

Les technologies de l'information et de la communication (TIC) au service du développement durable

La problématique du développement durable et la part sans cesse grandissante des TIC dans la société sont deux caractéristiques marquantes de ce début de siècle. Deux volets, complémentaires entre eux, méritent d'être analysés : que peut-on faire, pour minimiser l'empreinte écologique des TIC ? Comment les TIC peuvent-elles diminuer les atteintes à l'environnement des activités dans l'industrie, les services et la vie quotidienne ?

par **Michel PETIT***

DEUX CARACTÉRISTIQUES DU XX^e SIÈCLE

Le développement durable

Pendant l'essentiel de son histoire, l'homme s'est ingénié à se protéger de toutes les contraintes que lui imposait son environnement et à tirer le meilleur parti de ce dernier. Aujourd'hui, à cause de la croissance de la population mondiale, qui est passée de 2,5 milliards en 1950 à plus de 6,7 milliards en 2009, et du développement considérable des moyens techniques disponibles, l'emprise de l'homme sur la planète est devenue de plus en plus grande : il est désormais nécessaire de s'interroger sur les conséquences possibles de nos décisions d'agir – ou de ne pas agir – quand la possibilité nous en

est offerte. C'est pourquoi on associe souvent les notions d'environnement et de développement durable. Cette dernière expression désigne un concept qui, dans une perspective à long terme, vise à assurer le développement et l'amélioration du bien-être des hommes sans imposer aux milieux naturels des altérations, dont pourraient avoir à pâtir les générations ultérieures. Autrement dit, ce concept cherche à concilier les dimensions du développement économique et social avec celles de l'environnement.

Une des plus belles illustrations du concept de développement durable est la problématique du changement climatique mondial induit par les activités humaines.

* Ingénieur général des télécommunications honoraire.

La température de notre planète est régie par l'équilibre entre le rayonnement solaire qu'elle absorbe et ses propres émissions dans la gamme infrarouge. L'introduction anthropique dans l'atmosphère de la Terre de quantités sans cesse croissantes de gaz absorbant le rayonnement infrarouge augmente continûment l'effet de serre, auquel notre planète est soumise. Il en résulte un changement du climat mondial, dont les multiples effets se font d'ores et déjà sentir et qui devraient, selon toute vraisemblance, devenir de plus en plus néfastes au cours des prochaines décennies. Le plus important de ces gaz à effet de serre, tant à cause de son pouvoir calorifique que de sa durée de vie dans l'atmosphère, est le gaz carbonique (CO₂), qui est produit essentiellement par la combustion du charbon, du pétrole et du gaz naturel extraits du sous-sol. Ces combustibles fossiles sont à l'origine de 80 % de l'énergie commercialisée dans le monde. La maîtrise du changement climatique repose donc, avant tout, sur une transition entre une société fondée sur la disponibilité d'une énergie abondante et utilisable sans frein majeur, à une société sobre en carbone, capable de limiter ses rejets de CO₂ dans l'atmosphère à des niveaux suffisamment faibles. La division par un facteur 4 des émissions françaises de gaz à effet de serre, inscrite dans la loi, est un ordre de grandeur raisonnable, mais qui donne la mesure de l'ampleur de l'effort à accomplir dans ce domaine.

Le retour à l'ère des cavernes – ou même seulement à l'époque de la bougie – n'est certainement pas acceptable. Par contre, nous pourrions modifier certains de nos comportements sans que notre qualité de vie en souffre, et faire une meilleure utilisation des technologies que nous avons développées, en particulier des technologies de l'information et de la communication.

Le développement des technologies de l'information et de la communication

L'explosion de l'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC) est une autre caractéristique de ce début du XXI^e siècle. Elle constitue d'ailleurs le thème du présent numéro de *Réalités industrielles*, qui en rappelle toutes les dimensions. Les équipements électroniques sont consommateurs d'énergie, tant pour leur production que pour leur utilisation. En fin de vie, ils constituent des déchets qui contiennent certains éléments toxiques. Leur généralisation impose que, sans attendre que la pente de la facilité conduise à de mauvaises pratiques, on prenne les mesures adéquates pour réduire, autant que faire se peut, leur impact écologique. Cependant, les TIC ne représentent qu'environ 2 % de la consommation énergétique mondiale et sont susceptibles de conduire à des réductions substantielles dans les 98 % restants, qui représentent la part de l'énergie consommée par l'industrie, les services et les besoins de la vie quotidienne. Le bilan global des TIC se présente sous

un jour particulièrement favorable en France, où l'électricité qu'elles consomment est produite (à 5 % près) sans qu'il soit fait appel aux combustibles fossiles, tandis qu'elles permettent d'économiser des formes d'énergie le plus souvent fortement émettrices de gaz à effet de serre, en particulier dans les transports et le chauffage des bâtiments. Il en va autrement, si l'on raisonne à l'échelle européenne ou à l'échelle mondiale, deux échelles tout aussi pertinentes, en matière de TIC. Nous allons examiner, successivement, ces deux volets : le développement durable des TIC elles-mêmes, et le développement durable que permettent les TIC.

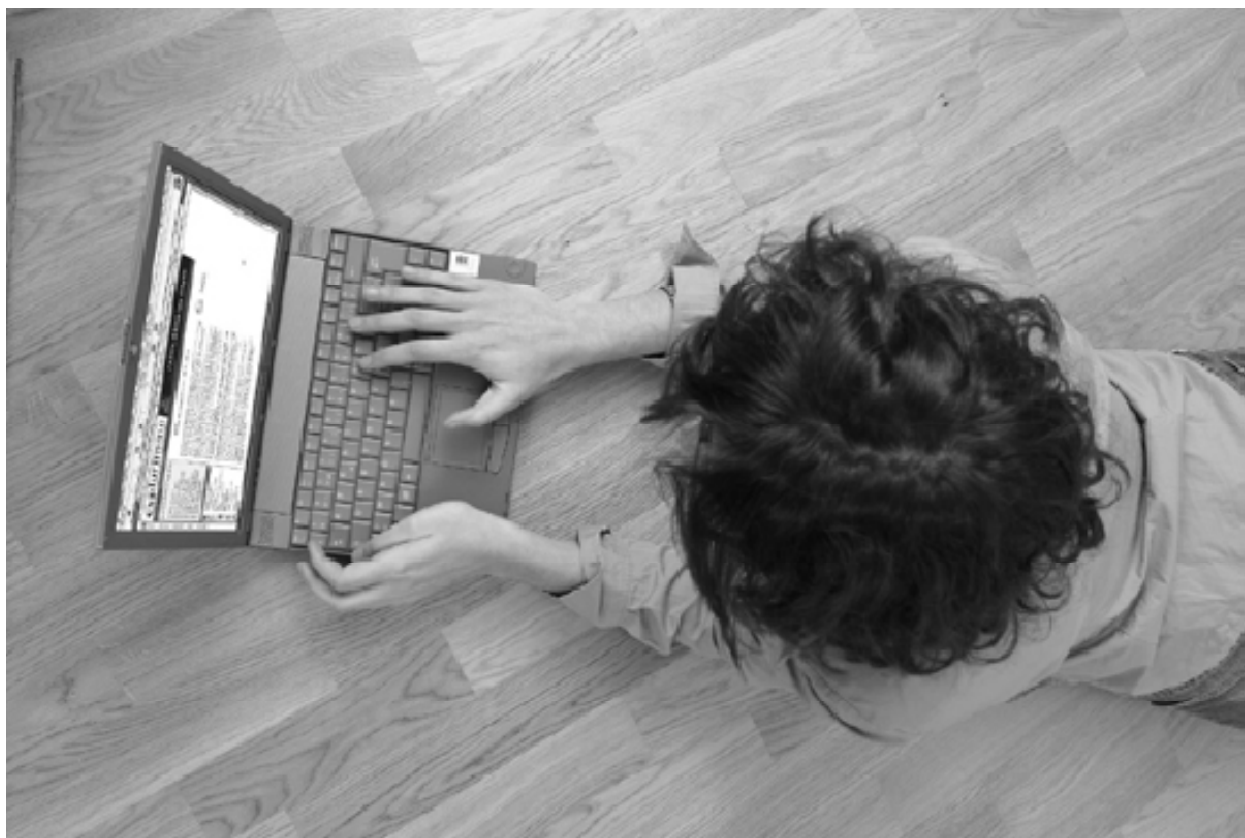
LE DÉVELOPPEMENT DURABLE DES MATÉRIELS NÉCESSAIRES AUX TIC

La consommation d'énergie

La production des matériels, d'une part, et leur utilisation, d'autre part, sont consommatrices d'électricité. Cependant, la traduction de ces consommations en masse de dioxyde de carbone émis, qui est le facteur pertinent en matière de lutte contre le changement climatique, varie d'un pays à l'autre en fonction de la manière dont l'électricité y est produite. La notion d'empreinte carbone doit donc être maniée avec précaution, en veillant à toujours bien préciser les hypothèses qui ont présidé à son calcul.

Le parc d'ordinateurs français est estimé, pour le secteur résidentiel, à 20 millions, représentant une consommation de l'ordre de 6 TWh par an. Les modems et les boîtiers ADSL, très voraces en énergie, représentent 15 % de ce total. Le secteur des entreprises utilise un nombre quasi identique d'ordinateurs et consomme, en incluant la consommation des réseaux internes, environ 11 TWh par an. Les constructeurs ont fait des efforts pour limiter la consommation des ordinateurs portables, dans le but de leur donner une autonomie satisfaisante. La consommation moyenne de ces derniers représente seulement le huitième de celle d'un ordinateur de bureau. La diffusion rapide des ordinateurs portables, à laquelle on assiste aujourd'hui, devrait donc se traduire par une réduction de la consommation d'électricité. De plus, la solution technique, qui leur est appliquée, devrait pouvoir être transposée aux ordinateurs fixes, sans difficulté majeure.

En France, le nombre de serveurs, qui dépasse largement le million, continue à croître rapidement. Leur consommation d'électricité est de l'ordre de 4 TWh par an, dont une part importante va à la chaîne, complexe, de transformation de l'énergie d'alimentation. Il convient de noter que la climatisation nécessaire à leur bon fonctionnement représente 40 % de leur



© Michel Gaillard/REA

« La consommation moyenne d'un ordinateur portable représente seulement le huitième de celle d'un ordinateur de bureau ».

dépense énergétique totale. On voit tout l'intérêt que représenterait la récupération de la chaleur ainsi dissipée, pour chauffer des immeubles voisins. Il convient également de noter la compétitivité de la France comme terre d'accueil pour les serveurs, en termes d'empreinte carbone, grâce à l'importance de sa production nucléaire d'électricité.

Parmi les TIC, les téléviseurs et leurs périphériques représentent en France le plus gros poste de consommation électrique. Le remplacement des téléviseurs à tube cathodique par des téléviseurs à écran plat va connaître une forte accélération avec l'extinction de la télévision analogique, à l'horizon 2011. Un téléviseur classique avec écran cathodique consomme environ 100 watts. Pour les écrans plats, cela dépend de leur surface et de leur technologie.

Un moniteur de microordinateur consomme environ 50 watts, mais une télévision à écran plat de grande taille (de l'ordre d'un mètre) consomme de l'ordre de 150 à 250 watts. Par ailleurs, la production d'un téléviseur à écran plat nécessite le rejet de 1 300 kg de CO₂, au lieu de 700 kg pour les téléviseurs à tube cathodique.

La consommation électrique des téléviseurs peut donc doubler dans nombre de foyers, avec le passage à un téléviseur à écran plat, sans même que l'utilisateur en soit averti par un affichage clair de la consommation. En outre, l'absence de prise en considération des impacts énergétiques, lors de l'adoption des décisions

sur le passage à la TNT et à la TV HD, impliquant la mise en service de millions de décodeurs, a créé une situation qui demande à être corrigée.

La très belle réussite du développement du haut débit en France s'est traduite par une facture énergétique alourdie, faute d'avoir pris en compte la consommation électrique élevée des boîtiers ADSL dès leur conception. La consommation électrique n'est pas encore un argument de vente pour les opérateurs, dont l'intérêt est, avant tout, d'offrir le maximum de services, de façon à facturer davantage de prestations à leurs clients et à se différencier, ainsi, de leurs concurrents. Seules des mesures réglementaires sont de nature à permettre une amélioration de la situation.

Pour limiter la consommation des ordinateurs (surtout de bureau), on pourrait promouvoir des labels portant, notamment, sur une mise en veille rapide en cas de non-utilisation, le délai de mise en veille pouvant être d'autant plus court que le retour à l'activité serait plus rapide.

Enfin, la manière de programmer a des impacts sur la consommation énergétique finale du programme et de nombreux éditeurs de logiciels réfléchissent à l'optimisation du système actuel, qui implique, encore trop souvent, d'effectuer un choix entre rapidité du traitement et consommation d'énergie.

Globalement, en France, l'empreinte énergétique annuelle des TIC est estimée à 22 Mt de CO₂ pour la

Le télétravail, selon le sexe et la catégorie socioprofessionnelle (en %)			
Catégories (CSF) socioprofessionnelles	Modes de télétravail		
	Fixe, à domicile	Alternant, à domicile	Nomade
Ingénieurs et cadres	3,7	6	20,1
Professions intermédiaires			
Employés	1,1	1,2	9
Ouvriers	0,6	0,3	2,7
Ensemble	0,9	1,1	5,4
Hommes	1	1,7	7,5
Femmes	0,9	0,4	2,8

Source : EPC/ 1999-2003. NSEE, calcul DARES.

Tableau 1.

production (dont 10 pour le secteur résidentiel) et à 8 Mt de CO₂ pour l'utilisation (dont 2 pour le secteur résidentiel). L'ensemble représente 5 % des émissions françaises de CO₂.

Les déchets liés aux TIC

Environ 24 000 tonnes de déchets liés aux TIC sont collectées en France chaque année. Ces déchets sont rarement valorisables directement, à l'exception de l'or des connecteurs. De plus, ils contiennent des éléments dangereux, comme le plomb (des soudures) et les terres rares (des composants). L'écran cathodique est même recouvert, sur sa face interne, d'un film contenant du mercure. De petite taille (sauf les écrans), les déchets liés aux TIC sont souvent mélangés avec les ordures ménagères ou passent par la broyeuse des ferrailleurs, avec, dans les deux cas, une dissémination non maîtrisée des produits toxiques qu'ils renferment.

Le dispositif de collecte français mérite d'être amélioré. Les déchets TIC collectés par habitant en France sont de 2,5 kg, à comparer aux 15 kg des Pays Scandinaves, aux 10 kg du Royaume-Uni et de l'Irlande et aux 8 kg de l'Allemagne. Il est peu connu des citoyens et les organismes responsables n'ont pas été capables de mener une véritable campagne d'information. Les points de collecte des collectivités locales, qui sont les plus efficaces, ne couvrent que 43 millions d'habitants. Dans de nombreux pays, la solution de retraitement consiste à exporter ces déchets vers des pays en voie de développement. Des procédés, originaux, sont toutefois en cours de développement en France, avec le soutien d'OSEO.

Faciliter une organisation de la production et des transports plus sobre en carbone

Le télétravail

Le télétravail est « une forme d'organisation et/ou de réalisation d'un travail utilisant les technologies de l'information, dans le cadre d'un contrat de travail, et dans laquelle un travail qui aurait pu être réalisé dans les locaux de l'employeur est effectué en dehors de ces locaux, de façon régulière » (définition retenue par l'accord-cadre conclu le 19 juillet 2005 entre les partenaires sociaux, en application de l'accord-cadre conclu le 16 juillet 2002 au niveau européen).

Aujourd'hui, le télétravail est moins développé, en France, que dans les autres grands pays d'Europe. Plus fréquent chez les salariés masculins, il concerne principalement les ingénieurs et cadres, les professions intermédiaires et les commerciaux.

Le télétravail est dit « nomade » lorsqu'il concerne des commerciaux ou des techniciens intervenant auprès de la clientèle (cf. tableau 1).

Sur les 22 millions de salariés français, seuls 2 % pratiqueraient le télétravail à domicile. Or, selon les indicateurs de la société de l'information élaborés par la société SIBIS (1), 24 % des personnes en activité considèrent qu'elles pourraient réaliser leur travail en télétravail alterné (consistant à travailler à leur domicile au moins une journée par semaine).

Le télétravail constitue un moyen, pour le salarié « fixe », de faire l'économie du trajet aller-retour quotidien entre son domicile et le lieu d'implantation de son entreprise ou, pour le salarié « nomade », d'éviter un passage quotidien chez son employeur. Tout en offrant un meilleur confort de vie, le télétravail est générateur d'économies d'énergie. En effet, les Français qui utili-

sent quotidiennement leur voiture parcourent chaque année environ 65 milliards de kilomètres, dont la majeure partie pour des raisons professionnelles. La distance moyenne parcourue quotidiennement entre le domicile et le lieu de travail est d'environ 15 kilomètres.

Le développement du télétravail suppose de nouveaux rapports salariaux fondés sur une bonne définition des objectifs, et non plus sur la seule durée du temps de travail. Pour dépasser la résistance actuelle des « managers » à ce type inhabituel de relation de travail, il serait opportun de mettre en place des formations insistant sur ses avantages et sur les bonnes pratiques à adopter. La Fonction publique pourrait servir de vitrine pour promouvoir le télétravail et prendre rapidement l'initiative dans la conduite d'expériences sur la base du volontariat ; les avantages que l'on peut en attendre sont multiples : économies, satisfaction des employés, moindre absentéisme, assurance d'une continuité de service en cas de crise.

Le travail à domicile permet d'économiser les combustibles fossiles auxquels les moyens de transport font majoritairement appel, ainsi que de réduire les émissions de gaz à effet de serre dues à la construction, à l'entretien et au chauffage – ou à la climatisation – des bâtiments de bureaux. Néanmoins, tous les logements ne permettent pas qu'y soient recrées des conditions de travail satisfaisantes et une action complémentaire pourrait consister à créer des espaces locaux, mutualisés, de télétravail. Les organisations intéressées pourraient y réserver des lieux d'accès au télétravail, en fonction de leurs besoins spécifiques (base permanente ou base saisonnière, temps partiel, etc.). Les collectivités territoriales, de par leurs compétences en matière de développement économique, pourraient participer au financement de tels espaces, dont la localisation devrait s'opérer en cohérence avec les plans de transport public ; un programme national pourrait les inciter à s'engager sur cette voie.

La télé-présence

La télé-présence permet à deux ou plusieurs personnes de se réunir, sans avoir à se déplacer. En participant ainsi à la réduction des déplacements (automobiles mais surtout aériens), la télé-présence contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Elle est également une source de réduction des coûts, pour l'entreprise (réduction des frais de déplacement et du temps perdu dans les transports), ainsi que de la fatigue pour le salarié (un cadre supérieur de grande entreprise passe en moyenne de un à deux mois, par an, en déplacements).

La conférence web, d'une mise en œuvre simple, ouvre des possibilités de travail collaboratif. La visioconférence, grâce à une excellente qualité du son et de l'image, permet des échanges pratiquement aussi riches que la présence physique. Par contre, elle exige une salle dotée d'un équipement complexe, qui ne peut être rentabilisé que par un usage fréquent. Il serait donc

utile que les espaces appelés à accueillir les télétravailleurs soient également dotés de salles bien équipées à cette fin, éventuellement louées.

L'optimisation des transports et des déplacements

Les TIC peuvent favoriser une meilleure gestion des transports en améliorant à la fois les performances et la sécurité, et permettre une diminution de la consommation d'énergie et le recours à des énergies plus propres.

Quatre domaines semblent plus particulièrement prometteurs : la rationalisation des transports publics et la facilitation de leur utilisation, l'optimisation de la logistique des transports de marchandises, la mutualisation des transports et, enfin, l'optimisation des transports individuels.

Les services à domicile

Deux exemples illustreront brièvement ce qu'il est possible de faire, grâce aux TIC, dans ce domaine : la télésanté et le commerce en ligne.

Avant la mise en place de la carte « Sésam-Vitale », les Français généraient par an près d'un milliard de feuilles de maladie, documents papier qu'il fallait non seulement imprimer, mais aussi transporter et stocker (le bilan carbone de cette opération de dématérialisation est donc éminemment favorable). De plus, avec ce développement de la gestion administrative de la santé, l'informatisation des cabinets médicaux est aujourd'hui réalisée à plus de 80 %. Par ailleurs, plus de 50 % des foyers sont équipés d'un ordinateur « PC » raccordé à l'Internet. On envisage donc le développement d'applications permettant de limiter les déplacements tant des médecins que des patients (consultations à distance, échanges de données médicales entre médecins, informations, conseils, coordination des soins). Ce potentiel est encore faiblement exploité aujourd'hui.

Les achats sur Internet font, eux aussi, appel à une consultation à distance, qui économise le voyage fréquemment effectué par l'acheteur, de son domicile au magasin, avec son véhicule personnel. Certes, la livraison à domicile exige le transport de la marchandise. Mais les tournées de livraison peuvent être rationalisées, à l'aide des TIC, et faire appel à des flottes captives, peu émettrices de gaz à effet de serre (comme, par exemple, des véhicules électriques).

Améliorer l'information des consommateurs et des pouvoirs publics sur la réalité de leurs émissions

Les technologies de radio-identification (RFID, pour *Radio Frequency IDentification*, en anglais) seront un outil précieux permettant de récapituler, pour tout produit, les émissions auxquelles ont donné lieu sa fabrication (ou sa culture et sa récolte), son emballage, son transport et de pouvoir ainsi identifier chacune des composantes de son contenu total en carbone d'origine



© Hamilton/REA

« Les achats sur Internet font appel à une consultation à distance, qui économise le voyage fréquemment effectué par l'acheteur, de son domicile au magasin, avec son véhicule personnel ».

fossile. Le fait de communiquer cette information aux consommateurs pourrait orienter le choix des plus sensibilisés d'entre eux au réchauffement climatique vers les produits et les pratiques susceptibles d'y contribuer le moins. Les entreprises elles-mêmes seraient dès lors incitées à rechercher des solutions plus sobres en carbone, de façon à faire évoluer le marketing de leur offre.

La mise en place d'une comptabilité carbone permettrait aux pouvoirs publics de disposer des éléments d'information susceptibles d'éclairer les décisions envisageables, en matière de réglementation et de taxation.

Contribuer au développement de réseaux d'énergie plus sobres en carbone

Une façon très efficace de réduire les émissions de carbone consiste à remplacer l'énergie d'origine fossile utilisée pour le chauffage par de l'électricité, en dehors des périodes de pointe de consommation d'électricité, que les TIC sont susceptibles de rendre identifiables par les utilisateurs. Cela sera possible avec des appareils hybrides pouvant utiliser deux types d'énergie, par exemple un chauffage mixte au fioul (ou au gaz) et à

l'électricité : une mesure, très simple et très efficace, pourrait consister à introduire une résistance chauffante dans le réseau d'eau d'un chauffage central alimenté par une chaudière au fioul ou au gaz. Les TIC permettraient une grande souplesse de basculement d'un type d'énergie à l'autre, en fonction des options choisies par chacun des utilisateurs et de l'état de la consommation électrique constatée sur le réseau, en temps réel.

Ce principe d'utilisation prioritaire de l'électricité en dehors des périodes de pointe est applicable, dans le domaine des transports, aux véhicules hybrides, rechargeables par l'intermédiaire d'une source externe.

Si la capacité de production d'électricité nucléaire était augmentée à due proportion, les gains quantitatifs seraient considérables : entre 100 et 200 TWh par an, qui permettraient d'éviter annuellement plus de dix millions de tonnes de carbone émises dans l'atmosphère par le secteur des transports (ainsi que plus de dix millions de tonnes émises par les installations de chauffage).