s'est fortement mobilisée sur la mise en place de la directive DEEE, que nous avons abordée dans une autre étude (Flipo et al., 2007).

Les Amis de la Terre et le Centre national d'information indépendante sur les déchets sont les seuls à aborder la question de l'obsolescence accélérée. Les associations analysent l'évolution du marché des équipements ménagers et dénoncent les différentes astuces qui permettent de rendre un appareil obsolète afin qu'il soit rapidement remplacé par un nouveau produit : des produits indémontables, la sophistication croissante des appareils, l'orchestration de l'effet de mode, etc. D'où une réduction de la durée de vie moyenne des équipements TIC et électroménagers courants. Pour atténuer ces effets, les associations demandent notamment des garanties plus longues ou l'obligation de continuer à fabriquer des pièces détachées.

Les autorités publiques

Les positions des autorités publiques s'insèrent dans leurs politiques générales en matière de durabilité. Spécifiquement sur la question de la société de l'information, au niveau européen comme au niveau français, les politiques publiques s'intéressent surtout à la régulation du marché des TIC (libéralisation du secteur des télécommunications, création du marché unique, directive « Télévision sans frontières », adoption de la norme GSM, etc.), à la stimulation de son évolution (mise en œuvre de nouvelles technologies, de nouveaux produits et de nouveaux services, etc.) et à l'exploitation des

avantages économiques : amélioration des services publics (e-gouvernement, e-santé, *e-learning*, douane électronique) et privés (*e-business*) et lutte contre la fracture numérique (*e-inclusion*). Dans l'initiative « i2010 : la société de l'information et les médias au service de la croissance et de l'emploi » qui coiffe l'ensemble dans les années 2000, la question de l'écologie ou du développement durable est marginale, elle n'apparaît que sous l'angle de l'efficacité énergétique (notamment voitures et infrastructures de transport intelligents).

Quand le sujet des éco-TIC est évoqué au niveau de la Commission européenne, la direction générale des Réseaux de communication, du Contenu et des Technologies (DG CONNECT) range clairement les TIC du côté des solutions, s'alignant largement sur la position du secteur marchand. La direction générale en charge de l'Énergie (DG ENER) avait déjà identifié les TIC comme un levier important pour le plan d'action pour l'efficacité énergétique (Commission européenne, 2011). Les instruments de recherche sont mobilisés en ce sens, par exemple, le programme « Intelligent Energy Europe ». La Stratégie européenne de développement durable, dont le poids normatif reste comparativement plus faible, ne s'écarte pas de cette perspective et voit dans les TIC l'un des moyens pour briser le lien entre croissance et dégradation de l'environnement.

Le constat est similaire au niveau de l'État français. L'enjeu du développement durable n'apparaît pas dans les programmes nationaux TIC. À un premier niveau, tout est orienté vers la croissance économique et de manière plus secondaire vers la dimension sociale (santé, seniors, notamment). Le rapport « TIC et Développement durable » réalisé en 2008 par le Conseil général des technologies de l'information et le Conseil général de l'environnement et du développement durable (Breuil et al., 2008) est le premier à pointer le lien avec l'environnement. Il prend globalement acte des impacts mais conclut que « les TIC offrent ainsi de multiples opportunités pour répondre à l'objectif ambitieux de réduction de la consommation énergétique que s'est fixé la France ». Suivent dix-neuf recommandations visant à rendre les TIC plus sobres en énergie ou à promouvoir leurs usages permettant des gains en carbone. Et puisque l'impact écologique du numérique commence à inquiéter, le rapport insiste sur la nécessité de rassurer le consommateur, « en conséquence de l'intérêt objectif de la profession » (Breuil et al., 2008). En tant qu'acheteurs, les acteurs publics intègrent depuis 2006 explicitement l'enjeu *via* le Code des marchés publics et la référence aux écolabels. Des effets sont perceptibles : 50 % du chiffre d'affaires de l'Union des groupements d'achats publics sont réalisés avec des produits intégrant au moins une caractéristique environnementale. Pourtant, la dernière version en date du *Guide de l'acheteur public pour les marchés publics d'équipements des systèmes audiovisuels et de vidéocommunication*, publié

en 2007, ne fait aucune mention de cet aspect. Même constat pour un guide plus récent (2011), portant sur le secteur des jeux et jouets.

Les consommateurs

Le consommateur est le destinataire de tous les discours provenant des médias, militants associatifs, pouvoirs publics, producteurs et distributeurs. Tous ceux-ci se tournent dans sa direction lorsqu'ils veulent ou disent encourager l'écologisation des produits de grande consommation (Dobré et Juan, 2009).

Un premier enseignement des *focus groups* réalisés est que la dimension écologique n'est jamais évoquée spontanément à propos de l'ordinateur ou du téléphone mobile – même indépendamment du prix à l'achat. Ce sont diverses caractéristiques d'usage qui sont mises en avant pour le choix d'un produit. En creusant un peu plus, on découvre que le consommateur n'agit pas ainsi par indifférence ou ignorance, mais dans une attitude active de dénégation du risque et de transfert des responsabilités sur les pouvoirs publics, avec la conviction qu'en cas de problème ces derniers n'hésiteront pas à agir (notamment par la réglementation), puisqu'ils ont été investis de la responsabilité de tenir les risques éloignés des citoyens. Ainsi, une participante au *focus group* dit en avoir « la preuve » car « il y a des tas de choses écrites au dos des appareils » ; ou pour cet autre participant, « ils ne peuvent pas laisser des produits dangereux dans la nature ». Le terme « ils » renvoie ici indistinctement aux pouvoirs publics, aux fabricants et aux distributeurs, à un ensemble institutionnel qui, malgré le flou qui l'entoure, est paré de vertus protectrices indiscutables.

Le premier lien spontané entre les TIC et l'environnement évoqué par les consommateurs concerne les ondes électromagnétiques et les problèmes de santé, qui ont fait l'objet de traitement médiatique. Il faut insister un peu pour faire émerger un second aspect : le déchet, la fin de vie. L'objet est jugé suffisamment complexe et sophistiqué pour être très souvent stocké dans les maisons plutôt que jeté dans le tout-venant, dans l'attente d'une solution collective dont il est tenu pour à peu près certain qu'elle viendra, tôt ou tard. Les téléphones portables garnissent les tiroirs où ils attendent d'être utilisés en cas de panne du téléphone courant. Même démodé, déclassé par l'obsolescence technique, le téléphone mobile reste un « objet vivant », il ne se transforme pas facilement en déchet. L'étude AFOM (2010) indiquait que 52 % des usagers gardaient leur vieux téléphone. Les ordinateurs sont donnés aux bricoleurs supposés savoir les réparer, les adapter aux évolutions techniques et leur donner une « seconde vie ». Mais très rarement on songe à les jeter comme n'importe quel déchet après l'usage. Ces objets sont, au fond, considérés comme dangereux, sans que cette connaissance soit formalisée ou même formulable.

Un troisième et dernier lien est la consommation d'énergie, mais le propos reste vague, avec la conviction que la consommation est faible, par rapport à d'autres dispositifs. L'objet est jugé techniquement trop complexe pour être évalué.

Quand les participants cherchent à savoir ce que pourrait être une TIC « verte », écologique, c'est l'alimentation solaire qui émerge en premier. L'idée d'une production musculaire d'énergie revient aussi assez souvent (même si évoquée de manière humoristique, car personne n'y serait prêt), avec celle du recyclage. L'avis qu'une TIC écologique est impossible s'exprime facilement, non sans contradiction néanmoins avec la foi largement répandue dans la prise en charge institutionnelle de ces aspects, ou dans des solutions à venir. Les participants infèrent que les ingénieurs vont inventer des solutions, même si l'on en pressent la difficulté technique. La conscience de la nécessité de changer, même diffuse, est largement partagée. Enfin, vient l'idée d'appareils plus simples et plus rustiques, réparables. Les solutions imaginées impliquent donc des changements plus conséquents et plus visibles que tous ceux qui sont proposés par le secteur privé.

Les TIC ne sont guère remises en question dans leurs fonctionnalités. Elles apparaissent comme des outils indispensables, familiers, une extension du corps dont on aura désormais du mal à se passer. Un ordinateur n'est plus perçu comme relevant du choix personnel : c'est une nécessité pour « fonctionner » en société. Pourtant, confronté à la question de savoir comment agir, à son échelle, le consommateur envisage très vite la possibilité de ne pas acheter, tout en ayant aussitôt conscience de la difficulté. La question « que faire ? » revient d'ailleurs avec insistance. Une autre piste envisagée est de payer plus cher. Les stratégies de verdissement sont connues, l'intérêt des industriels et des distributeurs étant, selon nos participants, de s'afficher « verts » plutôt que de l'être. La seule instance jouissant de confiance qui est mentionnée souvent, « les pouvoirs publics », l'est non sans méfiance envers les possibles pressions qu'elle peut subir de la part des industriels. L'idée que les associations puissent constituer un pôle de rééquilibrage est vue comme peu réaliste.

Le manque d'information, voire la désinformation, est également mentionné durant les *focus groups*. Ce résultat est courant dans les enquêtes d'opinion. Cependant, dans le domaine des TIC, la haute technicité et la complexité des appareils contribuent à diffuser un sentiment d'opacité concernant les informations dont disposent les consommateurs. Malgré l'usage de l'Internet quasi généralisé, les informations sur les qualités écologiques des produits sont jugées peu accessibles et peu lisibles. Pris entre les stratégies des différents acteurs en présence, les consommateurs n'affirment pas leur capacité propre d'action autrement que par des tactiques personnelles à

portée limitée, comme les économies d'énergie ou la prolongation de la durée de vie des appareils, ou encore le stockage et la remise des appareils usagés dans des filières de « seconde vie ». L'interdépendance des différents choix de consommation est bien perçue, et place le changement d'attitudes de consommation dans le cadre plus vaste d'un changement de mode de vie – tout aussi difficile à mettre en œuvre – alors que l'on rencontre, chez les plus jeunes, une vive critique du mode de développement, qui devrait changer de cap. Ces observations sont corroborées par une dizaine d'entretiens individuels sur les usages des TIC pour la sociabilité réalisés en 2013. Une autre recherche, qui se focalise sur le devenir des objets issus des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) dans l'économie domestique, apporte également des éclairages et des confirmations des données empiriques initiales (Dobré et al., 2013). Les TIC sont des objets à haute technicité intégrée dont le traitement dans l'univers domestique se résume, pour l'heure, au stockage à domicile à la fin de l'usage, et au don auprès d'associations donnant une seconde vie à ces objets. Force est de remarquer que les individus font, à leur niveau le choix de l'ajournement, à l'image de l'ajournement collectif de la solution au problème écologique posé par les TIC.

Discussion des résultats

TIC et environnement : un débat très borné

Un premier résultat est que la discussion par les différents acteurs des liens entre TIC et environnement se trouve très largement bornée en pratique à un périmètre « technique », « subpolitique » (Beck, 1986). Cette discussion demeure à l'intérieur d'un cercle qui reste en deçà du débat public, et n'inclut pas la participation effective des citoyens. Le manque d'intérêt des consommateurs s'explique facilement : ils sont dans l'ignorance de l'enjeu. Ils comptent sur les ingénieurs et sur les autorités publiques, dont c'est le rôle, du moins théoriquement. Leur conviction est que le problème est traité par d'autres acteurs : les TIC ont des « effets positifs » indiscutables, et donc indiscutés, tels que l'observation de la Terre ou les modèles numériques utilisés dans la simulation du climat ; elles ont également des « effets négatifs » dont il faut soit venir à bout soit accepter le prix en regard des effets positifs – un prix qui ne peut être que modéré. Affirmer que l'enjeu est technique, ne nécessitant pas de débat de société (comme par exemple sur le sujet suivant : « Devons-nous passer collectivement du téléphone fixe au mobile ? » ou, parce que cette question peut sembler dépassée par les « évolutions techniques » : « Devrions-nous considérer la fourniture d'Internet comme étant aussi essentielle que celle de l'eau ou de l'électricité ? »), légitime la thèse selon laquelle les problèmes sont bénins

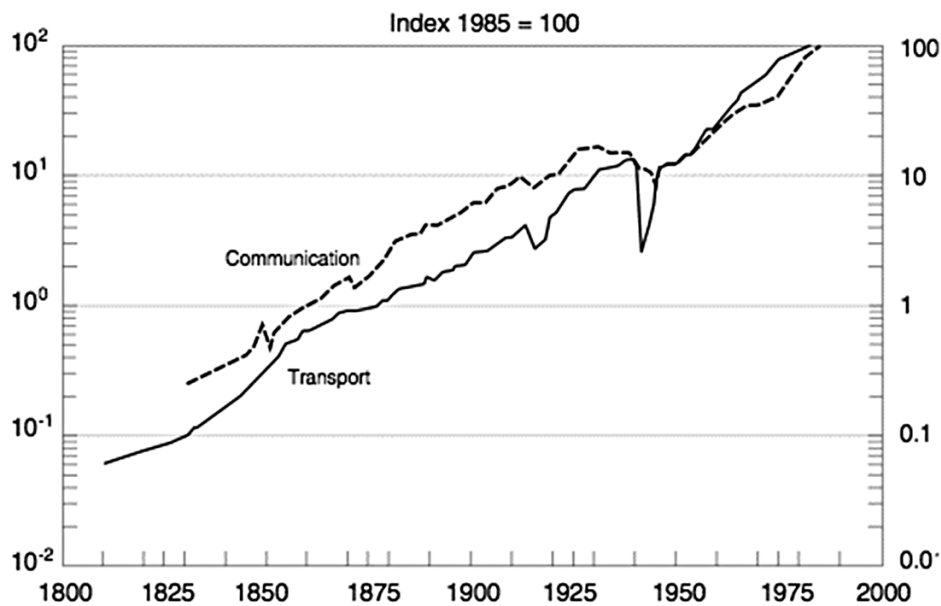


Fig. 1. Évolution comparée des flux d'information et des flux de transport entre 1800 et 1985 (Grübler, 1990).

et solubles dans un avenir proche. Les consommateurs n'adhérant pas à cette vision se placent fortement en marge, et passent rapidement pour des extrémistes – comme le dit un initiateur de la *class action* contre Apple dans le film *L'obsolescence programmée*. Pour la majorité des acteurs, le « vert » renvoie donc à davantage de vert, « plus vert », plus respectueux des écosystèmes, ou « moins nuisible », et cela dans une comparaison locale, limitée autour d'un produit, d'un usage, d'une fonction sociale limitée, à l'exclusion des effets de système, qui s'intéresseraient à la dynamique agrégée, nationale et globale.

L'incertitude des résultats en termes d'impact écologique global

La conviction d'être face à un problème bien géré est pourtant bien mal étayée. L'argument majeur de la substitution (remplacement de biens et services physiques par des biens et services « immatériels ») est peu convaincant. Prenons quatre exemples emblématiques, la visioconférence, l'*e-commerce*, l'*e-paper* et le télétravail, et examinons-les brièvement.

Les études spécialisées s'accordent pour estimer qu'une visioconférence provoque environ cinq fois moins d'émissions de gaz à effet de serre qu'un déplacement physique. Mais le rapport Digital Europe (2003) pointait déjà une objection : l'audio ou visioconférence n'entretiennent-elles pas une corrélation positive avec le transport ? Les études historiques constatent en effet que c'est la relation de complémentarité et non le rapport de substitution qui domine entre transport et information

(Claisse, 1983 ; Mokhtarian, 1997 ; Graham et Marvin, 1996) (Figure 1).

Pour ce qui est de l'*e-commerce*, alors que le rapport SMART 2020 (GeSI, 2008) entrevoit un gain énorme de 30 Mt CO₂ au niveau mondial, le rapport BIO IS (2008), beaucoup plus approfondi sur le plan sociologique, déduit qu'en la matière, tout ce qu'on peut conclure est qu'on ne peut rien conclure.

Heiskanen et Pantzar (1997) ont mis en évidence que le livre de bibliothèque était moins coûteux sur le plan énergétique que l'*e-paper*, du point de vue de l'analyse du cycle de vie. D'autre part, la fabrication d'un journal papier ou d'un livre acheté consomme autant d'énergie que regarder la télévision pendant trois heures (Heiskanen et Pantzar, 1997) ou que vingt minutes de lecture sur le web (Moberg et al., 2007). Outre ces comparaisons énergétiques, qui laissent un avantage au papier, l'un des inconvénients de l'*e-paper* reste malgré tout qu'il est entièrement réalisé en utilisant des ressources épuisables.

Enfin, dans le cas emblématique du télétravail, le gain paraît faible en valeur absolue car très peu de travailleurs sont concernés, tant les conditions à remplir sont nombreuses. Sachant que les déplacements quotidiens domicile-travail ne concernent que 20 % des activités de transport, deux jours de télétravail par semaine concerneraient 2,4 % du transport total (BIO IS, 2008).

Les arguments les plus convaincants sont ceux qui sont liés au domaine de la gestion de l'énergie ou à l'optimisation des processus. Le rapport BIO IS (2008) estime que les gains viendront principalement de

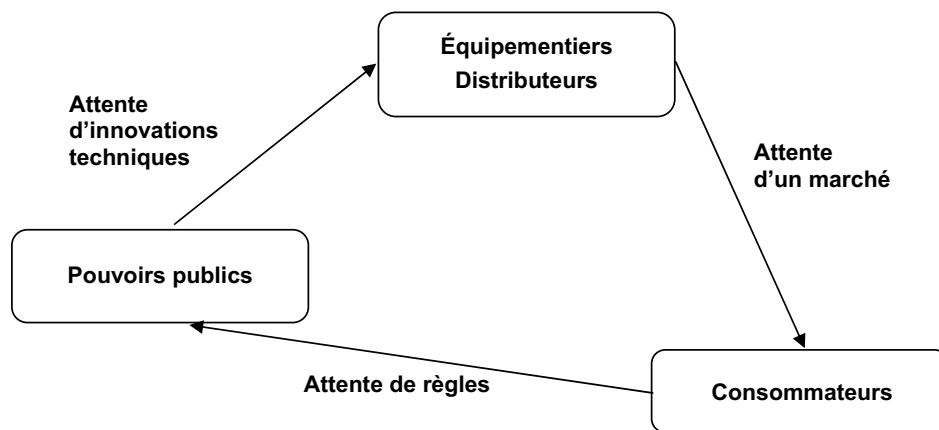


Fig. 2. Mécanisme de report de responsabilité entre acteurs.

l'ensemble « éclairage et chauffage, ventilation et climatisation », les autres gains étant soit beaucoup plus modestes, soit très incertains.

L'incertitude des résultats en termes d'impact écologique global provient en grande partie de « l'effet rebond », qui désigne deux grandes catégories de phénomènes : la baisse des coûts liée à un moindre usage de matières premières, permettant aux usagers d'acheter plus de produit à coût égal, et la réaffectation de ces gains monétaires ou temporels (comme dans le cas du télétravail) à des activités consommatrices de ressources (Flipo et Gossart, 2009). Le rapport *SMART 2020* (GeSI, 2008) reconnaît que toutes ses évaluations sont suspendues à l'ampleur de ces réallocations, mais à peine évoque-t-il le problème qu'il l'évacue : « Les TIC peuvent améliorer l'efficacité et cela conduira à une réduction des émissions. Mais la prévention de l'effet rebond implique l'existence d'un cadre maintenant les émissions dans des limites données, à l'exemple du marché de permis de carbone [...]. Sans ces contraintes, il n'y a aucune garantie que les gains en efficacité ne conduiront pas à des émissions accrues⁴ ». Or ce marché de carbone est très largement un échec, pour toutes sortes de raisons que l'émergence des TIC ne résoudra pas à elle seule. Les études sur la substitution s'inscrivent dans la même démarche et laissent largement l'effet rebond de côté (IPTTS, 2004). Cela revient pourtant à faire abstraction du contexte sociétal, qui est pourtant déterminant. Confrontées à la réalité sociologique, les études plaçant la substitution s'appuient sur des hypothèses extrêmement avantageuses en termes d'usage. Elles laissent de nombreux obstacles de côté, notamment le coût. Le rapport *BIO IS* (2008) est le seul à chercher à contrôler ces biais, en utilisant des données socioéconomiques. D'où des conclusions beaucoup plus mesurées. Un ouvrage de synthèse récent va dans le même sens et constate que le champ des rapports entre

TIC et développement durable ne fait qu'émerger (Hilty et Aebischer, 2015).

Le caractère déterminant du social, pourtant grand absent du débat

Le troisième résultat de cette étude souligne le caractère déterminant du social. Les acteurs s'accordent sur la manière de cadrer l'enjeu des TIC vertes en fonction de trois critères (matériaux, énergie, toxiques) et de trois stratégies (réduction, substitution ou interdiction). Mais ils divergent sur les priorités à établir. Quel acteur est prêt à réviser ses « besoins » ? Les classes modestes ont tendance à penser que les changements devraient concerner en premier lieu ceux qui en ont les moyens et qui ont le plus d'impact relatif (Wallenborn et Dozzi, 2007). En retour, l'argument est facilement malthusien : certes, les riches consomment plus, mais les pauvres sont plus nombreux, c'est donc le mode de vie de « tous », pris comme un ensemble indifférencié de personnes théoriquement égales, qu'il faudrait réformer. Cet enjeu se retrouve à l'échelle internationale : ce qui est « consommation verte » pour les pays du Nord est restriction d'accès au marché ou protectionnisme pour les pays du Sud, qui considèrent quant à eux qu'ils ne polluent pas encore assez et qu'ils seraient en droit de polluer davantage pour rattraper le retard par rapport aux pays développés.

Cette difficulté conduit à un report perpétuel de la responsabilité. Ceci est caractéristique d'une situation d'attente, voire d'ajournement, qui se caractérise par des stratégies plus ou moins conscientes de tergiversation, renvoi, déplacement, voire de déni du problème. Tout le monde a conscience de la gravité de la situation, mais chacun s'en tient à des actions qui ne mettent pas en cause les traits principaux de son rôle (Figure 2).

Le consommateur-citoyen a peu de moyens d'action à sa disposition et cela n'intéresse personne de savoir s'il en a vraiment. Ceci laisse toute la place aux nombreux

⁴ Traduction réalisée par les auteurs.

acteurs intermédiaires qui parlent en son nom. Étant globalement dans l'impossibilité de poser le débat sur les déterminants des effets de deuxième et de troisième ordre, les acteurs intermédiaires négocient entre eux des mesures et des réglementations qui n'ont d'effets qu'à la marge, et sont donc en échec pour obtenir des résultats plus conséquents. Faute de politisation plus large des débats, les mesures sont fréquemment perçues comme étant de nature autoritaire – ce qui entraîne des comportements d'*exit*, comme en témoigne le faible pourcentage de collecte des équipements TIC usagés.

Conclusions

Face à ce qui consiste pour l'essentiel en des scénarios d'ingénieur largement coupés de toute prise en compte de la dynamique des sociétés contemporaines, croire au « TIC vertes » se révélera sans doute très décevant. Rien ne vient démontrer de manière crédible que les incidences négatives sur l'environnement peuvent être atténuées. Notre cadre d'analyse, comme sa conclusion, sont d'ailleurs assez largement transposables à d'autres problématiques similaires : « voiture verte », « avion vert », etc. Le « verdissement » ou « écologisation » de nos sociétés s'en remet trop souvent aux bons soins de dispositifs techniques qui permettent d'éviter de poser des questions plus poussées. Les moteurs plus profonds de l'évolution des sociétés contemporaines ne sont pas ignorés des citoyens. Au contraire, le caractère contradictoire des injonctions dont ils sont destinataires (en résumé, consommer « plus » pour l'économie, et « moins » pour la planète) ressort tout particulièrement à leurs yeux, puisque ce sont eux qui sont à la croisée des chemins. Dès lors, un risque existe que les citoyens se sentent trahis, et finissent par retirer la confiance qu'ils ont accordée.

Références

- Ademe (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), 2012. *Chiffres clés Déchets*. Rapport, Angers, Ademe.
- Afom (Association française des opérateurs mobiles), 2010. *Observatoire sociétal du téléphone mobile, 6^e édition*. Rapport, Paris, Afom/TNS Sofres, http://www.fitelecoms.org/sites/default/files/contenus_liens/mobile_et_societe_tns_n12_janvier_2011.pdf.
- Arthaut R., 2006. La consommation des ménages en TIC depuis 45 ans : un renouvellement permanent. *Insee Première*, 1101, <http://www.insee.fr/fr/ffc/ipweb/ip1101/ip1101.pdf>.
- Beck U., 1986. *La société du risque*, Paris, Flammarion.
- Berkhout F., Hertin J., 2001. *Impacts of information and communication technologies on environmental sustainability: speculations and evidence*. Report to the OECD.
- Bigot R., Croutte P., 2011. *La diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française*. Rapport à la demande du Conseil général de l'industrie, de l'énergie et des technologies (CGE) et de l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes (ARCEP), Paris, Crédoc, http://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/rapport-credoc-diffusion-tic-2011.pdf.
- Bigot R., Croutte P., Daudey É., 2013. *Diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française*. Étude à la demande du Conseil général de l'économie, de l'industrie, de l'énergie et des technologies (CGE) et de l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes (ARCEP), Paris, Crédoc, http://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/rapport-CREDOC_2013-dec2013.pdf.
- Bihouix P., de Guillebon B., 2010. *Quel futur pour les métaux ? Raréfaction des métaux : un nouveau défi pour la société*, Paris, EDP Sciences.
- Bio IS (Bio Intelligence Service), 2008. *Impacts of ICT on energy efficiency*. Report to European Commission DG INFSO. ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/sustainable-growth/ict4ee-final-report_en.pdf.
- Breuil H., Burette D., Flüry-Hérard B., Cueugnet J., Vignolles D., 2008. *TIC et développement durable*. Rapport du CGEDD (Conseil général de l'environnement et du développement durable) & CGTI (Conseil général des technologies de l'information), Paris, ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire, ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi, http://www.handiplace.org/media/pdf/rapport_tic.pdf.
- Carr N., 2009. *The big switch: rewiring the world from Edison to Google*, New York, W.W. Norton & Company.
- Claisse G., 1983. *Transports ou télécommunications : les ambiguïtés de l'ubiquité*, Lyon, Presses universitaires de Lyon.
- Commission européenne, 2011. Plan 2011 pour l'efficacité énergétique. Communication au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions. COM(2011) 109 final, 8 mars, Bruxelles, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex:52011DC0109>
- Coroama V.C., Schien D., Preist C., Hilty L.M., 2015. The energy intensity of the Internet: home and access networks, in Hilty L.M., Aebischer B. (Eds), *ICT innovations for sustainability*, Springer, 137-155.
- Didier E., Sitler E., 2013. *Déchets : filières à responsabilité élargie du producteur (REP) et écoconception*. Rapport d'information 143 (2013-2014) au nom de la commission du développement durable, des infrastructures, de l'équipement et de l'aménagement du territoire, Paris, Sénat. <http://www.senat.fr/rap/r13-143/r13-1431.pdf>.
- Digital Europe, 2000. *Virtual dematerialisation: ebusiness and factor X*. Rapport, European Community.
- Direction générale des entreprises, 2015. *Chiffres clés du numérique*, Paris, ministère de l'Économie, de l'Industrie et du Numérique, http://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/etudes-et-statistiques/numerique/chiffres-cles/2015-Chiffres-cles-numerique.pdf.
- Dobré M., Juan S., 2009. *Consommer autrement. La réforme écologique des modes de vie*, Paris, L'Harmattan.

- Dobré M., Cordellier M., Olivier M., Poutot C., 2013. *Teresa. Traitement social de l'encombrement dans les styles de vie alternatifs*. Rapport, programme de recherche « Déchets et société », Paris, Ademe, MEDDTL.
- Dubreuil S., Roger V., 2003. *Le marketing du multimédia mobile*, Paris, Éditions d'Organisation.
- Enertech, 2008. *Mesure de la consommation des usages domestiques de l'audiovisuel et de l'informatique*. Rapport du Projet Remodece, Paris, Ademe – Union Européenne – EDF.
- Faucheux S., Hue C., Nicolai I., 2010. *TIC et développement durable. Les conditions du succès*, Bruxelles, De Boeck.
- FFT (Fédération française des télécoms), 2010. *Charte d'engagement volontaire du secteur des télécoms pour le développement durable*. Document, Paris, Secrétariat d'État à la prospective et au développement de l'économie numérique/ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer.
- Flipo F., Boutet A., Draetta L., Deltour F., 2007. *Écologie des infrastructures numériques*, Paris, Hermès.
- Flipo F., Gossart C., 2009. L'impossible domestication de l'effet rebond, *Terminal*, 103-104, 163-177.
- Flipo F., Gossart C., Deltour F., Dobré M., Michot M., Berthet L., 2009. *Technologies numériques et crise environnementale : peut-on croire aux TIC vertes ?* Rapport final du projet Ecotic, Télécom Bretagne/Université de Caen Basse Normandie/Télécom et Management SudParis, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00957836v1>.
- Flipo F., Deltour F., Dobré M., Michot M., 2012. *Peut-on croire aux TIC vertes ?*, Paris, Presses des mines.
- Flipo F., Dobré M., Michot M., 2013. *La face cachée du numérique. L'impact environnemental des nouvelles technologies*. Paris, Éditions L'échappée.
- GeSI (Global eSustainability Initiative), 2008. *SMART 2020: enabling the low carbon economy in the information age*. Report, http://www.smart2020.org/_assets/files/02_smart2020Report.pdf.
- Greenpeace, 2010. *Clicking clean: how companies are creating the green Internet*. Report.
- Graham S., Marvin S., 1996. *Telecommunication and the city: electronics spaces, urban places*, London, Routledge.
- Grübler A., 1990. *The rise and fall of infrastructures*, New York, Springer-Verlag.
- Hagelüken, C., 2008. Mining our computers – opportunities & challenges to recover scarce and valuable metals from electronic devices. Communication at *Electronic goes green 2008+ Symposium*, 7th-10th September, Berlin.
- Heiskanen E., Pantzar M., 1997. Toward sustainable consumption: new perspectives, *Journal of Consumer Policy*, 20, 409-442.
- Hilty L.M., Aebischer B. (Eds.), 2015. *ICT innovations for sustainability*, Springer.
- Insee, 2014. *Consommation des ménages par fonction en 2014*, http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=0&ref_id=NATFPS05116.
- IPTS (Institute of Prospective Technological Studies), 2004. *The future impact of ICT on environmental sustainability*. Technical report EUR 21384 EN, Brussels, European Commission, <http://ftp.jrc.es/EURdoc/eur21384en.pdf>.
- Kuehr R., Williams E. (Eds), 2003. *Computers and the environment: understanding and managing their impacts*, Springer.
- Lannoo B. (Ed.), 2013. *D8.1. Overview of ICT energy consumption*. Network of Excellence in Internet Science, FP7, http://www.internet-science.eu/sites/eins/files/biblio/EINS_D8%201_final.pdf.
- Mills M., 2013. *The cloud begins with coal: big data, big networks, big infrastructure, big power*. Report, Digital Power Group, http://www.tech-pundit.com/wp-content/uploads/2013/07/Cloud_Begins_With_Coal.pdf?c761ac.
- Mingay S., 2007. *Green IT. The new industry shockwave*. Communication at *Gartner Symposium/ITXPO*, 22nd-26th April, San Francisco.
- Moberg A., Johansson M., Finnveden G., Jonsson A., 2007. *Screening environmental life cycle assessment of printed, web based and tablet e-paper newspaper*. Reports from the KTH Centre for Sustainable Communications, Stockholm.
- Mokhtarian P.L., 1997. Now that travel can be virtual, will congestion virtually disappear?, *Scientific American*, 277, 4, 93.
- Nora P., Minc A., 1978. *L'informatisation de la société*, Paris, Seuil.
- Parlement européen, Conseil européen, 2003. *Directive relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE)*, 2002/96/CE, 27 janvier 2003, Bruxelles, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:02002L0096-20031231&qid=1402479287780&from=FR>.
- Parlement européen, Conseil européen, 2009. *Directive établissant un cadre pour la fixation d'exigences en matière d'écoconception applicables aux produits liés à l'énergie*, 2009/125/CE, 21 octobre 2009, Bruxelles, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:285:0010:0035:fr:PDF>.
- Porter M., Van der Linde C., 1995. Green and competitive: ending the stalemate, *Harvard Business Review*, 73, 5, 120-134.
- Souchon Foll L., 2008. *TIC et énergétique : techniques d'estimation de consommation sur la hauteur, la structure et l'évolution de l'impact des TIC en France*. Thèse de doctorat, Université d'Evry.
- Wallenborn G., Dozzi J., 2007. Du point de vue environnemental, ne vaut-il pas mieux être pauvre et mal informé que riche et conscientisé ? in Cornut, P., Bauler T., Zaccai E. (Eds), *Environnement et inégalités sociales*, Bruxelles, Éditions de l'Université de Bruxelles.
- WWF (World Wide Fund), 2008. *Outline for the first global IT strategy for CO₂ reductions*. Report.
- Zuindeau B., 2005. La « loi de Kuznets » : de l'économie de la répartition à l'économie de l'environnement. Communication au colloque *Y a-t-il des lois en économie ?*, 22-24 septembre, Lille.