



*L'Académie des technologies
Commission Technologies de l'Information
et de la Communication (TIC)*

*Maîtrise et diffusion
des Technologies
de l'Information
et de la Communication*

Un enjeu économique et sociétal majeur pour la France

Communication à l'Académie des technologies
Juillet 2005

Les publications de l'Académie des technologies

L'Académie des technologies publie trois collections :

- une collection sous couverture bleue, reproduisant des *Avis et Rapports de l'Académie*, approuvés par l'Assemblée ;
- une collection sous couverture rouge, reproduisant des *Communications à l'Académie*, rédigées par des Académiciens, non soumises au vote de l'Assemblée et publiées sur décision du Conseil académique ;
- une collection sous couverture verte, avec des textes courts rédigés par un ou plusieurs Académiciens et consacrés à *Dix questions* d'actualité sur un sujet de technologie : les textes sont diffusés sur décision du Conseil académique.

Ceux précédés d'un astérisque (*), parmi les travaux académiques rappelés *in extenso* ci-après, sont publiés ou en cours de publication. Les autres textes sont mis en ligne sur le site public : <http://www.academie-technologies.fr>

Avis et rapports de l'Académie :

1. *Brevetabilité des inventions mises en œuvre par ordinateurs : Avis au Premier ministre, juin 2001.*
2. *Analyse des cycles de vie, oct. 2002.*
3. *Le Gaz naturel, oct. 2002.*
4. *Les Nanotechnologies : enjeux et conditions de réussite d'un projet national de recherche, déc. 2002.*
5. *Les Progrès technologiques au sein des industries alimentaires – Impact sur la qualité des aliments/1. La filière lait, mai 2004.*
6. *Note complémentaire au premier Avis transmis au Premier ministre, juin 2003.*
7. *Quelles méthodologies doit-on mettre en œuvre pour définir les grandes orientations de la recherche française et comment, à partir de cette approche, donner plus de lisibilité à la politique engagée ? déc. 2003.*
8. *Les indicateurs pertinents permettant le suivi des flux de jeunes scientifiques et ingénieurs français vers d'autres pays, notamment les États-Unis, déc. 2003.*
9. *Recenser les paramètres susceptibles de constituer une grille d'analyse commune à toutes les questions concernant l'énergie, déc. 2003.*
10. *Premières remarques de l'Académie des technologies à propos de la réflexion et à la concertation sur l'Avenir de la recherche lancée par le ministère de Recherche, mars 2004.*
11. *Métrologie du futur, mai 2004*
12. *Le système français de recherche et d'innovation - Vue d'ensemble du système français de recherche et d'innovation + Annexe 1 : La gouvernance du système de recherche ; Annexe 2 : Causes structurelles du déficit d'innovation technologique. Constat, analyse et proposition, juin 2004.*
13. ** Interaction Homme-Machine, oct. 2004.*
14. *Avis sur l'enseignement des technologies de l'école primaire aux lycées, sept. 2004.*
15. *Enquête sur les frontières de la simulation numérique, juin 2005.*

Communications à l'Académie :

1. *Commentaires sur le Livre Blanc sur les Énergies, janv. 2004.*
2. **Prospective sur l'énergie au XXI^e siècle, synthèse de la Commission Énergie & Environnement, avril 2004, mise à jour déc. 2004.*
Monographies dans le cadre de la Commission E & E :
 - *Les filières nucléaires aujourd'hui et demain, nov. 2004 ;*
 - *Énergies renouvelables, énergie éolienne, énergie hydraulique, 8 juin 2005.*
3. *Pour une politique audacieuse de recherche, développement et d'innovation de la France, juillet 2004.*
4. **Les TIC : un enjeu économique et sociétal pour la France, juillet 2005.*

Dix questions :

1. *Les véhicules hybrides* – 10 questions proposées par François de Charentenay, déc. 2004.
2. **Les déchets nucléaires* – 10 questions proposées par Robert Guillaumont, déc. 2004.
3. **L'avenir du charbon* – 10 questions proposées par Gilbert Ruelle, janvier 2005.
4. **L'hydrogène* – 10 questions proposées par Jean Dhers, janvier 2005.

Avertissement

Le fait que les publications de l'Académie des technologies soient regroupées en trois collections distinctes découle d'un classement interne des textes par les instances académiques.

*En effet, les **Avis et Rapports de l'Académie** engagent celle-ci, dès lors que les textes, préalablement visés par le Comité de la Qualité, ont été soumis à débat et à un vote par l'Assemblée.*

Les Avis constituent des réponses de l'Académie à des saisines d'autorités, notamment gouvernementales et ne sont publiées qu'avec l'accord des destinataires.

*Les **Communications à l'Académie** font, d'une part, l'objet de présentations à l'Assemblée et de débats, d'autre part, sont visés par le Comité de la Qualité ; elles ne sont pas soumises à un vote et il revient au Conseil académique de décider de l'opportunité d'une publication. Ces textes engagent la seule responsabilité de leurs auteurs.*

*Les **Annexes des Rapports et des Communications**, visées également par le Comité de la Qualité, sont signées et engagent la seule responsabilité de leurs auteurs (souvent des experts non membres de l'Académie) qui peuvent en disposer. Elles sont réunies, le plus souvent, avec les corps de texte votés afin de constituer des publications complètes et à jour au moment d'être mises sous presse.*

*Le lecteur est toutefois invité à visiter le **site Internet de l'Académie***

<http://www.academie-technologies.fr> où apparaissent non seulement tous les textes votés, les Communications et les « Dix questions » mais aussi des textes qui ne font pas (ou pas encore) l'objet d'une publication dans l'une ou l'autre des trois collections.

Les travaux de l'Académie se poursuivant sur certaines thématiques, des versions plus récentes de textes et/ou d'annexes sont régulièrement mises en ligne.

Ont contribué à ces études

Coordination :

Christian Saguez : président de la Commission TIC

Auteurs d'annexes :

- les modèles économiques liés au développement des TIC : Danièle Blondel
- Interfaces Homme-Machine : Philippe Coiffet – Erich Spitz
- L'entreprise numérique : Michel Frybourg
- Les Télécommunications – Où en est on – Quelle place pour les technologies optiques : Jean Jerphagnon
- De JESSI à MEDEA + ou le renouveau de la microélectronique en Europe : Jean-Pierre Noblanc
- Assurer la pérennité de l'économie et de la société : Jacques Vincent-Carrefour

Membres de la Commission TIC :

Yves Bamberger – Maurice Bellanger – Alain Bensoussan – Danièle Blondel – Yves Caseau – Pierre Castillon – Philippe Coiffet – Jean-Pierre Coudreuse – Nicolas Curien – Pierre Fillet – Michel Frybourg – Georges Grunberg – Pierre Haren – Jean Jerphagnon – Jean Krautter – Robert Lattès – Jacques Lenfant – Louis-Joseph Libois – Alain Mongon – Michel Neuve Eglise – Jean-Pierre Noblanc – Lihn Nuyen – Pierre Perrier – Christian Saguez – Erich Spitz – Jacques Vincent-Carrefour

Personnes extérieures invitées à la Commission TIC :

N. Alter – M. Berry – D. Bollo – J. Borel – A. Brenac – P. Caseau – G. Chollet – G. Comyn – B. Estang – D. Gueyffier – E. Hayat – F. Jutand – P. A Muet – G. Pujolle – F. Rechenmann – J.-G. Remy – S. Retif – J.-J. Rigoni – H. Rougier – J. Roure – P. Schmitt – P. Schouller – A. Stern – M. Tesseydre – M. Volle – E. Walkowiak

Secrétaire scientifique de la Commission TIC :

Pierre Saurel

Table des matières

I.	Préambule	9
II.	Introduction	11
III.	Quelques caractéristiques importantes des TIC	14
III. 1.	Un phénomène transversal, mondial et irréversible	14
III. 2.	Un phénomène qui transforme en profondeur les organisations et les relations entre les acteurs	16
III. 3.	Un phénomène qui transforme le cadre spatio-temporel de l'activité économique et sociale	19
IV.	Quelques défis et perspectives	23
IV. 1.	Défi 1 : Maîtriser les technologies et favoriser les usages pour développer l'innovation et la compétitivité des entreprises	23
IV. 2.	Défi 2 : Former les spécialistes et les utilisateurs des TIC	27
IV. 3.	Défi 3 : Favoriser le développement des entreprises innovantes	29
IV. 4.	Défi 4 : Évaluer les fragilités et assurer la robustesse des systèmes d'information et de communication	32
V.	Conclusion	36
VI.	Bibliographie succincte	37
VII.	Annexes	39
VII. 1.	Les modèles économiques liés au développement des TIC – <i>Daniel Blondel</i>	41
VII. 1.1.	Des processus inédits	41
VII. 1.2.	Trois types de modèles économiques	43
VII. 2.	Interfaces Homme-Machine (IHM) – <i>Philippe Coiffet et Erich Spitz</i>	46
VII. 2.1.	Introduction	46
VII. 2.2.	Émergence du concept d'IHM	46
VII. 2.3.	Difficultés de conception des IHM	47
VII. 2.4.	Approche pour la réalisation d'IHM	48
VII. 2.5.	Évolutions technologiques prévisibles influençant le domaine des IHM	49
VII. 2.6.	Conclusion	50
VII. 3.	L'entreprise numérique – <i>Michel Frybourg</i>	51
VII. 3.1.	Réduire les coûts : l'EDI	51
VII. 3.2.	Les outils de gestion	52
VII. 3.3.	Rôle de l'Académie des technologies	53

VII. 4. Télécommunications	
Où en est-on ? Quelle place pour les technologies optiques ? – <i>Jean Jerphagnon</i>	54
VII. 4.1. Cycles	54
VII. 4.2. Essor d'Internet	55
VII. 4.3. Conditions de réussite	56
VII. 5. De JESSI à MEDEA+ ou le renouveau de la microélectronique en Europe	
– <i>Jean Pierre Noblanc</i>	58
VII. 5.1. JESSI	58
VII. 5.2. MEDEA et MEDEA+	58
VII. 6. Assurer la pérennité de l'économie – <i>Jacques Vincent-Carrefour</i>	60
VII. 6.1. Les enjeux	60
VII. 6.2. Un problème de plus en plus aigu	60
VII. 6.3. Les origines de ces fragilités	61
VII. 6.4. Les réponses	62
VII. 6.5. Des propositions	63

I. *Préambule*

Ce rapport présente une synthèse des réflexions menées par la Commission TIC (Technologies de l'Information et de la Communication) de l'Académie des technologies jusqu'à mi-2004. Depuis cette date, l'impact considérable de ces technologies dans le développement économique et la vie de chacun a été très largement confirmé. Citons, à titre d'exemple, l'essor du e-commerce et des technologies RFID¹, l'accélération de l'e-administration notamment avec la mise en place de la LOLF², la large prise de conscience de l'importance de la maîtrise de l'information et le rôle des moteurs de recherche, l'intégration des technologies matérielles et logicielles dans la quasi-totalité des produits et matériels avec le rôle fondamental des systèmes embarqués, l'accélération des puissances disponibles (puissance de calcul, débits des réseaux, capacité de stockage) et le rôle très différenciant lié à la maîtrise des logiciels de conception...

Cette accélération des phénomènes a amené la Commission à poursuivre ses travaux, autour des grands thèmes sur lesquels il lui a paru essentiel d'attirer l'attention des décideurs et d'émettre des recommandations. Les thèmes objets des travaux actuels concernent les domaines suivants :

- L'impact de la Chine et de l'Inde, sur les TIC (phénomène de mondialisation, délocalisation,...) ;
- L'externalisation des services par les TIC (Business Process Management) avec les conséquences sur l'organisation des entreprises et administrations et sur l'emploi ;
- Les bibliothèques numériques ; la diffusion des informations (texte, image, son...) et le rôle des technologies associées, notamment des moteurs de recherche ;
- Les systèmes embarqués (matériels et logiciels) et le développement du concept de « *pervasivité* » « *pervasive computing* » ;

Par ailleurs, la Commission TIC a proposé de lancer deux Groupes de réflexion sur les thèmes :

- *Technologie – innovation – compétitivité*, sous la direction de Danièle Blondel ;
- *Grands systèmes techniques*, sous la direction d'Yves Bamberger.

Enfin, de par le caractère fondamentalement transverse des Technologies de l'Information et de la Communication, la Commission se trouve naturellement associée à des réflexions menées à

¹ RFID – Radio Frequency Identification.

² LOLF – Loi organique sur les lois de finances.

l'Académie des technologies dans lesquelles ces technologies sont appelées à jouer un rôle majeur. Ces réflexions concernent actuellement la médecine ambulatoire, le transport et le développement des PME.

Les technologies du numérique – avec l'énergie, sont deux des priorités de la France. La Commission TIC de l'Académie des technologies souhaite, par les réflexions qu'elle mène, apporter une contribution originale à l'ensemble des acteurs nationaux et européens, politiques, économiques et scientifiques.

Christian Saguez
Président de la Commission TIC
Académie des technologies
1^{er} mars 2006

III. *Introduction*

Le domaine des Technologies de l'information et de la communication (TIC) regroupe l'ensemble des secteurs des télécommunications, de l'informatique et de l'audiovisuel.

Un phénomène de convergence

Ces trois secteurs ont convergé sous l'influence de deux phénomènes : le développement foudroyant de l'Internet qui a apporté l'ubiquité et la généralisation de la numérisation de tous les signaux, tous les médias, que ce soit l'écrit, l'audio ou la vidéo.

Ces deux phénomènes conjugués constituent une véritable révolution, qui touche de plein fouet, non seulement le secteur industriel des TIC, mais également les domaines économiques et industriels traditionnels, dans la mesure où les TIC en sont une composante transversale essentielle. Parallèlement, cette mutation concerne autant les activités professionnelles que les comportements individuels.

Tandis que le développement des technologies ouvre des perspectives quasiment sans limite, la déréglementation du secteur des télécommunications et de l'audiovisuel a déclenché une compétition féroce entre les opérateurs anciens et nouveaux, et a provoqué une envolée sans précédent des investissements, des créations d'entreprises et, pendant un certain temps, des bourses mondiales.

Les États européens, Grande-Bretagne et Allemagne en tête, ont voulu bénéficier financièrement de l'attribution des licences pour la troisième génération de communications mobiles (UMTS¹), en instituant des enchères ruineuses pour les opérateurs des télécommunications. L'euphorie s'est emparée de quelques gourous économiques qui, persuadés de la croissance de la productivité sans inflation permise par les TIC, ont fait perdre toute mesure aux opérateurs financiers, même si le célèbre gouverneur de la banque centrale américaine, Alan Greenspan, les mettait en garde contre « *l'exubérance irrationnelle des marchés* ».

L'éclatement de la bulle Internet à la fin de l'année 2000 a transformé l'euphorie en dépression. Quelques mois plus tard, la perte de confiance dans la « nouvelle économie » a encore été accentuée par les événements du 11 septembre 2001. Pourtant, cette crise dans le domaine des TIC n'a marqué aucunement la fin de la croissance du secteur, mais plutôt le retour à un rythme de croissance annuelle plus raisonnable, probablement de quelque 10 % à moyen terme, de toutes façons supérieur au rythme de croissance des industries traditionnelles.

¹ L'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) permet l'accès rapide à Internet et à la visiophonie depuis un téléphone mobile.

Impact sur le tissu économique et sociétal

Pour mesurer l'impact des TIC, il ne faut pas limiter l'analyse au seul secteur industriel cœur des technologies de l'information, mais observer la diffusion des TIC dans la plupart des activités industrielles ou de services, ainsi que leur nécessaire impact sur la modernisation des administrations et des services publics, qui constituent autant de gisements d'une croissance possible et vitale.

L'influence des TIC sur l'ensemble du tissu économique et sociétal constitue un mouvement de fond puissant et durable.

Dans le monde économique et dans la sphère publique, l'appropriation des TIC par les différents acteurs conduit à une révision majeure selon tous les axes :

- méthodes de gestion et de management ;
- organisation et localisation (ou délocalisation) du travail ;
- remise en cause de la notion de distance ;
- relations entre usagers et fournisseurs, citoyens et administrations ;
- définition et renouvellement des métiers.

Mais cette mutation ne se limite pas au domaine économique ou administratif ; les usages des TIC modifient également comportements et activités individuelles. Désormais, il n'est plus un seul domaine de la société qui ne puisse prétendre rester à l'écart du développement de ces technologies et de leur usage. La demande évolue, de la technique vers les usages, avec une forte préoccupation économique et sociale.

Dans le domaine de l'emploi et de la formation disparaît progressivement la dichotomie traditionnelle entre lieux et moments de travail productif (bureau) et de formation (école). De même, dans la santé, s'estompe peu à peu la distinction entre lieux réservés aux personnes en bonne santé (soins à domicile et soins préventifs) et lieux réservés aux malades (hôpitaux et soins curatifs).

Dans le domaine des services, l'offre se redéfinit, passant de simples « produits » à une définition générique en pleine mutation, pour remplir une fonction de consommation à forte dimension sociale : se déplacer, élever des enfants, prendre soin des personnes âgées, etc.

Quatre défis à relever

Pour que l'accès aux TIC se généralise dans la société, pour éviter une néfaste « fracture numérique », leur usage ne doit pas se limiter à une frange de spécialistes. L'appropriation des nouvelles technologies par le plus grand nombre est évidemment essentielle, et concerne en particulier l'adéquation au rythme de développement technologique, avec une utilisation de masse des produits et des services qui en découlent.

Ainsi, la question des usages revêtelle un caractère pluridisciplinaire :

- **économique**, avec par exemple les tarifs d'accès au réseau et le coût des terminaux (incluant les logiciels applicatifs) ;

- **technologique**, avec la simplification de l'utilisation de terminaux ergonomiques (interface homme-machine) ;
- **sociologique et psychologique**, avec le développement de services adaptés aux besoins divers des usagers (éducation, culture, loisirs, santé, commerce...), lesquels nécessitent des réseaux de communication performants et sûrs, adaptés aux usages visés.

Cette problématique fait émerger quelques défis importants : l'adéquation des technologies et des usages, la formation aux TIC et leur acceptabilité, l'accompagnement de la dynamique entrepreneuriale et l'analyse des aspects durables du phénomène.

- **Défi 1 Maîtriser les technologies et favoriser les usages pour développer l'innovation et la compétitivité des entreprises :**
 - en mettant à niveau et en coordonnant en permanence l'effort de recherche et développement pour se maintenir sur le front de la compétitivité ;
 - en promouvant la mise en place de grands programmes dans le domaine des TIC ;
 - en sensibilisant les entreprises aux avantages concurrentiels obtenus au moyen d'une mise en place et d'une maîtrise de systèmes d'information adéquats ;
 - en facilitant l'accès au réseau haut débit à des prix compétitifs.
- **Défi 2 Former les spécialistes et les utilisateurs des TIC :**
 - en formant chacun à l'utilisation des TIC et aux différents usages ;
 - en formant les spécialistes nécessaires au développement du secteur.
- **Défi 3 Favoriser le développement des entreprises innovantes dans le secteur des TIC :**
 - en impliquant les grandes entreprises dans l'émergence et la croissance des jeunes pousses ;
 - en stimulant le partage des risques entre le secteur financier privé et les jeunes entrepreneurs ;
 - en incitant les collectivités publiques à devenir les catalyseurs locaux de l'entrepreneuriat.
- **Défi 4 Évaluer les fragilités et assurer la robustesse des systèmes d'information et de communication :**
 - en assurant une meilleure connaissance des fragilités des TIC avec une bibliothèque d'événements à la disposition des entreprises et de l'État ;
 - en créant un observatoire de la prénorme dans le domaine des TIC.

III. *Quelques caractéristiques importantes des TIC*

Dans cette première partie, nous présentons quelques caractéristiques importantes propres aux TIC. Si elles n'épuisent pas toute la complexité des phénomènes en cause, ces caractéristiques constituent des éléments essentiels pour comprendre, en particulier les conditions qu'exige l'intégration optimale des TIC dans la dynamique des entreprises et dans la vie quotidienne de chacun.

III. 1. Un phénomène transverse, mondial et irréversible

a. Un phénomène transverse

La transversalité des TIC se manifeste de plusieurs façons. Tout d'abord les technologies mises au point font appel à la fois aux différentes disciplines traditionnelles (informatique, mathématiques, électronique, physique, science des matériaux, chimie, etc.) et aux sciences humaines et sociales, notamment dans le cadre du développement de leurs usages. Ce caractère transverse remet en cause la typologie traditionnelle des domaines de recherche et nécessite la mise en place de nouvelles structures pluridisciplinaires.

Par ailleurs les TIC ne sont pas liées à un seul ou même à plusieurs secteurs économiques. Elles interviennent dans l'ensemble des secteurs, et notamment celui des entreprises traditionnelles. Elles concernent tous les métiers et en suscitent de nouveaux. Les systèmes d'information, colonnes vertébrales des entreprises, deviennent également omniprésents dans la vie quotidienne. La maîtrise de l'information et de sa diffusion devient essentielle, à tous les niveaux de la vie, professionnelle ou personnelle.

Dans une société développée industriellement comme la nôtre, on ne peut établir de dichotomie entre le développement des technologies informatiques et leur usage. Ces deux notions forment un couple, entre offre et demande, qui stimule l'ensemble du secteur des TIC. Cette interdépendance imprègne la dynamique économique, mais également l'évolution en profondeur de nos sociétés.

b. Un phénomène mondial

Par nature, les TIC sont de puissants vecteurs de globalisation qui, diffusant sur l'ensemble de la planète de plus en plus d'informations de manière peu coûteuse et stimulant l'interactivité de leurs usagers, tendent à abolir les frontières et les distances.

Par ailleurs, l'interconnexion des réseaux de télécommunications et d'Internet a créé un « maillage » de la planète, assurant la communication et la diffusion immédiate de l'information, et facilitant le travail coopératif ainsi que la délocalisation de développements, notamment logiciels.

En outre le marché des TIC a vu se constituer d'importants groupes industriels ou de services, évoluant avec une stratégie définie à l'échelle de la planète. Ces groupes disposent de moyens financiers très importants, et peuvent imposer à l'ensemble du marché standards et normes de

fait. Cette situation a permis à de jeunes sociétés de devenir incontournables. Certaines, telles que Microsoft, Intel, Cisco, Nokia, SAP..., ont su devenir des leaders mondiaux du secteur en l'espace d'une dizaine d'années.

Aussi, toute réflexion sur les TIC doit-elle se placer dans un horizon mondial et prendre en compte les politiques d'incitation suivies dans les différents pays, sachant que ces politiques constituent l'un des principaux moteurs économiques de la compétitivité des entreprises, tant traditionnelles que nouvelles. Dans tous les secteurs d'activités, y compris dans les organismes à but non lucratif, ces technologies doivent être perçues comme un facteur essentiel permettant d'augmenter la productivité et de créer de la valeur, notamment sous la forme de nouveaux biens et services.

Lorsqu'on compare les flux d'offre et de demande intérieurs tant pour un pays donné que pour l'ensemble du monde, on discerne immédiatement la difficulté à améliorer la situation au niveau national, alors qu'à ce niveau on ne maîtrise au mieux qu'un seul des quatre flux en question.

Dans cette évolution, les États-Unis sont en avance. Depuis très longtemps ils ont décidé que les TIC constituaient un élément majeur de leur stratégie internationale. La maîtrise des systèmes d'information est pour eux un axe prioritaire : des crédits fédéraux importants ont été attribués pour développer les infrastructures de communication, et les administrations ont favorisé le développement des applications et des initiatives en matière de création de nouvelles technologies, notamment auprès des start-up, par la procédure SBIRE. Ainsi les États-Unis ont-ils choisi de mener une action volontariste dans le secteur des TIC : le Président Clinton créa un Conseil à cet effet, le PITAC (*President's Information Advisory Committee*). Cette politique est actuellement poursuivie, et même accentuée par le Président George W. Bush. Les autres pays (y compris le Japon) ne sont pas en situation aussi favorable.

Le Canada a également décidé de prendre une position de leader dans les TIC. Il a entrepris diverses actions, pour bâtir une image de marque nationale, accélérer la transformation des entreprises, notamment par des incitations fiscales, développer les actions de formation, favoriser la croissance des entreprises en ciblant la recherche sur les TIC et en stimulant le capital-risque, promouvoir les TIC dans les administrations publiques, accélérer la mise en place d'une politique internationale d'utilisation d'Internet.

En Europe, l'Allemagne et les pays nordiques (Suède, Finlande...) ont décidé d'en faire un axe prioritaire. Lors du sommet européen de Lisbonne, l'Union européenne a affirmé que les TIC constituaient une priorité essentielle. Elle s'est engagée à mettre en place un véritable programme d'e-Europe.

En France, le Comité interministériel pour la société de l'information, présidé par le Premier ministre, a réaffirmé le 10 juillet 2000 les objectifs du programme gouvernemental pour la société de l'information et décidé d'amplifier les moyens visant à la réduction du « fossé numérique », à l'accroissement du nombre de professionnels des technologies de l'information et au développement de l'effort public de recherche. À l'occasion de ce Comité, a été mis en place un Conseil stratégique pour les technologies de l'information (CSTI), placé auprès du Premier ministre, et composé de personnalités issues des secteurs de l'entreprise et de la recherche.

c. Un phénomène irréversible

En dépit de la crise des années 2000-2003, les évolutions engendrées par les technologies de l'information et de la communication constituent un phénomène irréversible et de grande ampleur. L'information sous toutes ses formes (son, texte, image...) est devenue un élément stratégique essentiel. Les organisations, les entreprises, les individus sont tous directement ou indirectement concernés par ces vecteurs de communication et d'information. Par ailleurs, les liens de dépendance étroits entre les réseaux de transmission de l'information et les autres réseaux (bancaire, financier, électrique, etc.) constituent un facteur important d'irréversibilité.

L'information est désormais une brique élémentaire pour tous les grands opérateurs de services. Ainsi l'activité d'une compagnie aérienne sera-t-elle totalement perturbée par l'indisponibilité des réseaux de réservation ou d'allocation des sièges, de navigation et de contrôle aérien, de suivi et d'affectation de sa flotte d'avions. De même les banques seront-elles rapidement paralysées, si les différents réseaux assurant les transactions interbancaires ne fonctionnent plus de façon adéquate. Il en est de même, bien entendu, pour les réseaux intervenant dans les domaines de la défense et de la sécurité, toute action militaire nécessitant aujourd'hui en premier lieu la mise en place des différents systèmes d'information (SIC) adéquats. Cette très grande interdépendance constitue un autre élément d'irréversibilité de l'évolution technologique en cours, mais d'ailleurs aussi de vulnérabilité.

Au-delà des domaines d'application naturels que sont les télécommunications ou l'informatique stricto sensu, ces technologies sont intégrées dans la majorité des produits et activités professionnels ou de la vie quotidienne (automobile, transports, électroménager, systèmes de protection, agroalimentaire), ce qui rend leurs usages désormais indispensables. Certains parlent déjà de « produits-services »².

À titre d'exemple, la voiture est devenue un système d'information avec un moteur. L'impact des TIC est également perceptible dans la structure même de l'habitat. Les concepteurs des lieux d'habitation intègrent en effet l'ensemble des capacités d'accès aux réseaux d'information (contrôle et suivi des consommations d'énergie, surveillance et sécurité, etc.) et prennent en compte l'aménagement d'espaces de travail les concernant. Et, à court ou moyen terme, les applications de l'e-business seront intégrées dans nos comportements.

III. 2. Un phénomène qui transforme en profondeur les organisations et les relations entre les acteurs

Le phénomène des TIC touche l'ensemble des domaines de l'économie, qui doivent donc s'adapter au plus vite à ces technologies. Cette mutation concerne aussi bien l'organisation proprement dite (moyens d'étude et de recherche, moyens de production), que les activités commerciales et les relations avec les clients, les fournisseurs et les autres agents les plus divers. Ces organisations nouvelles développent autant de relations nouvelles en réseau entre les acteurs et redistribuent les relations de pouvoir : les circuits d'information deviennent à cet égard pratique-

² Pierre Laffitte et René Trégouët, *Les conséquences de l'évolution scientifique et technique dans le secteur des télécommunications, rapport au Sénat n°159, 20 décembre 2001.*

ment incontrôlables, ce qui nécessite des modes de fonctionnement nouveaux, encore en partie à inventer.

Développement du travail collaboratif

Cette transformation touche tout d'abord les méthodes de travail et les relations de pouvoir au sein de l'entreprise. Le travail devient de plus en plus coopératif ou collaboratif, ce qui impose un partage de l'information et des données. Au moyen d'un intranet³ ou d'un extranet⁴, les équipes de plusieurs entreprises ou d'une même entreprise réparties dans des lieux différents, souvent dans plusieurs pays, peuvent travailler sur un même projet de conception ou d'exploitation. Ainsi des bureaux de conception élaborent-ils désormais ensemble des prototypes virtuels partagés entre plusieurs équipes. Ces méthodes réduisent considérablement les temps et les coûts d'études et de mise sur le marché.

Dans le secteur automobile, par exemple, l'évolution conjointe du couple « TIC - méthodes de travail » a stimulé l'évolution du concept de « plateau », qui permet de partager les éléments de conception et de fabrication pour une gamme de véhicules. Ce dernier comporte désormais moins d'éléments matériels. Une partie du savoir-faire est intégrée dans des logiciels de simulation (par exemple la simulation du crash-test) et s'étend spatialement hors de l'usine grâce aux moyens de communication. L'intégration des TIC permet également un bouclage entre la conception des objets et la chaîne de production. Grâce à ces techniques, le cycle de conception et de mise en fabrication de tout nouveau modèle automobile se trouve fortement réduit.

Mais cette transformation en profondeur concerne l'ensemble des fonctions de l'entreprise, et notamment la gestion des ressources, y compris des ressources cognitives. Ainsi la gestion et l'administration, notamment celles des grandes entreprises, sont-elles souvent bouleversées par le déploiement des ERP (alias *Enterprise Resource Planning*), progiciels intégrés de planification de l'ensemble des ressources de l'entreprise. La mise en place des ERP remet en cause l'organisation des différents processus impliqués et des flux d'information, ce qui impose une réflexion globale et souvent une structuration nouvelle.

L'ensemble des techniques de gestion des connaissances (alias *Knowledge Management*) suscitent une meilleure utilisation du savoir-faire global de l'entreprise, sa pérennisation, ainsi qu'une amélioration de la gestion des ressources humaines.

Les relations avec les clients (ou les usagers) et les fournisseurs sont, elles aussi, fortement modifiées. Le développement du commerce électronique peut, dans certains secteurs, modifier fortement la demande commerciale et permettre une gestion « juste à temps », tel l'exemple de Dell, devenu leader mondial dans le secteur des micro-ordinateurs. Le développement des services en ligne et des centres d'appels apporte une réactivité nouvelle aux besoins du client. De même les relations avec les fournisseurs (notamment dans les entreprises manufacturières) sont-elles fortement transformées, notamment par la mise en place d'achats électroniques communs à plusieurs entreprises et une modification profonde de la gestion des stocks.

³ Réseau d'ordinateurs reliés au sein d'une entité économique et faisant exclusivement appel à des ressources informatiques propres à cette entité.

⁴ Réseau d'ordinateurs reliés au sein d'une entité économique et faisant appel à des ressources informatiques extérieures à cette entité.

Tous ces éléments démontrent que cette ouverture des systèmes d'information représente une opportunité unique pour les entreprises et un facteur important d'amélioration de la productivité et de création de valeur.

Influence sur l'emploi

Le marché de l'emploi a été fortement transformé par le développement des TIC. C'est l'un des enjeux économiques et sociaux majeurs du phénomène.

Le premier secteur à avoir été concerné est bien sûr le secteur propre aux technologies de l'information, qui produit les biens et les services permettant la numérisation de l'économie. Mais désormais il n'est plus le seul : la diffusion de ces technologies dans l'ensemble des autres secteurs impose à l'ensemble de la main-d'œuvre de s'adapter. Le problème est à la fois non seulement qualitatif mais aussi quantitatif.

Trois étapes historiques

Réduction de l'emploi. Dans les années 70, la première génération de TIC accroît la productivité physique des industries et des services, en remplaçant la main-d'œuvre non qualifiée, affectée à des tâches répétitives, par des automatismes. Leur diffusion a mécaniquement pour effet de réduire l'emploi total et de pondérer plus fortement les emplois qualifiés, c'est-à-dire ceux auxquels, à l'époque, l'informatique ne peut se substituer.

Transformation des métiers. Dans les années 80, le rôle des TIC devient plus subtil, notamment sous forme « d'informatique répartie ». Tous les métiers sont alors transformés et enrichis par ces nouvelles technologies et l'emploi a tendance à se concentrer sur les qualifications élevées, capables de s'adapter.

Bipolarisation de l'emploi. Dans la décennie 90, où l'on peut parler de technologies avancées de la communication, l'objectif devient la qualité et la rapidité des échanges. En résulte une démocratisation (diffusion) des usages, et une bipolarisation de l'emploi : d'une part, côté services notamment, un emploi très qualifié, qui doit s'adapter en permanence aux progrès de la technologie ; d'autre part de nouveaux emplois tayloriens, dont les tâches, très codifiées, visent à l'utilisation des nouveaux modes de communication – ces emplois doivent obéir à des objectifs de rendement quantitatif (exemple des « *call-centers* »).

Par ailleurs, toute la population, dans sa vie quotidienne, doit désormais s'adapter à ces nouveaux systèmes de gestion et de communication, quel que soit le rythme de leur évolution.

Les formations initiale et, surtout, permanente sont donc un défi important des années à venir, pour favoriser le développement du secteur lui-même, mais aussi pour faire accepter les nouveaux produits et services. Pour répondre aux besoins de la recherche et de la production, il faut former des spécialistes et actualiser leurs connaissances régulièrement. Et, pour répondre aux besoins professionnels et citoyens, il faut initier chacun à l'utilisation des TIC.

III. 3. Un phénomène qui transforme le cadre spatio-temporel de l'activité économique et sociale

En modifiant profondément des notions essentielles, telles que localisation ou durée, les TIC transforment nos modes d'analyse et de raisonnement.

a. Transformation du cadre spatial

Les technologies numériques bouleversent les notions traditionnelles de localisation, de distance et de territoire.

Grâce au développement d'Internet et du Web, chacun peut dialoguer et coopérer avec d'autres sans contrainte de distance. Chacun peut également avoir accès à de très nombreuses bases d'information dans le monde (ou communiquer des informations). Les informations et les contacts avec une entreprise, quelle que soit sa localisation, peuvent être obtenus presque instantanément grâce à son site Web. Ces techniques sont déjà largement utilisées aujourd'hui pour la recherche d'emploi. Pourtant ces possibilités demeurent virtuelles aussi longtemps qu'un nombre important d'utilisateurs ne peut disposer pour un coût financièrement acceptable d'outils d'accès conviviaux (réseau à haut débit, ordinateur assez puissant) et d'un soutien ou d'une formation à leur usage (difficultés et technicité de la récupération ou de l'installation d'une configuration Internet « familiale », nécessairement multi-utilisateurs).

La recherche et le développement se font désormais à une échelle mondiale : une équipe de recherche sur un thème donné peut être répartie dans le monde entier. À titre d'exemple, la physique des hautes énergies s'est structurée pour former un réseau unique : ainsi les équipes du monde entier participent-elles aux expériences de l'Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire (CERN)⁵ et se partagent-elles les données recueillies. De même les scientifiques peuvent-ils accéder simplement à une puissance de calcul très élevée sans contrainte de localisation des machines, notamment grâce au déploiement de réseaux à très haut débit (voir le projet GEANT en Europe).

Les nouvelles possibilités de travail coopératif et de télétravail ont également des conséquences sur l'aménagement du territoire, même dans le seul cadre de la France. L'équipement en moyens de communication (réseaux informatiques, accès à des capacités de traitement...) est devenu un enjeu important pour les diverses régions. Il convient en conséquence de donner droit et moyens aux institutions régionales pour conduire en la matière des politiques volontaristes.

Ce phénomène entraîne en retour une mondialisation du phénomène des TIC. Ainsi une société - une jeune pousse notamment - peut-elle accéder rapidement à un marché potentiel mondial. Au cours de sa croissance, elle doit donc avoir les capacités humaines et financières de mutations d'envergure pour assurer un changement d'échelle rapide par déploiement planétaire.

b. Diminution des coûts de transaction et d'intermédiation

La diminution très importante des coûts de transaction bouleverse en profondeur les chaînes de

⁵ Le CERN a été à l'origine du Web ; <http://public.web.cern.ch/>

valeur. Elle modifie en profondeur l'ensemble des activités, professionnelles ou personnelles. Désormais la distance intervient peu, sinon pas, comme élément de base du coût économique des produits et des services, même si elle a une incidence au moment du déploiement des infrastructures. En revanche, ce coût s'établit, de plus en plus, à partir de la quantité des informations et de la qualité des services proposés.

Dans tous les secteurs économiques susceptibles d'utiliser massivement les technologies de l'information, les lieux de création de valeur sont bouleversés par la transformation des modes d'intermédiation et par la diminution des coûts de transaction. Les entreprises capables d'utiliser au mieux les possibilités des systèmes d'information attirent les investisseurs. En quelques années, celle qui est susceptible de créer plus de valeur que ses rivales peut se trouver propulsée à l'échelle mondiale.

Ces éléments modifient également la structuration des marchés, désormais fragmentés différemment par type d'activité. On constate par exemple une fragmentation de la chaîne de distribution de certains biens. Tel est le cas pour l'eau et l'électricité, en Angleterre d'abord, puis aux États-Unis et en Europe. Pour chaque produit, un découpage de la chaîne est introduit, prenant en compte la production, le transport, la distribution, le commercial. Dans le cas de la distribution de l'eau et de l'électricité, cette fragmentation constitue une première étape vers la reconfiguration du secteur et le déplacement des lieux de création de valeur.

Ce bouleversement des lieux de création de valeur fait émerger de nouveaux schémas d'organisation, de nouveaux métiers et de nouveaux services, en particulier dans le domaine de l'intermédiation. Le rapport *L'internet du futur*⁵ a mis en évidence le rôle clé des métiers liés à l'intermédiation, remettant en cause, avec le caractère transverse des TIC, la typologie traditionnelle des métiers et des disciplines.

C'est pourquoi certaines entreprises ont pris la décision stratégique de changer le cœur de leur métier. Ainsi la société Nokia, ancien producteur de papier, est-elle devenue leader mondial de la téléphonie mobile ; la société Westinghouse, qui distribuait de l'électricité, procède désormais à des rachats de chaînes de télévision ; la société Preussag, ancien grand de la sidérurgie, s'est rebaptisée TUI, et œuvre désormais dans le secteur du tourisme.

c. Bouleversement des échelles de temps

Profondément modifiées sous l'effet des TIC, les échelles de temps deviennent particulièrement difficiles à appréhender. Ce phénomène est largement lié aux relations entre technologies et modes de vie :

- le développement des TIC est bouillonnant, à tel point qu'il s'avère difficile de prévoir les prochaines ruptures technologiques ; une chose est sûre cependant : l'impact des technologies va rester très fort ;
- il est difficile, voire impossible, d'anticiper les usages et l'évolution des modes de vie. On ne doit pas attribuer à ce niveau un rôle majeur à la technologie, mais procéder à une

⁵ Gérard Roucairol et Jean-Claude Merlin, *L'internet du futur*, RNTL, janvier 2000 (<http://www.education.gouv.fr/rntl>).

sélection, marquant l'autonomie de la dimension sociétale par rapport à la technologie ; ce double point de vue apparaît au travers des concepts de « nouvelle économie » et « ancienne économie ».

À un moment donné, certaines activités connaissent un déploiement extrêmement rapide. Mais leur vitesse de développement est apparue comme quasi impossible à prévoir, de même que l'acceptabilité par le marché du nouveau concept. Dans ce processus, les utilisateurs jouent un rôle particulièrement important, et généralement minoré, l'attention des analystes étant souvent concentrée, soit sur les possibilités techniques, soit sur les enjeux financiers.

Le GSM, comme le Web, a connu une mise en place relativement lente, mais lorsque la technologie a été au point et a su rencontrer ses utilisateurs et ses usages, en suscitant et en créant son marché, le succès a été fulgurant. Qu'en sera-t-il pour la technologie UMTS, alors que les opérateurs télécoms ont investi des sommes souvent déraisonnables pour l'obtention des licences ? Aucun scénario validé ne peut garantir aujourd'hui le retour sur investissement. On peut toutefois déjà prévoir des difficultés technologiques importantes, avant de parvenir à faire interopérer les systèmes de façon opérationnelle et efficace.

Dans toutes les révolutions industrielles, la mise en place de réseaux de communication (ou de transport) et de moyens de production a été l'un des éléments importants du développement. Au XIX^e siècle, l'évolution est liée au rythme de création des réseaux et installations de production d'électricité, des chemins de fer, des réseaux routiers, ce qui nécessite des infrastructures lourdes, nombreuses et coûteuses avec des délais de réalisation longs. Avec l'économie et les besoins des TIC, les délais de mise en place sont incomparablement plus courts, et les dépenses induites plus faibles.

Pour analyser ce dernier phénomène, nous distinguons ici les secteurs associés respectivement aux produits matériels, aux produits logiciels et aux services et usages.

- **Dans le domaine des produits matériels**, la cadence d'évolution du phénomène est définie par le couple investissement/recherche-développement. En effet, investir dans une technologie nécessite de construire des chaînes de production faisant baisser le prix de revient des technologies produites, mais nécessite aussi en retour d'accroître les possibilités d'usage associées à ces technologies. Quelques grandes lois rythment l'évolution du domaine, telle la loi empirique de Moore qui prédit que la puissance des microprocesseurs double tous les dix-huit mois, alors même que leurs prix restent stables ou sont même tirés vers le bas. Cette loi reflète le fait que le rythme de fond dans le domaine des produits matériels résulte bien de l'investissement dans les technologies. La durée de dix-huit mois pour le doublement de la puissance des microprocesseurs donne également des indications quant à la durée attendue pour le retour sur investissement après lancement de la chaîne de production. Après dix-huit mois, la technologie n'est plus en pointe. Le retour sur investissement doit donc intervenir dans un délai d'environ deux à trois ans. On en déduit que pour chaque produit technologique les « fenêtres » de lancement sont relativement courtes et doivent être parfaitement maîtrisées.
- **Le domaine des produits logiciels** possède des caractéristiques tout à fait spécifiques. Le coût de développement est souvent très élevé, l'assurance qualité reste difficile à maîtriser,

et l'accueil par les utilisateurs est difficile à prévoir. Les coûts de fabrication et de distribution sont très faibles. Un logiciel connaît de nombreuses versions et évolutions au cours du temps, mais sa durée de vie peut être relativement longue. Ces caractéristiques fragilisent souvent les éditeurs de logiciels, qui engagent initialement des investissements très importants. Les méthodes de diffusion au niveau mondial et l'effet quantitatif induit sont assurément des facteurs de succès.

Dans ce domaine, la notion d'application tueuse (« *killer application* ») joue le même rôle que celui d'espèce victorieuse dans l'évolution biologique. Elle désigne la mise sur le marché d'un nouveau produit ou d'un nouveau service qui se substitue aux offres antérieures et qui remporte tout le marché concerné en un temps très court, alors que les concurrents potentiels, qui n'ont pas eu le temps d'adapter leur offre, sont totalement débordés et disparaissent presque totalement du marché. Le même terme est employé, un peu abusivement, lorsqu'une nouvelle application crée son propre marché et en emporte très rapidement l'intégralité.

Ce terme peut paraître trompeur, car il concerne bien entendu les usages, mais aussi, et plus fondamentalement, les technologies, qui se transforment alors en « technologies tueuses ». Par exemple les écrans plats pour ordinateurs portables ont permis d'étendre très rapidement le marché de ces ordinateurs, mais surtout, ils ont permis à la technologie associée aux écrans plats de se développer, de s'affiner, de voir baisser ses coûts, de s'imposer sur le marché des ordinateurs portables, tout en prenant progressivement une partie du marché des ordinateurs fixes.

En fait, le rythme de l'évolution est davantage déterminé par la capacité d'investissement, que par la capacité technique. Pour ce type de technologies, on attend un retour sur investissement rapide, sinon le risque est trop grand. Le rôle de l'offre technologique reste essentiel, même si *in fine* l'usager reste maître de ses choix.

IV. *Quelques défis et perspectives*

À la lumière de l'analyse précédente, le Comité s'est intéressé à quelques défis associés aux TIC, et a analysé quelques perspectives qui devraient permettre d'y faire face. L'ordre de présentation ne constitue pas pour autant un ordre de priorité.

Ces défis concernent le besoin de maîtriser les technologies et de favoriser les usages, la nécessité de former tant les spécialistes que l'ensemble de la population en vue d'assurer une bonne diffusion de l'usage des TIC, l'accompagnement de la dynamique de l'offre afin d'optimiser leurs impacts économique et social, et la maîtrise des aspects durables du phénomène au regard des nouvelles fragilités qu'il induit.

Dans ce contexte, le Comité conseille de favoriser simultanément le développement des technologies et leurs usages. En effet, dans le domaine des TIC, comme d'ailleurs dans la plupart des domaines, lorsque l'on ne maîtrise pas les technologies, on ne possède pas le savoir, et l'on ne peut alors ni contrôler ni développer les usages.

IV. 1. Défi 1 :

Maîtriser les technologies et favoriser les usages pour développer l'innovation et la compétitivité des entreprises

Si les TIC jouent un rôle majeur dans l'évolution du monde économique et sociétal que nous connaissons, cela provient pour une part importante d'avancées technologiques. La technologie est un des éléments essentiels qui permettent le développement économique et la maîtrise stratégique d'un pays. C'est le cas, par exemple, du déploiement de réseaux à haut débit basés sur les technologies ADSL : en permettant de grandes capacités de transmission, l'ADSL apporte des potentialités d'échange indispensables.

a. Mettre à niveau et coordonner en permanence l'effort de recherche et développement pour se maintenir sur le front de la compétitivité

Les investissements en recherche et développement ne peuvent devenir rentables que lorsqu'ils sont effectués en temps et en heure. Ils doivent permettre de disposer de technologies de pointe applicables au bon moment, en fonction de l'évolution du marché. Cette anticipation sur le marché en matière de recherche, parfois nombre d'années à l'avance, est indispensable, même si elle est bien entendu réalisée sans garantie de réussite et de rentabilité.

Ces investissements doivent concerner aussi bien les aspects technologiques que la conception de nouvelles applications. L'objectif est d'apporter les moyens pour favoriser la création de valeur (notamment par le développement de nouveaux secteurs économiques) et pour accroître la compétitivité des entreprises. Les recherches fondamentales, et plus prospectives, doivent avoir toute leur place dans ce dispositif, dans la mesure où une coordination effective existe

par exemple grâce aux réseaux de recherche technologique. La coordination doit également se développer au niveau européen entre les différentes entreprises innovantes.

Le Comité approuve donc les recommandations du Conseil supérieur des technologies de l'information (CSTI) du 3 octobre 2002, visant à doubler les crédits alloués aux TIC : il s'agit d'atteindre une quote-part publique dans l'effort de recherche et développement consacré aux TIC de l'ordre de 17 milliards d'euros⁷ cumulés sur cinq ans. Cela correspond à l'effort des autres pays développés, notamment à celui des États-Unis.

Au niveau national, l'évolution ou la disparition de structures soutenant activement les activités de recherche et développement, telles que le Centre national d'études des Télécommunications (CNET) ou la DRET, ont eu un impact important sur les moyens associés au secteur. En même temps, cela ouvre de nouvelles perspectives aux centres d'excellence, tels que l'Institut national de Recherche en Informatique et Automatique (INRIA), le Laboratoire d'électronique de technologie de l'information (LETI) ou de nombreux laboratoires universitaires, dans la mesure où les laboratoires correspondants disposent d'une masse critique suffisante et coordonnent leurs programmes dans le cadre des réseaux de recherche technologiques.

En effet, les soutiens contractuels proviennent essentiellement de la mise en place des réseaux de recherche technologique⁸. Ces réseaux apportent un soutien financier aux actions de recherche coopératives associant organismes de recherche, PME et grands groupes industriels. Le Comité considère comme important de promouvoir fortement ce concept de réseau technologique et d'apporter les moyens nécessaires à leur développement⁹.

Les efforts nationaux doivent rester pleinement ouverts sur le cadre européen. Le sixième Programme-cadre de recherche et développement (6^e PCRD) recommande l'activation de l'ERA (*European Research Area*) en vue de fédérer les différentes initiatives nationales ou celles qui se développent dans le cadre EUREKA, avec notamment les initiatives MEDEA + sur la microélectronique et ITEA dans le domaine du logiciel.

De nombreux rapports^{10 & 11} ont analysé ces programmes et formulé des propositions pour leur évolution. Par ailleurs l'ISTAG, Advisory Group du programme IST (*Information Society Technology*) de la Commission européenne développe une vision stratégique du secteur sous le concept d'« *ambient intelligence* ». Le 7^e PCRD devra fortement tenir compte de ces éléments.

⁷ Réaction face à la marginalisation de l'Europe et de la France en matière de TIC : <http://www.csti.pmf.fr/fr/avis3oct2002.4.html>.

⁸ Le Réseau national de recherche en télécommunications (RNRT), le Réseau national en technologies logicielles (RNLI), le Réseau de recherche en micro et nano technologies (RMNT), le Réseau de recherche et innovation en audiovisuel et multimédia (RIAM), et d'autres réseaux dans des secteurs applicatifs où les TIC jouent également un rôle fort, tel que le Programme national de recherche et d'innovation dans les transports terrestres (PREDIT) dans le domaine du transport et de la logistique.

⁹ Depuis la rédaction de ce rapport, le gouvernement français a pris des initiatives par la création de l'ANR (Agence nationale pour la recherche) et de l'AIL (Agence pour l'Innovation Industrielle) et la mise en place des Pôles de Compétitivité.

¹⁰ Rapport Pompidou.

¹¹ Pierre Laffitte et René Trégouët, *Les conséquences de l'évolution scientifique et technique dans le secteur des télécommunications*, rapport au Sénat n° 159, 20 décembre 2001.

b. Promouvoir la mise en place de grands programmes dans le domaine des technologies de l'information et de la communication

Ces programmes doivent être l'occasion de développer de manière très opérationnelle des technologies innovantes, d'acquérir par l'expérience un savoir-faire technologique essentiel, de permettre la mise en place d'infrastructures indispensables à la France (en mettant les TIC à la disposition du plus grand nombre). Ils doivent également faciliter les coopérations entre les secteurs public et privé, ainsi que les partenariats industriels, pour ce qui concerne les déploiements opérationnels intégrant des technologies récentes amenées à jouer un rôle fort dans le futur.

Ces grands programmes se situent en aval des initiatives EUREKA ou PCRD, qui, elles, s'attachent à la mise au point des technologies. Les entreprises participant à des projets de grande envergure, notamment dans le cadre de partenariats, doivent devenir des références industrielles, ce qui ne peut que favoriser leur développement.

Deux exemples de grands programmes

Le guichet unique numérique, reprenant une proposition émise dans le rapport sur l'économie du logiciel du groupe de travail présidé par Hugues Rougier¹². Cette initiative permettrait de développer très rapidement l'usage des TIC par le citoyen, pour de nombreuses formalités, en démontrant concrètement l'impact sociétal et économique de ces technologies. Elle pourrait permettre la création au niveau de l'État, d'une Direction des systèmes d'information, essentielle pour coordonner les actions et assurer notamment le maximum d'interopérabilité entre les différents systèmes. Tout cela implique une coordination effective et une intégration au niveau de l'État.

La mise en place d'un programme de développement de l'usage des TIC dans les domaines du transport, de l'environnement et du développement durable, dont le programme GALILEO pourrait être l'un des supports.

La réalisation de grands projets pose des problèmes importants et nécessite des savoir-faire forts, en particulier dans le cadre de systèmes dont la composante immatérielle est prépondérante. Le Comité suggère que l'Académie des technologies soit à l'origine de la création d'un club des responsables de grands projets, afin d'assurer un échange fort d'informations et de développer un savoir-faire et des compétences très recherchées.

c. Sensibiliser les entreprises aux avantages concurrentiels que l'on peut obtenir avec des systèmes d'information adéquats et maîtrisés

Le sous-investissement dans les systèmes d'information résulte d'un ensemble de causes dont certaines sont d'origine culturelle ou institutionnelle.

Des obstacles se manifestent notamment dans les petites et moyennes entreprises, mais ne s'y limitent pas. Les petites structures, où la division du travail est faible, ont plus de difficultés à

¹² *Économie du logiciel : renforcer la dynamique française, Commissariat général du Plan, octobre 2002, groupe de travail présidé par Hugues Rougier.*

développer des systèmes d'information, les compétences nécessaires étant moins présentes et l'énergie disponible étant tout entière absorbée par la gestion de production à court terme.

Mais ces obstacles existent aussi dans les organisations de plus grande taille. Les systèmes d'information sont considérés comme étrangers à la culture « métier » de l'entreprise, et leur développement est souvent traité comme une fonction technique n'entrant pas dans les préoccupations stratégiques de la Direction générale.

Très souvent, au sein d'une entreprise ou d'une administration, la part la plus importante des budgets liés à la conception et la mise en place d'un système d'information consiste en réalité dans l'analyse et la formalisation de l'organisation actuelle, puis dans la conception et la mise en place d'une nouvelle organisation et des processus associés, et enfin dans la formation à l'usage des technologies déployées.

Le recours aux sociétés de services ou de conseil, solution la plus pratiquée par les entreprises de toute taille, ne dispense en aucune manière une entreprise de savoir exercer avec maturité son rôle de maître d'ouvrage : cela suppose d'être capable de formuler des priorités en matière de systèmes d'information, afin de répondre à la stratégie de l'entreprise. En général, le pilotage par les enjeux n'est pas appliqué par les entreprises : il est pourtant nécessaire de les amener à cet état de l'art.

Le domaine des produits logiciels possède également quelques caractéristiques tout à fait particulières. Le coût de développement est souvent très élevé et l'assurance qualité est difficile à maîtriser pour le produit. Les effets d'annonce sont privilégiés et le marketing frise l'anticipation. L'innovation confondue avec une anticipation sur un futur non maîtrisé se vend mieux que l'assurance qualité. La certification s'impose donc, dans ce domaine comme dans d'autres.

Dans ce contexte, le Comité considère comme important de faire disparaître les différents obstacles ou blocages associés au développement des TIC dans les entreprises, en analysant les différentes solutions et en proposant des structures organisationnelles à mettre en place. Les dépenses en TIC doivent être vues comme un investissement stratégique et non comme un centre de coût. Les organisations professionnelles doivent être à l'origine de la réalisation et de la promotion de guides de bonne pratique, permettant d'établir les méthodologies de base devant être mises en œuvre.

d) Faciliter l'accès au réseau haut débit à des prix compétitifs

Le sujet a été examiné par plusieurs instances et a déjà fait l'objet de recommandations. Le haut débit existe dans les liaisons à grande distance (interurbain, international, transocéanique) ; le problème est le réseau dit d'accès, c'est-à-dire, schématiquement, les deux derniers kilomètres pour parvenir jusqu'à l'abonné.

Le réseau haut débit permet l'appropriation de nouveaux services par les usagers, ainsi que leur développement. La définition de ces nouveaux services et la façon de les mettre à disposition sont primordiales, car ils constituent les moteurs du développement économique. On vise bien sûr en premier lieu les services en ligne, comme cela est déjà en cours. L'expérience montre toutefois qu'on ne peut se reposer sur le seul financement par la publicité : pour s'en per-

suader, il suffit de considérer le nombre important de « catastrophes » récentes que cette approche a causées. Le point clef est la mise en place de systèmes « équitables » de rémunération des services ; ce dernier est de la responsabilité de l'ensemble des acteurs, mais l'État, par l'intermédiaire de l'ART ou de la CSA, doit veiller au respect de « règles de bonne conduite ».

En ce qui concerne les infrastructures, au contraire d'autres pays dont les États-Unis, la France ne dispose pas de réseaux pour câblo-opérateurs importants. Il s'agit donc, en premier lieu, de valoriser au mieux les réseaux existants, le réseau téléphonique bien sûr, voire le réseau de distribution d'électricité.

IV. 2. Défi 2 : Former les spécialistes et les utilisateurs des TIC

La formation aux TIC constitue un enjeu de société majeur. Cet enjeu est également essentiel pour leur développement. La formation doit permettre en particulier d'exploiter pleinement les capacités de développement économique et d'accroître la productivité des entreprises.

La problématique se décline selon deux aspects : d'une part la nécessité de former l'ensemble des citoyens à une utilisation de base de ces technologies, et d'autre part, un besoin important de spécialistes, ce qui soulève les problèmes de formation associés.

a. Former chacun à l'utilisation des TIC et aux différents usages

La maîtrise des connaissances de base pour l'usage quotidien des TIC est devenue indispensable pour tous, au même titre que la connaissance de la langue anglaise, ou la capacité à conduire un véhicule. Il s'agit maintenant d'éviter une « fracture numérique », où certains n'auraient pas le savoir-faire ni les moyens d'utiliser les TIC.

Dans ce cadre, il est important de permettre à chacun d'acquérir les connaissances minimales et les éléments simples pratiques des TIC. Cette formation pratique, comprenant notamment l'usage du traitement de texte, des techniques d'échanges d'informations (courrier électronique, etc.), des outils de consultation et de navigation dans les bases d'information, doit être réalisée dès les premiers niveaux éducatifs, au même titre que la lecture, le calcul ou l'écriture.

Cela nécessite :

- un effort important de formation des enseignants à l'utilisation de ces outils et à leur exploitation pédagogique ;
- une mise à disposition de chaque élève, comme cela se pratique déjà dans certaines régions, des équipements nécessaires, micro-ordinateurs et logiciels applicatifs de base.

Par ailleurs, dès le collège, l'usage des technologies de l'information et de la communication doit favoriser l'apprentissage du travail collaboratif ou en équipe.

Le Comité constate que, pour favoriser l'acceptabilité de ces nouvelles technologies, il est essentiel de multiplier les lieux où elles seront totalement accessibles par un public aussi large

que possible. Il faut inciter à la création d'organes de convivialité, publics, privés ou associatifs, et les multiplier. L'aspect intergénérationnel est très important. Il doit permettre un apprentissage informel en donnant accès aux technologies et en supprimant les craintes.

Le Comité préconise la création de Maisons des technologies de l'information et de la communication : elles ont déjà fait l'objet de décisions en l'an 2000, mais pas encore d'une mise en œuvre.

Plus généralement, il convient de faciliter le développement, au niveau local, de clubs en libre service, avec tuteurs, sortes de lieux de rencontre permettant un accès simplifié aux technologies. Il peut s'agir de clubs favorisant un apprentissage informel (sans enseignement technique spécifique, lequel serait contreproductif), analogues aux clubs d'alphabétisation.

b. Former les spécialistes nécessaires au développement du secteur

Le développement des TIC pose un problème majeur en termes de ressources humaines et de formation. En 2000, la moitié des cadres généralistes formés ont pris un premier poste dans le secteur TIC. Dans ce contexte, il convient de développer des formations supérieures spécifiques.

Deux questions essentielles sur la formation des spécialistes

Appréhender les nouveaux métiers qui vont apparaître, notamment dans le cadre des nouveaux services et de l'intermédiation, ainsi que les profils de formation requis pour ceux-ci : le secteur des TIC n'entre plus dans la typologie traditionnelle en termes de disciplines, ce qui remet en question l'organisation actuelle des formations, notamment au sein des écoles d'ingénieurs, des universités scientifiques et des grands organismes de recherche.

Prendre en compte également la compatibilité ou l'harmonisation des constantes de temps du système éducatif et des besoins des entreprises. Comment le système éducatif peut-il avoir la réactivité suffisante sans céder aux effets de mode et sans entrer dans une stratégie « bang-bang » incompatible avec l'éducation ? Il s'agit d'intégrer les adaptations nécessaires dans les enseignements, tout en assurant une continuité indispensable.

Le Comité propose de créer de nombreux enseignements directement accessibles sur Internet (*e-learning*), tant pour la formation initiale que pour la formation continue, sous couvert de la Présidence des universités et de la Conférence des grandes écoles.

Dans ce contexte, nous proposons de mener une réflexion approfondie sur la formation, en utilisant les technologies d'*e-learning* grâce aux capacités offertes par les réseaux informatiques du monde de la recherche, aux niveaux français et européen.

Cette démarche doit avoir également une retombée importante sur la valorisation du patrimoine culturel, scientifique et technique français et des savoir-faire spécifiques aux différents secteurs, notamment industriels. Aujourd'hui les TIC peuvent favoriser cette valorisation, mais si ces opportunités ne sont pas exploitées, on risque d'assister à des dominations culturelles, ce qui constitue un défi majeur.

IV. 3. Défi 3 : Favoriser le développement des entreprises innovantes

Le secteur des TIC se caractérise par une prépondérance des investissements immatériels en recherche et par une faible durée du cycle de production, au moins en ce qui concerne le logiciel. Beaucoup d'idées révolutionnaires et de ruptures technologiques émanent du monde proliférant des jeunes (et donc petites) entreprises, qui développent de nouvelles opportunités de profit, en offrant de nouveaux produits, services ou systèmes, ou en inventant de nouvelles manières d'exploiter des innovations.

Sur le plan international, l'ensemble du secteur est donc animé par deux dynamiques complémentaires :

- celle des grands producteurs de systèmes et des grands opérateurs de communication, qui, de plus en plus, considèrent les investissements de recherche comme stratégiques, mais sont très sélectifs dans leur développement d'innovations ;
- et celle des jeunes pousses qui prennent le risque d'explorer beaucoup de nouvelles pistes et cherchent notamment à saisir les opportunités que leur fournit le foisonnement de la recherche publique et privée.

Les jeunes entreprises ne peuvent naître et survivre que si le projet qui les fonde est conduit par un leader imaginaire, assurant la transition entre l'idée nouvelle et le produit nouveau et assumant à la fois le risque technologique et le risque de marché dans un environnement très compétitif.

Or, les statistiques montrent que ces « entrepreneurs » sont très inégalement distribués dans les pays en concurrence, et que la France est particulièrement peu fertile en aventures entrepreneuriales, même si, dans ce secteur, des institutions comme l'INRIA ou le CNRS ont travaillé dans le bon sens. À ce niveau, il serait judicieux que ces organismes publics mettent comme critère d'évaluation la création d'entreprises au même titre que les contrats, brevets, etc. En outre, peut-être plus qu'ailleurs, la « bulle du net » qui avait suscité un engouement exceptionnel pour la création d'entreprise a ramené les financiers et les épargnants français à leur frilosité traditionnelle.

Accompagner la nécessaire dynamique entrepreneuriale dans les TIC relève donc de plusieurs responsabilités : elles correspondent aux difficultés souvent rencontrées par les jeunes pousses innovantes, en particulier par celles qui sont issues de la recherche.

a. Impliquer les grandes entreprises dans l'émergence et la croissance des « jeunes pousses »

Le secteur des TIC est en forte croissance sur tous ses segments. Dans les activités qu'il regroupe, les partenariats et les réseaux sont nécessaires, en raison de la nature transversale des technologies en question et de leur rapidité d'évolution.

Les grandes entreprises ont besoin du terreau que constituent les jeunes pousses, en particulier lorsque ces dernières se créent au plus près des laboratoires publics. C'est de cette façon que le secteur engrange rapidement les nouvelles avancées scientifiques et technologiques et reste compétitif au niveau international.

De leur côté, les jeunes entreprises ont besoin des entreprises bien établies, comme partenaires technologiques, comme clients ou comme fournisseurs dans leur période de démarrage. Certes les PME peuvent être concurrentes des grands groupes et certaines d'entre elles, comme le montre l'exemple américain, peuvent prendre, à terme, des places dominantes dans le secteur, mais la plupart, comme le montre le même exemple, vont s'intégrer ou se dissoudre dans des groupes en leur apportant des actifs immatériels de connaissance et de marché.

Les grandes entreprises françaises ont donc un intérêt économique certain à stimuler l'entrepreneuriat. Plusieurs pistes de progrès peuvent être recherchées de ce côté, en suivant des exemples étrangers :

- développer le « *corporate venture* » d'amorçage, c'est-à-dire la prise de participation précoce dans de jeunes entreprises dont la technologie innovante (inventée éventuellement dans leurs laboratoires) n'est pas au centre de leur cœur de métier au moment de leur naissance ;
- valider le contenu innovant de projets d'entreprises à technologie pointue, afin de réduire l'incertitude des financiers à leur égard ;
- faire participer de jeunes entreprises partenaires lors de réponses aux appels d'offres publiques ou aux grands programmes européens ;
- participer activement aux instances de conseil et d'accompagnement des incubateurs et des pépinières, et abonder leurs ressources matérielles et humaines ;

b. stimuler le partage des risques entre le système financier privé et les jeunes entrepreneurs du secteur TIC.

Bien qu'ayant, pour leur premier développement, des besoins de financement inférieurs à ce qu'ils peuvent être dans des secteurs industriels traditionnels ou dans les biotechnologies, les jeunes entreprises des TIC souffrent néanmoins beaucoup de la pénurie de capital d'amorçage, renforcée dans leur secteur par les traumatismes laissés par la « bulle du net ». Ici, comme ailleurs, le « *seed-capital* » est indispensable à la naissance et à la survie de la jeune entreprise pendant la ou les années qui précèdent ses premiers revenus.

Or, en France actuellement, la situation est beaucoup plus difficile que dans les pays anglo-saxons et même en Europe, où, en moyenne, les sommes investies dans l'amorçage sont faibles (1,40 euro par habitant). La France se situe très en-dessous de la moyenne, avec 0,50 euro par habitant, contre 2,10 euros en Grande-Bretagne.

Certes, quelques ressources publiques sont affectées à ce démarrage : aides de l'Anvar, aides des incubateurs publics et Concours de création d'entreprises du ministère délégué à la Recherche. Par ailleurs, des fonds d'amorçage semi-publics ont été créés, soit par grands secteurs (I-source ou T-source dans les TIC par exemple), soit par région. Ces fonds ont été créés en même temps et en complément des incubateurs.

Toutefois, à elles seules, ces structures n'ont pas les ressources suffisantes pour véritablement accompagner toutes les initiatives des jeunes chercheurs-innovateurs, d'autant qu'elles sont obligées de se soucier du suivi financier de ces entreprises, lors de leur désengagement futur au moment de la deuxième levée de fonds.

Les fonds privés de capital-risque, malgré leur nom, ne sont que rarement intéressés par cette phase embryonnaire de la vie d'une entreprise qui cumule grand risque et frais de gestion importants. Les éventuels *Business Angels*, déjà beaucoup moins présents qu'aux États-Unis ou en Grande-Bretagne dans les années quatre-vingt-dix, ont été découragés par la crise du marché financier du secteur, et aucune nouvelle incitation fiscale n'a permis depuis de les ramener vers de jeunes pousses moins incertaines. En outre, l'accès aux rares ressources éventuelles est beaucoup plus long que partout ailleurs.

Il faudrait donc simultanément :

- encourager le financement par les Business Angels, en créant un système d'incitations fiscales qui permette d'accroître leur nombre et les montants investis par chacun d'eux ;
- compléter le dispositif d'aide aux fonds d'amorçage en couvrant par des aides publiques une partie de leurs frais de gestion et en rendant plus attrayant l'investissement d'amorçage par des dispositions fiscales plus avantageuses que celles du capital-risque normal ;
- réduire le délai d'instruction des dossiers en encourageant les partenariats entre les institutions accompagnatrices des jeunes pousses (incubateurs, structures de valorisation de la recherche publique, technopoles, etc.).

c. Inciter les collectivités publiques à devenir les catalyseurs locaux de l'entrepreneuriat

Au-delà de la question purement fiscale, qui s'adresse aux budgets publics, le problème posé aux collectivités est celui de la réduction du risque particulier de la création d'entreprises, pour leurs créateurs eux-mêmes et pour leurs partenaires.

De ce point de vue, il apparaît, dans les autres pays, que la réussite des jeunes entreprises dépend largement de l'accueil qui leur est fait et de leur ancrage dans le tissu scientifique et économique local : l'exemple le plus spectaculaire reste la *Silicon Valley*.

La proximité des lieux de recherche, qui permet aux jeunes pousses de valider en permanence leurs projets par rapport à la concurrence technologique internationale, complétée par une action permanente des collectivités locales pour les promouvoir auprès de partenaires industriels et auprès de financiers multiplie les effets mécaniques des aides financières accordées.

Toutefois, les intervenants publics doivent agir au service des créations d'entreprise dans leur rôle de catalyseur. Les collectivités publiques locales doivent donc en permanence, actionner différents leviers :

- aider les universités et les écoles d'ingénieurs à promouvoir l'entrepreneuriat ;
- participer financièrement et politiquement à la promotion des incubateurs et pépinières ;
- animer les réseaux d'entreprises, grandes et petites, dans lesquelles doivent s'insérer les plus jeunes d'entre elles ;
- cautionner les projets auprès des investisseurs français et étrangers.

Plusieurs régions ou municipalités françaises gèrent des projets de ce type avec un certain succès. Nous recommandons d'analyser et de développer les « bonnes pratiques » en question, qui font d'ailleurs déjà l'objet d'évaluation au niveau européen.

IV. 4. Défi 4 : Évaluer les fragilités et assurer la robustesse des systèmes d'information et de communication

Le Comité insiste sur l'importance des nouvelles fragilités induites par des questions de sûreté (risque d'incidents du fait d'événements accidentels) et des questions de sécurité (risque d'incidents du fait de l'homme).

Désormais, pour tout pays, un élément de fragilité important se situe au niveau de ses réseaux d'information. Cette situation doit faire l'objet d'une attention approfondie.

a. Assurer une meilleure connaissance des fragilités des TIC en créant une bibliothèque d'événements à la disposition des entreprises et de l'État

L'utilisation des TIC est maintenant généralisée dans la plupart des secteurs de l'économie et des activités. Ce processus irréversible introduit nécessairement une dépendance à l'égard de ces technologies.

Les TIC sont sujettes par nature à des « perturbations imprévues » pouvant induire des effets cumulatifs, conduisant, à leur tour, à une perturbation grave des services offerts, qu'il s'agisse des réseaux, des informations échangées sur ces réseaux, des fichiers qui contiennent souvent des données extrêmement sensibles, ou même des décisions prises grâce à eux ou des logiciels généraux utilisés.

Ces conséquences concernent les individus, les entreprises, voire la société elle-même. Ces fragilités ont un impact différent selon leur situation dans la chaîne des TIC. On peut se passer durant quelques minutes, voire quelques heures, de télécommunications, alors que l'on accepte très mal un crash informatique. Ainsi l'analyse de la vulnérabilité (fragilité) est à la fois difficile et essentielle.

Cette situation n'est pas propre aux TIC : tous les réseaux, quelle que soit leur nature, sont vulnérables. Les récentes difficultés qu'a connues la distribution de l'électricité en Californie en est un exemple. Dans le cas des TIC, elle prend cependant un caractère particulièrement aigu en raison de leur présence universelle, parfois cachée, de leur complexité extrême, qui rend les pannes imprévisibles, et surtout de l'origine quasi exclusivement humaine des incidents (erreurs, analyses insuffisantes) donc de la possibilité de malveillance.

Pour assurer la pérennité de l'économie et même de la société, il convient donc de prendre des mesures appropriées et d'assurer un suivi approfondi de l'évolution de ces technologies.

Les origines de ces fragilités sont nombreuses. Elles peuvent tenir aux technologies elles-mêmes : perturbation ou destruction due au rayonnement électromagnétique ; « catastrophe technologique », résultant d'une modification de méthodes de fabrication. Il existe surtout une fragilité particulière des logiciels, inhérente à leur complexité ; les bogues ont des conséquences imprévisibles, assimilables à des effets non linéaires : échec du vol Ariane du 4 juillet 1996, interruption des réseaux de télécommunication, « bogue de l'an 2000 », qui a conduit à d'excellentes analyses de vulnérabilité et dont les conclusions ne semblent pas avoir été prises en

compte, etc. La très large diffusion de certains logiciels facilite les attaques des pirates. Les fichiers sont tout aussi sensibles aux perturbations involontaires et aux attaques.

En toute première analyse, c'est aux entreprises, dans leur offre TIC, de prendre en compte ces fragilités et d'assurer ainsi la pérennité des produits et services qu'elles offrent. Cependant, cela va inévitablement se traduire par des choix économiques qui seront faits pour optimiser les intérêts souvent à court terme des entreprises concernées, alors que les choix sociétaux ne seraient pas nécessairement les mêmes. Concurrence et déréglementation vont également conduire à choisir de plus en plus en faveur de l'entreprise. France Télécom a mis en place des moyens très lourds pour faire face à des « crises » : tous les opérateurs voudront-ils et pourront-ils le faire ?

L'existence même de cette problématique économique, l'ampleur des conséquences possibles, font que l'État ne peut pas s'en désintéresser ; il s'agit d'ailleurs d'un problème de sécurité, donc au cœur de sa responsabilité. Il faut enfin rappeler que les réponses doivent être aussi bien préventives (prévenir les crises) que curatives (gérer les crises et minimiser leur conséquences).

L'État a évidemment déjà eu conscience de ces problèmes et a pris des mesures appropriées, par exemple dans le domaine de la sécurité. D'autres mesures sont également souhaitables. Les fragilités mises en avant constituent un handicap majeur à une diffusion généralisée des TIC dans la sphère privée. Institutions et entreprises s'arment pour éviter les catastrophes alors que cette précaution ne sera que difficilement suivie par les citoyens qui pourraient au contraire développer de ce fait une attitude de rejet. De même la « non compatibilité ascendante des logiciels » nécessite un renouvellement régulier des logiciels, situation acceptée avec réticence par les entreprises mais rejetée au moins financièrement par les citoyens. Cela passe notamment par une clarification des responsabilités respectives des entreprises, des organismes de régulation et de l'État, tant au plan national qu'au plan international.

Le Comité propose d'assurer une meilleure connaissance de ces fragilités, surtout dans leurs conséquences à moyen et à long termes sur l'économie, en créant une bibliothèque d'événements, à la disposition des entreprises et de l'État. Cette connaissance approfondie des fragilités doit permettre de faciliter la lutte contre ces fragilités en aidant à l'émergence de technologies adaptées et à la création des activités nouvelles qui seront nécessaires (sécurité, certification, prévision et gestion des crises, etc.).

b. Créer un observatoire de la pré-norme dans le domaine des technologies de l'information et de la communication

Ainsi que nous l'avons souligné, les TIC ont un caractère transverse et mondial. Ainsi se pose très fortement la problématique du contrôle de flux, parfois stratégiques, et qui dépassent le cadre national ou européen.

Le contrôle des normes fait partie de ces aspects horizontaux des TIC qui sont souvent mal pris en compte, car transversaux, au même titre que les fragilités induites par les nouvelles technologies.

Les normes posent problème, car on passe de plus en plus aujourd'hui des normes de droit, instaurées par des organismes internationaux habilités, aux normes de fait imposées par les entreprises dominantes.

Dans le secteur des télécommunications, la normalisation a longtemps été le fait d'organismes internationaux puissants¹³. Ces organismes associaient les « administrations exploitantes », c'est-à-dire les grands opérateurs et les principaux industriels. La Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications (CEPT) a été suffisamment puissante pour détenir ses propres laboratoires à Sophia-Antipolis, et faire développer de manière très volontariste la norme GSM, dont on connaît le succès. Cette situation était imposée par la nécessité d'une norme commune permettant de communiquer.

Il en était tout autrement dans le domaine de l'informatique. Quelques rares normes internationales ont été élaborées au sein de l'ISO, mais il s'agit, soit de normes minimales réalisées a posteriori (par exemple pour les langages de programmation), soit de ce que l'on peut qualifier au moins de demi-échec, comme pour les couches OSI. La normalisation est maintenant, en grande partie, le fait de structures plus ou moins informelles, le plus souvent américaines, ou définie par des offreurs ou au sein d'une entente entre offreurs. Le meilleur exemple en est l'IETF, qui valide les normes d'Internet. On peut également citer les standards d'interface en matière de sécurité promus par Visa et Mastercard ou le GGF (*Global Grid Forum*).

Il est essentiel que l'industrie et la recherche aient très tôt connaissance de la norme et de ses évolutions. L'industrie doit pouvoir influencer sur cette norme, afin qu'elle prenne en compte ses derniers développements technologiques. Le premier à sortir un nouveau produit ou un nouveau service a un avantage évident. Il va souvent couvrir l'ensemble du marché, empêchant la venue de tout nouvel entrant. Par ailleurs, si l'on n'y prend garde, la norme peut imposer la maîtrise d'une technologie que nous ne possédons pas.

Microsoft est ainsi parvenu à imposer son système d'exploitation Windows sur le monde des PC. Les autorités de la concurrence américaine ont finalement renoncé à faire barrage à ce quasi-monopole qui menace de faire tache d'huile à l'ensemble des équipements informatiques et aussi des terminaux de la troisième génération de communications mobiles.

Cette situation ne constitue pas seulement une entrave à la concurrence, laquelle est conduite principalement par les systèmes ouverts, regroupés sous la bannière Linux : elle représente une véritable menace pour l'indépendance des entreprises, et même des États. En effet, sous couvert de sécurisation des PC, une nouvelle architecture de PC baptisée TCPA (*Trusted Computing Platform Alliance*) est en préparation pour un lancement à grande échelle. Les promoteurs de cette alliance ne sont autres que Microsoft, HP et Intel. Microsoft a mis au point le logiciel Palladium qui pousse à l'extrême les concepts TCPA. La conséquence en serait que tout PC géré par son système d'exploitation puisse être sécurisé. On voit bien les risques considérables qui en découleraient pour les utilisateurs, quels qu'ils soient (entreprises, administrations publiques), de se reposer sur un logiciel dont le fonctionnement sur un PC sécurisé pourrait dépendre d'autorisations émises par un serveur distant. Microsoft a beau annoncer qu'il publierait les codes sources de Palladium, cela ne conjure pas les risques d'une nouvelle position monopolistique, dont les conséquences vont bien au-delà de la situation que nous connaissons à l'heure actuelle avec Windows.

¹³ Sur le plan mondial, le Comité consultatif international pour la télégraphie et la téléphonie (CCITT) et le CCIR, réunis dans au sein de l'Union internationale des télécommunications (UIT), organisme dépendant de l'ONU ; sur le plan européen, la Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications (CEPT).

Le problème est ici éminemment politique : les intérêts des entreprises européennes et françaises, en particulier face à ces organismes nouveaux, sont sous-représentés et ne sont quasiment jamais fédérés. L'expérience a trop souvent montré le danger de normes protectionnistes.

Le Comité propose la création d'un observatoire de la pré-norme. Il considère que cet observatoire doit permettre d'inciter l'Industrie à mieux participer au suivi et à l'élaboration des normes dans le secteur des TIC : diffusion des travaux des différents organismes, détection des normes clés, etc.

Cette création doit permettre d'apporter, par une information adaptée, une aide efficace aux différents acteurs pour les aider à assurer la veille autour des actions de normalisation. Par ailleurs il s'agit d'assurer un suivi des différentes entités intervenant dans le domaine de la normalisation. Bien entendu, ces différentes actions doivent être développées en cohérence avec les actions européennes.

La protection juridique des logiciels, notamment leur brevetabilité, est également un problème important et d'actualité. Elle a fait l'objet d'un rapport spécifique¹⁴ de l'Académie des technologies.

¹⁴ *Avis à l'attention de Monsieur le Premier ministre sur la brevetabilité des inventions mises en œuvre par ordinateur, Académie des technologies, 10 juillet 2001.*

V. Conclusion

Nous avons analysé quelques grandes caractéristiques des TIC, en nous appuyant sur différents exposés présentés par des acteurs importants du domaine.

L'influence de ce secteur est considérable, et durable, sur l'ensemble du tissu économique et social. Il apparaît donc vital, pour la France, de maîtriser ces technologies essentielles et leurs évolutions, et de favoriser leur usage par tous, en limitant autant que possible les blocages sociétaux et culturels inhérents à de telles transformations.

Face aux nouveaux défis économiques et sociétaux mondiaux, et à la très forte nécessité d'accroître la compétitivité des entreprises, notamment face à la concurrence de plus en plus présente des pays à bas coûts, il est primordial d'accorder, au cours des dix prochaines années, une priorité à ce secteur, aux niveaux tant national qu'europpéen.

La Commission a examiné plus précisément quelques facettes du secteur des TIC, qui lui sont apparues comme importantes, sans vouloir prétendre à une quelconque exhaustivité :

- la maîtrise des technologies et la promotion des usages à tous les niveaux (citoyen, entreprise, administration) ;
- la formation des spécialistes et des utilisateurs ;
- le développement des entreprises innovantes ;
- l'évaluation des fragilités et la maîtrise de la robustesse des systèmes d'information.

Ces points, ainsi que de nouveaux, notamment la question des usages et les aspects juridiques et moraux, pourront faire l'objet d'études approfondies par la Commission.

Nous insistons tout particulièrement sur la nécessité de favoriser l'usage de ces technologies à tous les niveaux : entreprise, État et citoyen.

La France et l'Europe disposent de compétences scientifiques et technologiques au tout meilleur niveau mondial primordial : elles doivent adopter une démarche positive, volontariste, et mener une vaste opération de sensibilisation, tout en sachant mesurer les écueils inévitables et les nouvelles fragilités induites. L'enjeu est essentiel, puisqu'il concerne le développement économique et l'amélioration des modes de vie de chacun.

VI. *Bibliographie succincte*

De nombreux rapports ont été publiés dans ce cadre pour analyser ces points.
En France, on peut citer :

- *Réseaux à hauts débits : nouveaux contenus, nouveaux usages, nouveaux services*, Jean-Charles Bourdier, septembre 2000.
<http://193.106.8.73/documents/bourdier/rap-bourdier00.htm>
- *Gestion des grands projets de TIC dans le secteur public français*, rapport OCDE.
<http://www.mtic.pm.gouv.fr/dossiers>
- *Du droit et des libertés sur l'internet*, Christian Paul, juin 2000.
<http://www.internet.gouv.fr/francais/textesref/pagsi2/lsi/rapportcpaul/sommaire.htm>
- *Penser l'éducation demain, promouvoir l'innovation avec les nouvelles technologies*, rapport de la Commission européenne, mai 2000
<http://europa.eu.int/comm/education/elearning/comfr.pdf>
- *Rapport intermédiaire du Comité de coordination des STIC, CCSTIC*, mai 2000.
<http://www.recherche.gouv.fr/rapport/ccsti.htm>
- *L'impact des NTIC sur l'emploi en France*, rapport du BIPE, avril 2000.
http://193.106.8.73/documents/lin_ntic_emploi.htm
- *L'internet du futur*, Gérard Roucairol et Jean-Claude Merlin, RNITL, janvier 2000.
<http://www.education.gouv.fr/rnrt>
- *Programmes multilatéraux de soutien à la recherche et à l'innovation - Perspectives pour les petites et moyennes entreprises françaises*, Pierre Lafitte, 2000.
- *INRIA : Plan stratégique 1999-2003*, juillet 1999.
- *La recherche et l'innovation dans les technologies de l'information et de la communication*, Gilles Kahn, Commissariat général du Plan, juin 1999.
- *Développement technique de l'internet*, Jean-François Abramatic, juin 1999.
<http://mission-dti.inria.fr> - <http://www.internet.gouv.fr/francais/index.html>
- *Économie du logiciel : renforcer la dynamique française*, rapport du groupe de travail présidé par Hugues Rougier, Commissariat général du Plan, octobre 2002.

- *Les conséquences de l'évolution scientifique et technique dans le secteur des télécommunications*, Pierre Laffitte et René Trégouët, rapport au Sénat n° 159, 20 décembre 2001.
- *Avis à l'attention de Monsieur le Premier ministre sur la brevetabilité des inventions mises en œuvre par ordinateur*, Académie des technologies, 10 juillet 2001.

Annexes

VII. *Annexes*

VII. 1. Les modèles économiques liés au développement des TIC

par *Danièle Blondel*

VII. 1.1. Des processus inédits

Si l'on adopte une définition très générale du « modèle économique » (souvent appelé « *business model* » dans la littérature gestionnaire), à savoir la manière dont une entreprise crée de la valeur, il apparaît assez vite que la production et la commercialisation des biens informationnels liés au TIC créent de la valeur et sont sources de rentabilité selon des processus inédits.

En effet, dans l'économie traditionnelle, le modèle économique de base peut toujours se résumer en une formule de maximisation de l'écart entre les coûts de production et le prix que le consommateur accepte de payer pour le bien en question. Il se décline en deux grandes options en fonction des caractéristiques du marché : si la concurrence est forte, l'entreprise est « *price-taker* », et il s'agit essentiellement de minimiser les coûts par une recherche permanente d'augmentation de la productivité des *inputs* ; si, au contraire, on peut bénéficier de rentes de monopoles, l'entreprise jouera surtout sur sa capacité à maintenir sa différenciation et la qualité de ses produits, afin de faire adhérer l'acheteur à une politique de prix élevé (« *price-maker* »).

Par rapport à ces deux variantes du modèle standard, certaines pratiques des offreurs de biens informationnels semblent aujourd'hui très insolites, en particulier celle qui consiste à livrer à des prix très faibles, ou même gratuitement des informations qui peuvent être très utiles à celui qui les reçoit comme matière première de productions rentables, par exemple. On peut aussi s'interroger sur le modèle du logiciel libre par exemple, où les mêmes personnes sont tour à tour consommateurs et producteurs d'information, dans le cadre d'une sorte de réseau de coopération où les échanges ne sont pas monétarisés.

Pour comprendre la spécificité de ces nouveaux modes de relations économiques, il paraît nécessaire d'analyser les caractéristiques de l'objet de transaction original qu'est l'information, mais aussi la nouvelle donne introduite dans les systèmes de transactions par le développement exponentiel des canaux de transmission de cette information. L'économie des TIC est en fait doublement originale : l'information n'a pas le même type de courbe d'offre que les autres biens, tandis que son mode de transport semble pour l'instant échapper à la loi commune des rendements décroissants du capital investi.

Sur le « marché » de l'information, l'objet des transactions est constitué de savoirs codifiés, transférables, dont l'origine est la recherche au sens large (y compris les œuvres musicales par exemple). Sa production a souvent été très coûteuse, en termes de salaires et d'équipements scientifiques, payés soit par des budgets publics, soit par des budgets privés, mais, hormis le cas où ces savoirs ont fait l'objet d'une appropriation sous forme de brevets, ils sont mis à la disposition de tous par des publications ou des sites et deviennent, de fait, gratuits. Le problème

du recouvrement des coûts fixes initiaux se pose donc dans des conditions inhabituelles¹⁵. En revanche, la duplication de ces informations est généralement peu coûteuse et peut être infinie. Dans les activités de transmission de ces informations, la production de valeur et l'avantage concurrentiel ne peuvent donc prendre leur source ni dans la baisse du coût des inputs, très bas pour tout le monde, ni dans une rente de monopole puisqu'il n'y a aucune exclusivité possible sur le produit lui-même. Dans le cas le plus général, la production de valeur ne peut donc avoir pour source que des offres dérivées de l'offre principale.

Un cas particulier intéressant est celui de la création de valeur par personnalisation ou singularisation de l'offre d'informations requérant un traitement supplémentaire par des méthodes innovantes permettant de construire un avantage concurrentiel ; Ainsi certains *business models* peuvent exploiter l'offre particulière de confidentialité (cryptographie) ou de personnalisation du tri et du traitement de l'information (expertise en ligne). Dans le premier cas, l'économie de l'information, par hypothèse très diffusante, secrète des « *business* » destinés à contrecarrer cet effet et à reconstituer des relations protégées. Dans le deuxième cas, la valeur est fondée sur les services associés à l'information et l'on retrouve le modèle habituel où cette dernière correspond à la différence entre le coût de production (du service) et le prix accepté par le cocontractant, c'est-à-dire par la qualité des experts. Les systèmes modernes d'information ne sont alors que sources d'accroissement de la productivité quantitative et qualitative de ces services.

Lorsqu'il s'agit d'information, l'objet de la transaction possède déjà des traits originaux qui mettent en question les modèles économiques habituels, mais sans doute ces modèles garderaient-ils quelques fondements, si les modes de transport et de relations concernant ce bien économique et donc, finalement les structures de son « marché » n'étaient pas profondément bouleversées par l'évolution de ses canaux de transmission qui mettent en contact « offreurs » et « demandeurs ».

Selon la loi de Moore, la puissance de traitement des microprocesseurs double à prix constant tous les dix-huit mois. Même si l'on peut douter de son caractère éternel, cette loi nous enseigne aujourd'hui que l'offre quantitative mondiale d'informations suit la même courbe fortement exponentielle. Pour l'information, la rareté n'est donc plus, comme à l'habitude, du côté de l'offre, puisque non seulement elle peut être reproduite mais aussi transférée dans le monde entier, sans limite et à des coûts de plus en plus faibles qui tendent vers 0. En revanche, la rareté et donc le rationnement, se trouvent du côté de la demande, car le « consommateur d'information » est soumis à des contraintes et à des coûts d'usage de ces offres informationnelles : coûts de matériel et surtout d'organisation pour les entreprises, contraintes de temps, coûts d'apprentissage et coûts de matériels pour les consommateurs finals. La concurrence en la matière ne peut donc plus porter sur les prix, mais sur la qualité (réelle ou supposée) du service associé.

Dans ce type d'économie, fortement structurée par les TIC, la création de valeur suit donc des cheminements originaux par rapport au modèle standard. Comme le constatent Éric Brousseau et Nicolas Curien¹⁶, une des caractéristiques majeures de l'économie numérique semble être

¹⁵ Nicolas Curien, *TIC et nouvelles relations économiques*, exposé au groupe TIC de l'Académie des technologies, juin 2001.

¹⁶ « Économie d'Internet, économie du numérique », introduction du numéro spécial de la Revue économique consacrée à l'économie d'Internet, sous la direction de Éric Brousseau et Nicolas Curien, octobre 2001.

« un écart grandissant entre l'endroit où est engendrée la valeur, à travers la constitution d'une audience, et l'endroit où cette valeur est récoltée, à travers la vente d'espaces publicitaires, de produits dérivés, ou encore la perception de commissions d'intermédiation ». Cette économie ne permet de récupérer les coûts fixes consentis en amont par les budgets publics ou privés qu'en parcourant une chaîne de valeur de plus en plus longue, compliquée et risquée, dans la mesure où, largement soumise au principe de gratuité, elle dépend en fait de la réaction des consommateurs à cette offre d'informations et de services, inhabituelle et constamment renouvelée.

VII. 1.2. Trois types de modèles économiques

En allant du plus traditionnel au plus original, et tout en s'interrogeant sur la pérennité de certains, on peut finalement distinguer trois grands types de business models associés aux TIC :

- les *business models* qui transposent dans le nouvel environnement numérique les modes de création de valeur habituels, en utilisant les TIC comme instrument de performance d'une activité traditionnelle de services (modèles transactionnels) ;
- Les *business models* nouveaux qui exploitent l'effet-réseau des TIC et la loi de Metcalfe ;
- les *business models* fondés sur les réseaux coopératifs des « consommateurs » d'information, qui coproduisent de la valeur par synergie, à l'occasion de cette consommation.

a. Les modèles de type transactionnel

Les diverses versions du modèle transactionnel exploitent les caractéristiques des TIC : économies d'échelle en matière d'information sur les produits et sur les goûts des consommateurs, rapidité de la transaction, capacités d'anticipation, personnalisation des ventes, etc.

Ils ont eu de nombreuses applications, en particulier dans le secteur du commerce B2C : Internet sert alors de levier pour la vente de n'importe quel produit, qu'il s'agisse d'une vente directe par des producteurs ou d'une intermédiation commerciale se substituant à un système de distribution.

On connaît les difficultés rencontrées par les entreprises qui se consacrent uniquement à la fonction d'intermédiation commerciale, notamment lorsqu'il s'agit d'acheminer les produits ayant fait l'objet de ventes en ligne. En revanche, l'auto-intermédiation par Internet, qui permet la construction des objets ou des services vendus à la demande (comme le fait Dell) semble efficace, bien que peu révolutionnaire, puisqu'il s'agit seulement des avatars contemporains de la vente par correspondance organisée par les producteurs eux-mêmes (on pourrait en dire autant des entreprises d'*e-learning* lorsqu'elles se contentent de rendre plus efficace les systèmes d'enseignement à distance). On peut affiner ce modèle en fidélisant le client par des systèmes d'abonnement avec réduction de prix, de cartes de fidélité ou autres bonus ou par des formules de forums interactifs.

Toutefois, plus fondamentalement, les TIC peuvent enrichir ce modèle en le combinant au deuxième modèle, beaucoup plus original, fondé sur l'appropriation des effets de réseau permis par l'usage des nouvelles technologies, par exemple en associant des recettes publicitaires à la création de ces réseaux de « e-clients ».

b. Les modèles de type réseau

Le deuxième modèle est beaucoup plus précisément lié aux infrastructures engendrées par les TIC, qui se caractérisent par l'existence de réseaux formels et informels : Yahoo ! en a été le prototype. Tirant l'essentiel de ses revenus de la vente d'espaces publicitaires liés à l'effet de réseau (on parle souvent à cet égard de la loi de Metcalfe, selon laquelle la valeur d'une entreprise croît comme le carré du nombre des éléments de son réseau), Yahoo ! est une entreprise de services, qui, sous forme de site, met gratuitement à la disposition des internautes un guide de navigation ; ses coûts de construction et de développement sont loin d'être négligeables mais ne sont pas proportionnels au nombre de ses visiteurs. Ses fondateurs ayant refusé de fonder leur *business model* sur le système de l'abonnement, ils ont décidé, d'exploiter, sous forme d'une offre d'espaces publicitaires, la valeur représentée par la liste de leurs visiteurs (à l'image de ce qui se passe déjà sur les chaînes de télévisions, où est exploitée de la même façon la part d'audience de la chaîne concernée)¹⁷.

Ici, les coûts du service offert bénéficient d'économies d'échelle, car, sans être négligeables, ni réduits à des coûts fixes, ils croissent moins que proportionnellement au nombre de pages visitées, tandis que les revenus croissent plus que proportionnellement au nombre d'internautes-clients.

Les bénéfices de l'entreprise sont donc fortement croissants avec l'activité et l'on peut même imaginer de payer un internaute pour venir visiter le site afin de renforcer la valeur de l'entreprise en question. De fait, Yahoo ! a été rentable dès sa quatrième année, car elle avait pu multiplier le nombre des internautes et par conséquent les recettes publicitaires très rapidement (6 millions de pages en mars 1996 et 100 millions en mars 1999 ; 112 annonceurs au premier trimestre 96 et des milliers avec des campagnes beaucoup plus importantes trois ans après). Google a perfectionné le même type de modèle par l'exploitation d'un moteur de recherche exclusif particulièrement performant.

La question reste le caractère durablement concurrentiel de ce type d'entreprise : l'avantage du « *prime-mover* » qui a su capter l'attention des internautes en premier, est certain, mais très vulnérable, dépendant de la mode et de la conjoncture, car la contrainte de temps s'impose à l'internaute individuel, comme d'ailleurs au téléspectateur.

c. Les modèles coopératifs (producteurs/consommateurs)

Un modèle encore plus étrange aux yeux des économistes traditionnels est celui de la coopération et même de la confusion entre producteurs et consommateurs de produits informationnels, a priori incompatibles avec la logique de la valeur, puisque les échanges y sont totalement gratuits.

Il est pratiqué soit en **B2B** soit en **C2C** et l'exemple extrême en est le réseau de l'« *Open-source* » en matière de développement de logiciels. La valeur d'usage des logiciels ainsi diffusés et améliorés est sans doute importante. Certains participants à ce réseau en tirent un avantage immédiat en termes d'image de marque (Goodwill). La plupart cherchent plutôt à capitaliser les économies externes en matière d'innovation de logiciels.

¹⁷ Bernard Maître et Grégoire Aladjidi, *Les business models de la nouvelle économie*, Dunod, 1999.

De manière générale, le risque d'obsolescence rapide de ces modèles pèse sur la valeur des entreprises en question, comme en témoignent leur démographie turbulente et les fluctuations des marchés boursiers qui leur sont consacrés. Deux raisons expliquent la spécificité de cette « nouvelle économie » : la première est la fragilité des modes d'appropriation de ces biens informationnels ou de leurs dérivés, qui ne sont guère protégeables et peuvent être facilement captés et exploités par des concurrents bénéficiant de technologies plus performantes ou de nouveaux marchés ; la seconde tient au fait que la valeur que l'on cherche à récupérer au niveau d'une entreprise donnée est essentiellement incluse dans ses ressources humaines, qui ne sont ni infiniment imaginatives, ni indéfiniment liées à une entreprise donnée.

VII. 2. Interfaces Homme-Machine (IHM) par *Philippe Coiffet et Erich Spitz*

VII. 2.1. Introduction

On peut approximativement diviser les machines en deux catégories :

- les machines d'information ou de communication, qui dialoguent avec leur opérateur humain pour l'assister dans diverses opérations mentales, lesquelles ont pour objectif son enrichissement personnel, la conception de projets futurs ou son divertissement ;
- les machines d'exécution, qui ont pour vocation de transformer physiquement leur environnement en conformité avec les désirs de l'homme.

Dans les deux cas, il existe des flux et des échanges d'informations entre les entités possibles que sont l'homme, la machine et l'environnement.

Ces flux et échanges sont la manifestation des interactions entre les entités. Ces dernières sont traitées par des moyens logiciels et matériels que l'on nomme génériquement « interfaces homme-machine » ou IHM. La dénomination d'IHM couvre généralement toutes les combinaisons de relations entre les trois entités précédentes y compris quelquefois la relation homme-homme, pour peu qu'elle comporte un système intermédiaire.

VII. 2.2. Émergence du concept d'IHM

Du point de vue de l'interfaçage, il faut faire la distinction entre les machines de communication qu'on peut aussi appeler machines de conception, et les machines d'exécution.

L'apparition de l'interfaçage des premières est évidemment liée à celle de ces machines (premier ordinateur : ENIAC, vers 1942, aux États-Unis) et à leur changement de vocation au fur et à mesure de leur développement, lui-même dépendant de la découverte des transistors puis de la microélectronique. Ces machines sont passées du statut d'organes de calcul à celui d'organes de commande de systèmes puis, en particulier grâce à l'arrivée de l'informatique graphique et aux progrès de l'intelligence artificielle, à celui de partenaires conceptuels de l'homme.

Ainsi, les besoins de l'interface homme-ordinateur se sont-ils sérieusement modifiés. D'organes obligatoires pour la programmation mais négligés dans leur adaptation aux caractéristiques humaines, ils sont devenus aujourd'hui un souci majeur de l'informatique dans la recherche de la convivialité entre l'ordinateur et son opérateur.

Pour parvenir à cette convivialité, de gros efforts sont faits dans deux directions intimement liées : celle de l'intelligence de la machine et celle du mode de communication entre l'homme et la machine. En effet, on souhaite que l'ordinateur se conduise comme un partenaire humain. Dans ces conditions, l'interface désirée doit reproduire la relation usuelle d'homme à homme, qui est pour une large partie orale, mais aussi gestuelle et utilisant de nombreux aspects du système sensoriel humain. De plus, la communication n'est efficace que si le non-dit utile (dont les intentions de l'homme), qu'on peut appeler le contexte, est intégré dans la communication. D'où la nécessité de doter le partenaire, qu'on pourrait appeler « agent informationnel », de certains

traits, inclus dans ce que l'on répertorie dans l'intelligence humaine, si l'on veut obtenir certaines performances de l'interface homme-ordinateur.

L'interface homme-machine d'exécution a une origine beaucoup plus lointaine, puisque l'homme a toujours utilisé des outils manuels, et fait appel depuis des siècles à des machines. L'interface homme-outil est simplement la partie de l'outil qui permet à l'homme de le maintenir adéquatement avec une ou deux mains pendant l'exécution du travail. L'interface homme-machine, pour les machines anciennes, est constituée par les organes permettant à l'homme de la mettre en route, puis de la guider au cours de l'exécution du travail.

Après la seconde guerre mondiale, les commandes électriques, puis électroniques, puis informatiques, ont révolutionné les structures, les fonctionnalités, les performances des machines et la complexité des travaux réalisables avec elles.

Dans un premier temps, on a cru que cela simplifiait le rôle de l'opérateur humain, qui n'avait plus de gestes fatigants à accomplir. Mais ces gestes ont été remplacés par une charge visuelle et un effort de vigilance très importants pour lire et interpréter les indications de multiples cadrans et voyants. Les procédures de mise en route, de pilotage, de corrections, d'arrêt... se sont complexifiées dans de grandes proportions.

Par ailleurs, on a doté la machine, grâce à l'informatique, d'automatismes conditionnels, dits intelligents, qui compliquent son comportement et l'interprétation par l'opérateur de ce comportement. Peu à peu la machine devient une sorte de partenaire infra-humain, et l'on voit bien là la convergence avec le partenariat homme-ordinateur.

Ainsi, aujourd'hui, les progrès des technologies et de leur implantation dans les machines ont déplacé les problèmes de conception d'une machine d'exécution, de sa partie « exécutive » vers sa partie « rôle de l'homme dans son contrôle ». C'est ainsi que le problème de l'interface homme-machine se place au premier rang des préoccupations.

VII. 2.3. Difficultés de conception des IHM

Pour le moment, et sans doute pour bien longtemps encore, il ne peut, ni scientifiquement, ni technologiquement, exister d'IHM universelle, même si toute IHM a une vocation unique : rendre optimales les relations entre l'opérateur humain et sa machine dans l'utilisation efficace de cette dernière.

- En ce qui concerne les machines de conception, l'ordinateur reçoit des informations orales ou écrites, plus rarement visuelles. En retour, il en fournit qui sont appréhendées par l'homme sous forme visuelle ou auditive. Si l'on s'en tient à la communication orale ou écrite en langage naturel, on sait bien que la transmission de la pensée d'un locuteur à un autre homme via le langage souffre déjà de graves insuffisances. La machine, qui ne peut pas posséder tous les processus de compréhension humaine (processus qu'on connaît par ailleurs assez mal), ne peut servir de partenaire efficace que dans des cas particuliers d'applications. Si l'objectif final n'est pas encore en vue, certains produits sont parfaitement utilisables et les champs d'application en expansion.

- Pour ce qui a trait aux machines d'exécution (qui comportent un corps et un « cerveau »), la tendance est de compléter les canaux par lesquels s'échangent les informations dans les relations homme-machine de conception : d'un côté, pour la commande, par l'ensemble des possibilités physiques de l'homme (gestes variés), et d'un autre côté, pour le contrôle, par l'ensemble du système sensoriel humain (autrement dit, l'interface peut transmettre vers l'homme des signaux qui s'adressent à tous ces sens). Cependant, chaque homme a ses caractéristiques propres (physiques, physiologiques, mentales) ; chaque machine a sa vocation propre qui guide sa structure, ses paramètres, son niveau d'autonomie ; chaque environnement est spécifique et peut fortement varier d'une utilisation de la machine à l'autre. Si bien que la meilleure IHM ne peut être que celle qui est conçue pour une application donnée par un opérateur donné. Mais même ce cas n'est pas résolu aujourd'hui complètement.

VII. 2.4. Approche pour la réalisation d'IHM

a. Émission-réception de signaux par l'homme

Le rôle de l'homme face à la machine peut être décrit simplement, à travers deux fonctions : il émet des instructions à la machine, et il reçoit des informations de la part du système constitué de la machine et de son environnement.

En tant qu'émetteur, on peut faire appel, en fonction du cas, à toute la panoplie des possibilités humaines en matière d'émission de signaux codés : la voix avec toutes ses variantes (parole, rythme, mélodie...), les gestes habituels ou spécifiques de membres ou parties de membres ou du corps entier (danse) ; enfin, toute zone musculaire du corps humain dont la contraction peut être volontaire (clignement d'yeux, etc.).

Ces signaux doivent être captés et décryptés par la machine. La transmission peut se faire à distance ou par contact avec un organe spécialisé. Le décryptage, apanage de l'informatique de commande, peut aller du plus simple au plus complexe, comme dans les commandes par langage naturel.

L'information en provenance de la machine et de l'environnement, supposée pertinente, parvient au cerveau de l'opérateur, qui devra la comprendre correctement par l'intermédiaire de son système sensoriel. On tente donc de solliciter l'opérateur par des images (sens visuel), des forces (sens haptique), des sons (audition), des odeurs (olfaction et goût) en fonction des besoins applicatifs. Dans la plupart des usages, la vision et le sens haptique sont des sources d'information suffisantes pour déclencher des décisions pertinentes.

b. Interprétation de l'information et décision d'action par l'homme

Si les sens humains sont assez bien connus aux points de vue anatomique et physiologique, il reste beaucoup à faire pour savoir comment les excitations sensorielles sont interprétées ou comprises par le cerveau humain : ce processus engendre la décision d'action qui suit l'excitation. Il ne sert évidemment à rien de transmettre au cerveau une information qu'on croit pertinente, si ce cerveau l'interprète de travers. Ce point soulève de nombreuses difficultés et on peut avancer que c'est le nœud gordien qui retarde l'émergence d'IHM performants et non l'absence de technologies pour les fabriquer.

De fait, l'interprétation correcte d'une information suppose satisfaites de nombreuses conditions, dont l'essentiel est propre aux propriétés du corps et du cerveau humain.

- La première condition est, naturellement, que le message envoyé par la machine et/ou l'environnement contienne les informations pertinentes du moment, et qu'elles soient a priori décriptables.
- Ensuite, il faut satisfaire les contraintes de l'ergonomie physique de l'homme (travailler la tête en bas rend difficile le travail intellectuel...), puis celles de l'ergonomie sensorielle¹⁸.
- Enfin il faut satisfaire l'ergonomie mentale, ce qui pose à nouveau de gros problèmes, qui restent pour partie liés à l'ergonomie sensorielle. En effet, l'ergonomie mentale dépend de l'apprentissage, de l'expérience, de l'éducation, de la culture.
- De plus, l'homme n'est pas parfait, et indépendamment de ces données, il commet, des erreurs d'interprétation, il a des illusions, il fait des lapsus, etc., pouvant ainsi entraîner des erreurs de pilotage de sa machine, et par conséquent, des accidents.

Les problèmes soulevés par tout ce qui précède sont activement étudiés dans la plupart des pays développés, et nécessitent, comme on peut le deviner, des équipes largement multi-disciplinaires, qui vont des spécialistes du vivant aux technologues les plus avancés, en passant par les spécialistes de thématiques plus traditionnelles, comme l'automatique, la microélectronique, la robotique, la mécanique...

Une approche nouvelle a vu le jour dans les années 1990 avec les techniques de réalité virtuelle et augmentée. Afin de parvenir à une symbiose de l'opérateur humain avec son environnement, on essaie de l'immerger dans un monde virtuel, dont la création a été rendue possible par les progrès de l'informatique graphique. Ce nouveau type d'interface peut satisfaire assez bien les exigences de l'ergonomie physique et pour partie sensorielle (quoique les interfaces homme-monde virtuel soient encore à améliorer), et participe de ce fait à l'amélioration du respect des contraintes imposées par l'ergonomie mentale.

Dans l'amélioration des relations homme-machine, deux voies complémentaires sont prises : à machine donnée, trouver les interfaces optimales ; augmenter le niveau d'autonomie de la machine, afin de réduire les contraintes exigées pour la réalisation des interfaces.

VII. 2.5. Évolutions technologiques prévisibles influençant le domaine des IHM

Une IHM comporte une partie *hardware*, ou matérielle, et une partie *software*, ou logicielle. Le *hardware* se compose essentiellement de systèmes destinés à capter des informations en provenance de l'homme (et à les envoyer à la machine) et d'autre part de systèmes qui doivent rendre sensibles à l'homme les informations fournies par la machine. Il faut y ajouter les éléments matériels qui traitent les informations ou participent à leur traitement. Les capteurs sont en

¹⁸ Par exemple, on a l'habitude de voir en relief dans la vie courante. Les différents sens ne travaillent pas de manière isolée mais en coopération pour comprendre une scène : un sens peut se substituer à un autre pour comprendre le monde (cas des aveugles)...

amélioration permanente et leur principal problème concerne la non-perturbation de l'opérateur par leur présence. C'est pourquoi l'on privilégie tout ce qui peut prélever quelque chose d'intéressant à distance, par l'optique ou d'autres rayonnements. Il semble que sur ce sujet du *hardware*, les capteurs, les actionneurs et les composants des ordinateurs (processeurs, mémoires...) cesseront bientôt d'être des facteurs limitatifs aux performances des IHM.

Il n'en est pas de même de la partie logicielle, qui traite l'ensemble des informations. En effet, ces informations sont très diversifiées, ont des hiérarchies et des modes de présentation variées et difficiles à classifier, et sont en très grand nombre. L'organisation de l'agent informationnel reste un problème difficile. Il doit prendre en compte, outre des données physiques plus ou moins précises ou plus ou moins bien identifiées, des considérations de fusion adaptée de ces données, des éléments d'apprentissage..., et à un niveau plus élevé des informations générales sur l'environnement, des motivations, des stratégies, voire des modèles culturels, pour que l'échange homme-machine soit convivial et efficace. C'est donc au niveau du repérage des informations pertinentes, de leur mise en forme, de leur agrégation, de la modélisation des phénomènes impliqués et de l'organisation de l'ensemble du logiciel de commande contrôle qu'il faut faire des propositions d'amélioration et engager des efforts.

VII. 2.6. Conclusion

La convivialité avec les machines, qu'elles soient de conception ou d'exécution, est une préoccupation forte, qui provient des progrès fulgurants de l'informatique en général dans son mode matériel et logiciel. En effet, tout le monde utilise un ordinateur et chacun se plaint de son peu de convivialité. Le besoin et le marché sont là.

Mais la convivialité n'est pas facile à obtenir, car l'IHM inclut dans sa conception les propriétés de l'homme.

Le créateur d'IHM doit avoir plusieurs compétences : technique et scientifique, mais aussi psychologique et sociologique. Pour réaliser un produit qui s'adapte à l'homme, il ne doit pas ignorer les grandes caractéristiques de l'homme. À l'heure actuelle, le système éducatif, tout comme les formations d'ingénieurs, préparent peu à être rapidement efficace sur ces sujets.

VII. 3. L'entreprise numérique par Michel Frybourg

La globalisation des marchés oblige les entreprises à remettre en cause leurs processus de fonctionnement, donc à faire évoluer leur organisation, pour s'adapter à ces nouveaux processus et ainsi rester concurrentielles.

Or, on observe qu'un gouffre est en train de se creuser entre les entreprises qui ont compris et su apprivoiser la révolution numérique et celles qui sont en train de passer à côté. Les risques sont nombreux : dépassements des budgets et des délais de mise en œuvre, voire dégradation du climat social au sein de l'entreprise. L'Académie des technologies pourrait participer à une évaluation des forces et des faiblesses (provenant notamment de la résistance aux changements) face à cette révolution numérique.

Confrontée à la concurrence, l'entreprise est forcée d'évoluer dans son approche : si, dans les années 1980, il fallait jouer sur les économies d'échelle pour réduire les coûts unitaires, et dans les années 1990, mettre en place des programmes de fidélisation de la clientèle, la concurrence dans les années 2000 devient une affaire de compétences. Les entreprises sont conduites à optimiser leurs opérations le long de leurs chaînes de la valeur. Ces dernières années, plus de 50 % des investissements des entreprises américaines ont été réalisés dans les technologies de l'information.

VII. 3.1. Réduire les coûts : l'EDI

Toute entreprise est une affaire d'informations. Elle est confrontée à deux types de coûts :

- les coûts de coordination : coûts internes, inhérents à la structure, donc à l'organisation de l'entreprise ;
- les coûts de transaction : coûts de communication avec les partenaires externes de l'entreprise (clients, fournisseurs, sous-traitants, administration, banquiers, actionnaires, etc.).

Pour pouvoir rester compétitive dans un marché qui se globalise, l'entreprise doit réduire ces deux types de coûts. Elle se focalise sur la mise en place de systèmes informatiques, ce qui explique la croissance à deux chiffres, dans les pays développés, et cela depuis plus de dix ans, des fournisseurs de progiciels informatiques, et les installateurs de ces logiciels, les SSII (sociétés de services informatiques). Ce marché dépasse maintenant les 500 milliards d'Euros annuels.

La réduction des coûts de coordination passe par la mise en place d'ERP (*Enterprise Resource Planning*, en français « progiciel intégré de gestion »). L'ERP devient la colonne vertébrale de l'entreprise, en mettant à jour en temps réel toutes les transactions internes, et en réduisant donc la majorité des coûts de coordination, car l'information est accessible à tous ceux qui en ont besoin, moyennant des autorisations. L'information devient unique, et tous les flux (d'information, financiers, physiques) deviennent cohérents.

La réduction des coûts de transaction grâce à l'Échange de données informatisées (EDI) a connu un développement en trois phases :

- vers 1975 : apparition de l'EDI, mis en place dans les grandes entreprises pour leurs échanges avec leurs principaux fournisseurs ;
- de 1975 à 1995 : développement lent de l'EDI en France (10 000 entreprises), à cause de la nécessité d'utiliser le réseau téléphonique, qui reste cher ;
- à partir de 1995 : explosion de l'EDI, grâce à l'utilisation d'Internet (plus de 100 000 entreprises utilisatrices en 2001), à la réduction des coûts de communication et à la mise en place d'XML.

Avec l'explosion de l'utilisation d'Internet, les coûts de transaction entre le monde extérieur et l'entreprise ont connu une réduction drastique.

VII. 3.2. Les outils de gestion

Comme la structure profonde d'une entreprise est déterminée par ses besoins de coordination, elle est elle-même sujette à des changements, liés aux changements de ses processus d'activités. Or, une entreprise est gérée par cinq grands processus d'activités clés :

- le processus de direction et de contrôle de l'entreprise
- les processus de support (comptabilité, finance, gestion des ressources humaines, informatique, etc.)
- le processus de gestion du cycle de vie des produits (PLM)
- le processus de commande-livraison (SCM)
- le processus de gestion des relations client (CRM).

Seuls ces trois derniers processus apportent de la valeur aux clients et aux actionnaires.

L'évolution des applications informatiques de gestion, depuis la mise en place des ERP, permet d'offrir des outils destinés à l'optimisation, la planification et l'exécution de ces trois derniers processus, et cela en temps réel. À cela s'ajoutent des outils de gestion des connaissances de l'entreprise qui permettent de gérer les connaissances nécessaires pour supporter la prise de décision dans ces processus. La réduction des coûts de transaction permet à l'entreprise d'introduire la gestion, en collaboration avec tous ses partenaires de l'ensemble de la chaîne de la valeur de ses produits (« *collaborative management* »).

Une image permet de mieux comprendre cette intégration entre les systèmes informatiques, c'est celle d'un temple grec : son soubassement comprend l'infrastructure informatique et l'ERP ; quatre colonnes (le PLM, le SCM, le CRM et la gestion des connaissances) en supportent le toit, le « *collaborative management* ».

Cette structure permet à l'entreprise, devenue « numérique » d'utiliser les technologies de l'information pour se transformer en « entreprise en temps réel », surveillant en permanence ses marchés, avec la capacité de réagir en temps réel à tout changement. Cependant, cette évolution est très douloureuse car tout changement dans un processus d'activité, dû à la mise en place

d'un nouveau système, entraîne la nécessité d'adapter l'organisation de l'entreprise grâce à la gestion du changement, avec tous les freins que cela comporte. Cette gestion du changement représente entre 30 à 40 % du coût de l'installation d'un nouveau système pour en obtenir les résultats escomptés.

VIII. 3.3. Rôle de l'Académie des technologies

L'Académie des technologies peut jouer un rôle très important pour permettre aux entreprises françaises de s'adapter à cette révolution numérique.

En mobilisant son réseau ses contacts, elle devrait pouvoir :

- inciter fortement à un développement de la normalisation dans le domaine des communications inter-entreprises, pour accroître l'interopérabilité des systèmes ;
- développer, auprès des PME, l'information et la formation sur les opportunités liées à l'informatisation ;
- participer au développement de guides de conduites pour les dirigeants qui mettent en place de tels projets, en recommandant l'étude des mises en place réussies ;
- faire préparer, par des spécialistes de la gestion du changement dans les organisations, des méthodes de travail pour éliminer les freins et les blocages encourus par ces projets ;
- mettre en évidence les risques liés à ces mises en place.

Il s'agit d'un programme ambitieux, et cependant très critique, pour le succès des entreprises françaises dans la compétition internationale.

VIII. 4. Télécommunications

Où en est-on ?

Quelle place pour les technologies optiques ?

par Jean Jerphagnon¹⁹

Loin de s'atténuer, le maelström qui bouleverse le monde des télécommunications depuis plus d'un an, s'amplifie de plus belle. Après les systémiers, équipementiers, « composantiers », qu'il s'agisse de grands groupes (Lucent, Nortel, Ericsson, Alcatel) ou de PME (Highwave, Picogiga, Keopsis, pour se limiter à la France), les opérateurs sont également concernés.

Chacun a en tête les ennuis de France-Télécom, Deutsche Telecom, etc., ainsi que la disparition acquise ou programmée de KPNWest, Global Crossing.

Point d'orgue, si l'on peut dire, le scandale Worldcom et les exigences de la *Federal Commission* sur les Communications aux États-Unis de transparence et de clarification des comptes des différents acteurs du domaine.

Et dire que tout allait si merveilleusement bien il y a deux ans encore ! Comme quoi la Roche Tarpéienne est proche du Capitole ! Mais est-ce une raison pour vouer tout le secteur d'activité aux gémonies ?

Bien des choses ont été dites sur cette crise, dont il est encore bien difficile d'évaluer l'ampleur et dont les causes sont encore mal cernées. Sans prétention aucune, nous rappelons ci-dessous des éléments qui nous paraissent importants.

VIII. 4.1. Cycles

L'existence de cycles économiques à courte période et à amplitude forte est bien connue en microélectronique. *Mutatis mutandis*, elle a déjà été observée en télécommunications, dans le domaine des liaisons transocéaniques en particulier.

Deux raisons principales se dégagent :

- D'une part, en raison même du très lourd investissement que représente la mise en place d'une infrastructure, on se préoccupe d'installer des liaisons capables de satisfaire la demande pendant un certain temps et pas seulement pour répondre à une attente immédiate ; il y a ainsi un décalage entre le besoin à court terme et la capacité installée. Encore faut-il que le retour sur investissement ne se fasse pas trop attendre !
- D'autre part, une prudence bien compréhensible incite à différer des opérations lorsque de nouvelles options technologiques sont en cours de test : le frein des commandes au milieu des années quatre-vingt-dix dans l'attente des résultats des liaisons TAT 12, TAT 13, les premières à mettre en œuvre l'amplification optique est révélateur de cette démarche.

¹⁹ Jean Jerphagnon, membre fondateur de l'Académie des technologies, est décédé le 6 juin 2005.

VIII. 4.2. Essor d'Internet

Phénomène majeur à la base de l'engouement de la deuxième partie des années quatre-vingt-dix : l'essor surprenant d'Internet, fortement lié à la convergence télécommunications-informatique-audiovisuel, rendue possible par la numérisation et la « banalisation » de la voix, des données et des images sous une même forme numérique.

Nous parlons ici de la convergence entre les moyens de distribution (contenants) et non de la convergence contenant-contenu (programmes), qui soulève d'autres difficultés comme le montre le récent échec de la fusion AOL-Time Warner. Constatant la tiédeur avec laquelle avaient été faites les prévisions de marché, la tentation était forte de « surcompenser » en extrapolant à long terme des tendances court-moyen terme. C'est ce qui fut fait en ignorant le phénomène de saturation et, encore plus grave, en oubliant que l'on fonctionnait sur un modèle économique instable, sinon aberrant. Toutes proportions gardées, cet oubli de la saturation avait été, en France, la source de difficultés majeures à la fin des années soixante-dix, début des années quatre-vingt en fin de plan de rattrapage du téléphone.

Autre domaine affecté par la saturation : les télécommunications mobiles. Il est bien vrai que les premières estimations du pourcentage de pénétration étaient bien trop timides (20 %). De là à extrapoler de forts rythmes de croissance sur une décennie ou presque...

L'engouement irraisonné pour cet eldorado virtuel a conduit à une fuite en avant des différents acteurs, qu'ils soient opérateurs, systémiers, équipementiers, composantiers, investisseurs ou capitaux-risqueurs. Cela dit, il est plus facile de faire un bilan que de résister, en temps réel, à la pression ambiante. La spirale infernale a conduit certains à des falsifications et des fraudes qui apparaissent aujourd'hui et qui sont particulièrement dommageables à l'ensemble de l'activité.

Conséquence particulièrement frappante et instructive de cet engouement collectif : l'évolution des règles pour les fusions-acquisitions, dans laquelle on peut distinguer trois phases.

- Jusqu'au milieu des années quatre-vingt-dix, les opérations se traitent sur la base du chiffre d'affaires annuel de l'entité acquise ou absorbée.
- Vint ensuite une période, courte, pendant laquelle l'élément de référence était la perspective (espérance) de croissance. Un exemple fameux est la prise en main de MCI par Worldcom, alors que leurs chiffres d'affaires respectifs étaient dans le rapport 5 à 1.
- Troisième phase : ce qui compte c'est la compétence (plus ou moins volatile) acquise, avec comme objectif plus ou moins avoué de « rassurer » les analystes financiers et de maintenir ainsi le niveau de la valorisation boursière. Cela a provoqué une véritable folie des prix d'acquisition, lesquels ont dramatiquement affecté les comptes lorsque la tendance s'est inversée, et ont largement contribué à la situation actuelle.

Devant l'ampleur de la crise, il apparaît particulièrement difficile de préconiser des remèdes et les cabinets-conseils sont peu prolixes.

Un élément d'espoir dans cet environnement de tourmente : le trafic continue à croître de façon significative.

VIII. 4.3. Conditions de réussite

Mais pour que cette croissance contribue de façon effective à une reprise durable de l'activité, plusieurs conditions doivent être satisfaites.

- En premier lieu, il nous semble qu'un modèle économique (business model) doit être impérativement mis en place : où se situe la valeur ajoutée le long de la chaîne d'activité, quelle doit en être la rémunération ?
- Par ailleurs une véritable reprise n'aura pas lieu sans une innovation forte dans les services. C'est bien la mise en place de nouveaux services que la clientèle s'appropriera rapidement, qui sera le moteur du redémarrage de l'activité.
- Dans tous les cas, un important effort de recherche et développement est indispensable.

Les technologies optiques ont joué un rôle majeur dans le développement des télécommunications durant les deux dernières décennies. L'avènement industriel de la fibre optique, dont les capacités de transmission ont été considérablement renforcées par les techniques d'amplification optique et de multiplexage en longueur d'onde, a permis d'accroître les débits en ligne de la centaine de mégabits (100 millions de bits) par seconde à plus d'un terabit (mille milliards de bits) par seconde. Ce progrès a été directement utilisé pour les liaisons à grande et très grande distance (ce qu'on appelle l'épine dorsale ou le backbone, c'est-à-dire 100 km et plus). Les réseaux métropolitains commencent à en profiter fortement.

Un problème majeur de coût subsiste actuellement pour la liaison d'abonné, ou, comme on dit, pour le dernier kilomètre du réseau jusqu'à l'abonné individuel. Pour ce segment de marché, la fibre optique doit subir la concurrence de nouvelles technologies (ADSL par exemple, qui bénéficie directement des progrès en microélectronique et en traitement du signal) sur la ligne téléphonique de cuivre et, pourquoi pas, demain, sur les installations de distribution d'électricité ?

Les liaisons intercontinentales par satellite ont été supplantées, il y a une quinzaine d'année, par la fibre optique. Les satellites gardent, cependant, tout leur intérêt pour la diffusion d'informations (programmes de télévision, par exemple) ou pour des liaisons dans des régions ne bénéficiant pas de bonnes infrastructures installées. Bien que les premières tentatives d'utilisation des satellites pour les communications mobiles (Iridium, Globalstar) aient été des échecs, cette voie n'est pas définitivement écartée pour le futur.

La fibre optique n'est pas seulement inégalée pour les capacités de transmission, elle permet aussi le routage des informations, par exemple par sélection de longueur d'onde. C'est ainsi que des réseaux « tout optique » sont déjà installés. En revanche, le modèle d'une couche généralisée tout optique au-dessus des couches dites électroniques (mis en avant il y a quelques années), apparaît difficile à mettre en place, ne serait-ce que par la difficulté à satisfaire les besoins de contrôle de qualité et, plus généralement, de gestion et d'administration des réseaux dans leur ensemble.

On touche ainsi du doigt certaines limitations de l'optique, déjà mises en évidence lors de recherches sur l'ordinateur tout optique. L'électronique est encore sans égale pour un certain

nombre de fonctions : on sait, certes, faire des lignes à retard en optique mais point de registre à décalage ni de mémoire à accès aléatoire. C'est un lourd handicap pour la mise en œuvre des paquets optiques. On a pu réaliser des maquettes de réseau en technologie ATM, grâce à l'utilisation de fibres optiques comme ligne à retard, mais l'industrialisation de cette approche apparaît très fortement compromise. Qu'en serait-il advenu de la commutation électronique, s'il avait fallu s'en tenir, comme dans les premiers prototypes, à la ligne à magnétostriction ? La mise au point de DRAM électroniques, aux performances sans cesse accrues, a été déterminante pour l'essor de la commutation moderne. C'est ainsi que tout un champ de recherche de base reste ouvert pour la découverte de nouvelles fonctions optiques. Qui relèvera le défi ?

Il n'en reste pas moins que les technologies optiques se multiplient et se diversifient à rythme élevé ouvrant ainsi nombre de perspectives d'application : citons par exemple la cryptographie et le traitement de signal.

À l'évidence, les technologies optiques sont un élément majeur de compétitivité : il est donc essentiel de les maîtriser pour en disposer lorsque le marché se réveillera. En conséquence, l'effort de recherche et développement doit être poursuivi

VII. 5. De JESSI à MEDEA+ ou le renouveau de la microélectronique en Europe par Jean-Pierre Noblanc²⁰

À la fin des années 80, l'industrie des composants électroniques, en particulier celle de la microélectronique silicium, est largement dominée au plan mondial par le Japon et les États-Unis. L'Europe est dans une position critique, s'agissant de la dimension et de la capacité financière de ses entreprises. La conséquence de cette situation se traduit par des investissements insuffisants, induisant un retard technologique extrêmement pénalisant dans une industrie fortement cyclique et en évolution très rapide : les générations technologiques se succèdent tous les dix-huit mois depuis le début des années 70.

Compte tenu de l'importance, pour l'industrie européenne de l'électronique (télécommunications, audiovisuel grand public, informatique, électronique industrielle, automobile), de disposer de sources européennes de composants électroniques, les responsables politiques et les industriels décident de lancer un vaste programme européen dans le domaine de la recherche et développement, dans le cadre de l'initiative EUREKA, distincte des programmes de recherche de l'Union européenne.

VII. 5.1. JESSI

Ainsi est lancé en 1989 le programme de recherche industrielle JESSI (*Joint European Submicron Silicon Initiative*). À la fin du programme, en 1996, la situation s'est considérablement améliorée.

Grâce aux lancements de projets technologiques coopératifs ambitieux à finalité industrielle, une grande partie du retard technologique est alors comblée, permettant à certaines entreprises (Philips Semiconducteurs, Siemens Semiconducteurs devenue Infineon et SGS Thomson devenue STMicroelectronics), de participer à la compétition mondiale en bien meilleure position.

VII. 5.2. MEDEA et MEDEA+

Compte tenu du succès du programme JESSI, il est décidé en 1997 de le prolonger par un nouveau programme de recherche et développement, dont les objectifs ne sont plus seulement technologiques mais concernent aussi les applications. Le programme MEDEA (*Microelectronics Development for European Applications*) met l'accent sur des recherches concernant les télécommunications et, en particulier, la téléphonie mobile, l'électronique grand public, avec l'émergence de la télévision numérique (câble et satellites), l'électronique automobile (contrôle moteur, sécurité...), les cartes à puces, etc.

En 2001, un nouveau programme, MEDEA +, et un budget total de quatre milliards d'euros abondé par les industriels et les pouvoirs publics des États européens, est décidé pour une durée de huit ans. L'objectif est de donner les moyens à l'Europe d'assurer un leadership dans

²⁰ Jean-Pierre Noblanc, membre fondateur de l'Académie des technologies, est décédé le 21 septembre 2003.

le domaine des systèmes électroniques sur silicium pour l'économie numérique qui se développe autour d'Internet.

Malgré une année 2001 marquée par une crise sans précédent dans l'industrie mondiale des semi-conducteurs, l'efficacité des programmes de recherche du type MEDEA + est démontrée par le fait que les trois grands industriels européens du secteur (STMicroelectronics n° 3, Infineon n° 9, Philips Semiconducteurs n° 10) sont classés parmi les dix premiers industriels du monde, derrière le leader incontesté INTEL.

De nouvelles entreprises européennes, comme le Néerlandais ASM Lithography, dans le domaine des équipements et des matériaux pour la microélectronique, le Britannique ARM dans celui des cœurs de microprocesseurs, atteignent le leadership mondial, et un nombre significatif de PME sont créées, en particulier dans le domaine de la conception de circuits intégrés.

En conclusion, les initiatives JESSI, puis MEDEA et MEDEA +, démontrent de façon exemplaire l'efficacité de la coopération en recherche et développement en haute technologie. Cette initiative, qui a été étendue à d'autres domaines de la recherche industrielle, en particulier ITEA dans le domaine de la recherche sur les logiciels, pourrait encore être mise à profit par de grands secteurs des technologies de l'information, où les coûts de recherche et développement augmentent si rapidement que la coopération à l'échelle de l'Europe industrielle est devenue une nécessité.

VIII. 6. Assurer la pérennité de l'économie et de la société par Jacques Vincent-Carrefour

VIII. 6.1. Les enjeux

L'utilisation des NTIC est maintenant généralisée dans la plupart des secteurs de l'économie. C'est un processus irréversible qui va inévitablement introduire une dépendance à l'égard de ces technologies.

Les NTIC sont sujettes par nature à des « perturbations imprévues », que les médias soulignent de plus en plus fréquemment. Ces anomalies peuvent provoquer des effets cumulatifs, conduisant à une perturbation grave des services offerts, qu'il s'agisse des réseaux, des informations échangées sur ces réseaux, des données souvent extrêmement sensibles que contiennent les fichiers, ou même des décisions prises grâce à elles. Les conséquences, le plus souvent ignorées du public, concernent les individus, les entreprises, voire la société elle-même.

Un événement survenu il y a déjà plus de dix années aux États-Unis illustre bien ces difficultés. À l'origine du phénomène, une erreur dans l'un des programmes qui assurent les échanges de signalisation entre les centraux téléphoniques de New York. Cette erreur a d'abord entraîné une interruption du trafic téléphonique dans la ville. De proche en proche, les villes de la région puis de tout le territoire qui cherchaient à appeler New York ont vu leurs réseaux se saturer, suivant un processus cumulatif qui s'est étendu sur plusieurs heures, les raisons de l'incident n'ayant pu être rapidement déterminées. Au bout de quelques heures, c'est tout le trafic de l'aéroport de Kennedy qui a dû être interrompu, les plans de vol ne pouvant plus être établis avec les aéroports de destination. Ce fut sans doute la conséquence la plus spectaculaire, mais il y en eut bien évidemment beaucoup d'autres, connues ou inconnues. Il faut également savoir que dans des situations de ce genre, même lorsque les anomalies à l'origine de l'incident ont été identifiées et réparées, il faut souvent plus de 24 heures avant de retrouver une situation normale.

VIII. 6.2. Un problème de plus en plus aigu

Cette situation n'est pas propre aux TIC : tous les réseaux, quelle que soit leur nature, sont vulnérables. Les récentes difficultés qu'a connues la distribution de l'électricité en Californie en est un exemple. Les perturbations introduites par la saturation périodique des autoroutes sont maintenant si communes qu'on en vient à les considérer comme normales. Dans le cas des TIC, la situation prend cependant un caractère particulièrement aigu en raison de leur présence universelle, parfois cachée, de leur complexité extrême les rendant imprévisibles, et surtout de l'origine quasi exclusivement humaine des incidents. Les problèmes sont en effet très souvent liés à une mauvaise utilisation ou à une conception déficiente : erreur de réalisation ou analyse insuffisante. Cette origine humaine des dysfonctionnements peut aussi correspondre à une malveillance.

On entend trop souvent dire que « le programmeur a tout prévu ». C'est évidemment illusoire. C'est ainsi qu'il n'est jamais venu à l'idée des rédacteurs des programmes de gestion des années 60 que ces derniers seraient toujours en service en l'an 2000, alors que le COBOL, langage de programmation utilisé alors, aurait quasiment disparu. Peut-on parler ici d'erreur de programmation ?

Relevons également que plus l'analyse est poussée, plus le cas imprévu est rare et, souvent malheureusement, plus ses conséquences sont graves. Un bon exemple en est donné par une mésaventure survenue aux services canadiens de télécommunications : leur centraux ont cessé de fonctionner un peu plus d'un an après leur mise en service, à la suite du débordement du compteur qui déterminait la durée entre certains types de pannes. Personne n'avait imaginé que le central aurait pu fonctionner un an sans connaître de tels incidents.

Aujourd'hui, la quasi totalité des services offerts reposent sur une utilisation plus ou moins importante des TIC et sont ainsi susceptibles d'être perturbés. Qu'il s'agisse des transports, de la distribution de l'eau, de l'approvisionnement en général, voire du bon fonctionnement d'un hôpital, tous risquent ainsi d'être remis en question. Les procédures modernes de gestion telles que le « juste à temps » renforcent encore les conséquences d'un incident. Cela amène à introduire la notion d'application critique, liée à la gravité des conséquences d'un mauvais fonctionnement de l'application. Ce type d'application doit être tout particulièrement protégé.

Pour assurer la pérennité de l'économie, et, dans certains cas, de la société elle-même, il convient donc de prendre des mesures appropriées.

VII. 6.3. Les origines de ces fragilités

Les origines de ces fragilités sont nombreuses. Elles peuvent tenir aux technologies elles-mêmes : perturbation ou destruction due au rayonnement électromagnétique ; « catastrophe technologique » résultant d'une modification de méthodes de fabrication.

A ce jour, il n'y a pas eu d'incident majeur de ce type. Cependant, l'exemple suivant en montre la possibilité. Les puces nécessaires à la réalisation de certains composants, fabriquées aux États-Unis, étaient montées en Europe. Pour les protéger durant leur transport, elles étaient recouvertes d'une résine de passivation. Or, cette résine a lentement attaqué les contacts des composants. Plusieurs années après, ils sont presque tous tombés en panne, pratiquement en même temps.

Il existe surtout une fragilité particulière des logiciels, inhérente à leur complexité ; les bogues ont des conséquences imprévisibles, assimilables à des effets non linéaires. Nous avons déjà évoqué l'incident survenu au réseau de télécommunication de New York. On peut aussi citer l'échec du vol Ariane du 4 juillet 1996 : ici, c'est une erreur de programmation qui a perturbé la lecture des instruments et fait croire à un incident qui n'existait pas.

La création de monopoles, qui entraîne la très large diffusion de certains logiciels, facilite les attaques des pirates. Virus et autres chevaux de Troie ne peuvent se propager que parce qu'il n'existe qu'un tout petit nombre de systèmes d'exploitation. Les fichiers sont tout aussi sensibles aux perturbations involontaires et aux attaques. Ces attaques des pirates peuvent avoir de graves conséquences, sans mêmes que ces pirates les aient cherchées : c'est ainsi qu'un pirate a pénétré sans le savoir dans l'ordinateur d'un hôpital qui supervisait directement certains malades, avec de graves conséquences pour eux.

Rappelons également les attaques subies en février 2000 par Yahoo ! et Amazon, attaques qui ont conduit à l'indisponibilité totale des services fournis durant plusieurs heures.

Tout cela n'est bien sûr pas limitatif. Par ailleurs, ce n'est pas parce que jusqu'à maintenant on n'a pas encore vu d'incidents catastrophiques que ces derniers sont exclus. Comme nous l'avons déjà suggéré, plus la prévision est poussée, plus l'imprévu frappe fort. Il est relativement facile d'imaginer des scénarios catastrophes, sans même se référer à ce qui est survenu au États-Unis le 11 septembre 2001.

À cela, il faut enfin ajouter une certaine fragilité politique et sociale, facilitée par celle des technologies : monopole de certains pays sur la maîtrise des technologies concernées (par exemple, monopole américain sur le cryptage), absence de réglementation et de procédures judiciaires acceptées par tous, facilitation de certaines actions terroristes ou de renseignement (*Echelon*). Rappelons enfin que certaines minorités ont parfois tendance à exploiter les possibilités ainsi offertes. C'est ainsi que des revendications ont parfois été soutenues par des actions sur les systèmes informatiques. C'est aussi un domaine d'action privilégié de certaines sectes. Des objectifs aussi importants que la lutte contre la drogue, la pornographie ou le blanchiment de l'argent sont constamment remis en cause par l'absence de règles communes sur l'usage des réseaux.

VIII. 6.4. Les réponses

En toute première analyse, c'est aux entreprises de prendre en compte ces fragilités et d'assurer ainsi la pérennité des produits et services qu'elles offrent. Cependant, cela va inévitablement se traduire par des choix économiques en vue d'optimiser les intérêts (souvent à court terme) des entreprises concernées, alors que les choix sociétaux ne seraient pas nécessairement les mêmes. Concurrence et déréglementation vont également conduire à choisir de plus en plus en faveur de l'entreprise : France Télécom a mis en place des moyens très lourds pour faire face à des « crises » : tous les opérateurs voudront-ils et pourront-ils le faire ? France Télécom elle-même risque de restreindre cet effort coûteux, de même qu'il a fortement reconverti son effort de recherche en ne visant plus que son propre intérêt.

Il y a déjà plusieurs décennies, un fonctionnaire des services de sécurité français est allé exposer dans un pays d'Afrique francophone les mesures à prendre pour faire face à un incident grave dans les réseaux de télécommunication. Peu après son exposé, il a demandé aux autorités du pays les mesures qu'elles envisageaient de prendre. À sa grande surprise, il a entendu la réponse suivante : « *Nous n'allons rien faire. En cas de problème, nous ferons appel à la France.* »

L'existence de cette problématique économique, ainsi que l'ampleur des conséquences possibles, font que l'État ne peut pas s'en désintéresser ; il s'agit d'ailleurs d'un problème de sécurité, donc au cœur de sa responsabilité. La multiplicité des entreprises en cause milite également pour une intervention de l'État, ainsi que l'internationalisation de beaucoup de problèmes, comme cela a déjà été souligné. Quant aux problèmes politiques et sociétaux, seuls les États peuvent les régler.

Il faut enfin rappeler que les réponses doivent être aussi bien préventives (prévenir les crises) que curatives (gérer les crises et minimiser leur conséquences).

L'État a évidemment déjà eu conscience de ces problèmes et a pris dans certains cas des mesures appropriées, par exemple dans le domaine de la sécurité. Il est clair cependant que l'ampleur des enjeux que nous venons de souligner impose une réflexion approfondie et des mesures correctrices complémentaires.

VIII. 6.5. Des propositions

Voici un certain nombre d'objectifs qui pourraient être retenus pour ces réflexions, sans que cette liste puisse être considérée comme limitative.

a. Clarifier les responsabilités

Il faut clarifier les responsabilités respectives des entreprises, des organismes de régulation et de l'État, aux plans national et international. Des mesures ont déjà été prises dans ce sens, tant au niveau français qu'au niveau européen, mais trop souvent la réglementation reste imprécise ou inexistante. Parfois même, les conséquences de son application seraient si onéreuses pour les fabricants qu'elle est volontairement ignorée.

Des exemples feront mieux comprendre ces difficultés.

- Il existe en Europe une directive du Conseil instituant une « *responsabilité du fait des produits* », ce qui signifie que le constructeur d'un produit est responsable des mauvaises conceptions de son produit et des conséquences de ces mauvaises conceptions. C'est ainsi que l'industrie automobile rappelle tel ou tel modèle pour lequel il a détecté une anomalie. Dans ces conditions, il est étonnant que le coût des modifications imposées aux logiciels par le passage de l'an 2000 ait dû être pris en charge par les utilisateurs et non par leurs fabricants ; il s'agissait en effet d'un usage normal et parfaitement prévisible de ces produits. Dans certains cas, ces fabricants avaient même disparu.
- Il arrive que cette responsabilité soit remplacée par l'obligation de se conformer à des normes. C'est par exemple le cas dans le domaine de la sécurité, lorsque des vies humaines sont en jeu. Quelle est alors la responsabilité du normalisateur ? Qui prend en charge les éventuels sinistres ? Ne serait-il pas nécessaire qu'un ordinateur qui intervient dans une chaîne de sécurité soit lui-même certifié dans ce domaine ?
- Enfin, souvent les entreprises recourent à l'assurance pour couvrir leur responsabilité dans ces domaines : est-ce acceptable lorsque le coût du dommage peut dépasser la valeur de l'entreprise elle-même, voire lorsqu'il y a accident de personne ?

b. Connaître les fragilités

Il faut assurer une meilleure connaissance des fragilités des TIC, surtout dans leurs conséquences à moyen et à long terme sur l'économie, en créant une bibliothèque d'événements, à la disposition des entreprises et de l'État.

Des formations appropriées pourraient également être envisagées.

c. Lutter contre les fragilités

Il faut faciliter la lutte contre ces fragilités en favorisant l'émergence de technologies adaptées et la création des activités nouvelles qui seront nécessaires (sécurité, certification, prévision et gestion des crises, etc.)

Certaines mesures ont d'ores et déjà été prises dans le domaine de la sécurité : création de CERT (*Computer Emergency Response Team*), mise en place de systèmes de certification. Les CERT ont une vocation curative : ces organismes surveillent les réseaux informatiques et préviennent leurs correspondants lorsqu'ils détectent une attaque, par exemple par un virus ; ils élaborent également les moyens de lutte correspondants et les diffusent. C'est ainsi qu'on a pu voir un virus apparaître aux États-Unis, et les moyens de contre-attaque diffusés en Europe avant même que le virus n'y parvienne.

La certification de la sécurité a une vocation préventive. Elle consiste à faire examiner par des spécialistes les dispositions prises pour assurer la sécurité d'un programme, en s'appuyant sur une norme internationale et en suivant une analyse plus ou moins poussée. Cela permet de délivrer un certificat, assurant que le programme a un certain niveau de sécurité.

d. Impliquer le consommateur et le citoyen

Il faut faciliter l'intervention du consommateur et du citoyen, concernés au premier chef par ces problématiques. Ils doivent pouvoir s'exprimer, notamment à travers des associations.

e. Mener des actions au niveau européen

Il faut enfin identifier et conduire les actions nécessaires au niveau communautaire et au niveau international (actions dans les domaines juridiques, techniques et opérationnels).

En effet, certaines mesures, très importantes, ou d'un niveau international, sont hors de portée d'un État comme le nôtre : citons, par exemple, la récente décision de lancer un système européen de localisation par satellite, concurrent du GPS, ou encore l'harmonisation juridique, qui a déjà été évoquée.

Académie des technologies
28, rue Saint-Dominique 75007 Paris
tél : 01 53 85 44 44 – fax : 01 53 85 44 45
www.academie-technologies.fr

Imprimé en Europe