

Internet

Tome 1

Les technologies de demain

Jean-Michel Cornu



INTERNET

TOME 1

LES TECHNOLOGIES DE DEMAIN

LES CAHIERS DE L'INTERNET
NUMÉRO UN

FING

INTERNET
TOME 1
LES TECHNOLOGIES DE DEMAIN

Jean-Michel Cornu

© **FING - Fondation internet nouvelle génération**
70, rue Amelot, 75011 Paris
<http://www.fing.org>
contact : cahiers@fing.org

Directeur de publication : Jacques-François Marchandise
Coordination éditoriale : Hubert Guillaud

ISSN : en cours

EN PARTENARIAT AVEC JEAN-LOUIS BERNARD CONSULTANTS

REMERCIEMENTS

Cet ouvrage est le fruit de très nombreux échanges avec des experts de différents domaines et des personnes moins initiées. Il est impossible de tous les citer ici mais qu'ils reçoivent toute ma gratitude pour le temps qu'ils m'ont accordé et la richesse des échanges.

L'idée même de compiler nos connaissances sur les technologies de l'information et d'en tirer des éléments pour comprendre et décider vient de **Jean-Louis Bernard**, un ami de longue date, qui m'a proposé de monter avec lui un séminaire dont cet ouvrage est issu.

Emmanuel Josse, qui m'assiste depuis de nombreuses années, a eu le rôle ingrat d'assister aux toutes premières versions du séminaire et de relire les premiers jets du livre au moment où les concepts étaient très immatures. Ses conseils ont été précieux pour rendre le propos plus accessible.

Françoise Massit Folléa et **Daniel Kaplan** ont apporté des commentaires pertinents dans leurs domaines d'expertise. **Corinne Cornaton**, **Marie-Paule Lebreton** et **Eric Moitillon** ont fait des propositions qui ont grandement contribué à rendre le propos plus accessible à tous.

J'aimerais remercier tout particulièrement **Guénaél Amieux**, **Hubert Guillaud** et **Jacques-François Marchandise** qui, en plus de leurs commentaires, ont effectué un travail de relecture et de correction tout particulièrement difficile pour cet ouvrage qui se veut à la fois accessible à tous et sans concession quant au niveau d'expertise dans les différents domaines abordés.

Enfin, j'aimerais remercier « la souris sous mon évier ». En grignotant le câble électrique de mon réfrigérateur et en faisant sauter l'installation électrique de ma maison, elle m'a permis de vivre une grande expérience : ce voyage au pays des technologies a été terminé dans la nuit du 6 janvier 2002 dans une ambiance romantique à la lueur de trois bougies. L'écran rétro-éclairé de mon ordinateur portable alimenté par des batteries longue durée et connecté à l'Internet apportait une lumière bleutée telle une fenêtre sur le monde et sur le futur. Un magnifique mariage des XIX^e et XXI^e siècles...

***Pour ce qui est de l'avenir,
il ne s'agit pas de le prévoir mais de le rendre possible.***
Antoine de Saint-Exupéry.

AVANT-PROPOS

« Internet – Les technologies de demain » ouvre la série des *Cahiers de l'Internet*, édités par la FING, qui engage ainsi une démarche de publication régulière de travaux liés à ses missions. Depuis sa création, début 2000, la FING mène un travail collectif de veille et d'approfondissement des différents aspects de l'Internet de demain, afin de favoriser l'anticipation des usages et des services. La matière abondante ainsi rassemblée est publiée sur notre site web en accès libre afin de permettre aux acteurs de la société d'être mieux armés face aux innovations et aux bouleversements qui s'annoncent. Alors pourquoi ces *Cahiers* ? Pour mettre en valeur les travaux et observations les plus marquants dans les champs que nous explorons, tout en gagnant en profondeur, par la publication de contributions individuelles ou collectives, plus longues et plus durables que la consultation du web ne le permettrait.

Que l'on ne s'y trompe pas : ce sont bien les usages qui font l'objet des travaux de la FING ; et en publiant l'ouvrage de Jean-Michel Cornu, notre directeur scientifique, nous n'avons pas pour ambition d'apporter aux ingénieurs de l'Internet un éclairage nouveau sur leurs disciplines. Il s'agit au contraire de faire connaître ces technologies émergentes à leurs destinataires : les acteurs de la société, de l'économie, de la culture, de l'éducation, de la santé, du commerce, de l'administration... L'appropriation de l'Internet par la société apparaît en effet comme l'enjeu majeur des temps qui s'annoncent, afin que les changements soient voulus et non subis.

Jean-Michel Cornu, consultant international, anime le GFSI, le Groupe français pour la participation à la standardisation de l'Internet, contribuant ainsi à l'effort international pour le développement de l'Internet sur le fondement de standards ouverts. Il est également l'un des experts du travail coopératif, animant un grand nombre de groupes de travail fertiles et mettant en commun sa méthodologie. Du village global au « village local », sa passion des télévisions de proxi-

mité l'a conduit à animer Vidéon, une ressource collective à destination des télévisions de proximité et des producteurs associatifs et locaux, et à franchir, parmi les premiers, le pas qui conduit des logiciels libres aux contenus libres. Il allie, pour ces diverses raisons, la compréhension des technologies et la pratique avancée des usages. Quand le *peer-to-peer* se développe, ou quand l'apparition de MPEG-4 laisse entrevoir de nouveaux horizons pour le son et l'image en ligne, sa perception théorique est nourrie de son approche la plus concrète.

Cette position singulière lui a donné l'intuition et l'énergie d'un travail d'approfondissement, d'abord rassemblé sous la forme d'un séminaire, « TIC : l'indispensable pour comprendre et décider », produit par Jean-Louis Bernard en partenariat avec la FING. Le succès des premières séances a confirmé l'intérêt du propos : clarifier notre compréhension des technologies, mais également des services et des usages, en proposant une lecture d'ensemble, aujourd'hui introuvable. Celle-ci prend en compte à la fois les processus qui facilitent l'innovation et les mécanismes d'appropriation par les utilisateurs. Cette double approche est riche de conséquences dans les domaines les plus critiques ou les plus ordinaires de notre vie et de nos activités.

Ce premier numéro des *Cahiers de l'Internet* propose la première partie de cette démarche avec un tour d'horizon des techniques et des enjeux technologiques de demain. Un préalable indispensable avant de consacrer cette revue à l'objet essentiel de la FING : les usages, et les services. Armés du présent volume, les lecteurs auront, nous l'espérons, le désir de se joindre à nos travaux.

Jacques-François Marchandise
Directeur du développement de la FING

SOMMAIRE

PREMIÈRE PARTIE. S'ADAPTER À UN MONDE INNOVANT.	15	IPv6 – le même réseau pour tout	67
		Les possibilités et limites du protocole Internet	67
		Une nouvelle version du protocole Internet	69
		IPv6 c'est pour quand ?	71
		L'Internet nouvelle génération	72
DEUXIÈME PARTIE. VUE D'ENSEMBLE DES TECHNOLOGIES.	23	INTERMÈDE. LES BATTERIES.	79
		De l'énergie pour tous	79
		De l'énergie pour moi...	79
		Quand le Laptop aura-t-il une journée d'autonomie ?	81
TROISIÈME PARTIE. PREMIÈRE VAGUE : LE TRAITEMENT.	29	CINQUIÈME PARTIE. TROISIÈME VAGUE : LA MÉMOIRE.	85
Évolution des circuits intégrés et seuils d'usage	29	Évolution des mémoires	85
Nombre de transistors dans un circuit intégré	29	La pyramide des mémoires	85
Seuils d'usages	31	L'évolution de la capacité des disques durs	86
Les limites de la méthode	32	Que faire avec autant de mémoire ?	88
Petite récréation futurologique : combien de puces dans un PC ?	33	Partager la mémoire dans le monde : le pair à pair	90
Et après le silicium ?	34	L'information se structure grâce à XML	92
L'évolution des technologies vers l'ouverture :		L'information : document ou base de données ?	92
l'exemple des systèmes d'exploitation	36	Qu'y a-t-il dans un document ?	93
L'exemple du système Unix : cinq étapes vers l'ouverture	36	La famille des standards XML	93
Les cinq étapes de l'ouverture	39	Les médias s'intègrent au sein de MPEG-4	94
Les limitations actuelles et l'innovation	40	SIXIÈME PARTIE.	
Les limitations actuelles	40	QUATRIÈME VAGUE : L'INTERFACE AVEC LE MONDE.	99
Le Grid ou $1 + 1 = 1$	42	Les terminaux et les objets communicants	99
Faciliter l'innovation	43	Une grande diversité de terminaux	99
		Les objets communicants	101
QUATRIÈME PARTIE. DEUXIÈME VAGUE : LA COMMUNICATION.	49	Quand les objets usuels communiquent	101
Les dorsales et le DWDM	50	Des robots qui s'adaptent	103
Évolution des débits des fibres optiques	50	Communiquer avec les machines par les cinq sens	104
Étendue du réseau de fibres optiques	51	Quelle émotion !	107
Alors pourquoi a-t-on encore des problèmes de débit ?	52	Des interfaces avec le biologique	108
Et après ? Le futur des commutateurs et des fibres optiques	53	Et l'homme devint télépathe...	109
Les réseaux d'accès	54	Quand le réel et le virtuel fusionnent	110
Les réseaux filaires	55	SEPTIÈME PARTIE. INVITATION AU VOYAGE.	119
Les liaisons sans fil depuis un poste fixe	57	QU'EST-CE QUE LA FING ?	122
Les réseaux mobiles	59	TROUVER DE L'INFORMATION SUR LE SITE DE LA FING	124
Les réseaux locaux	60		
Les réseaux locaux filaires	60		
Les Réseaux locaux radio-électriques	61		
La mobilité : réseaux 3G ou RLR ?	62		
Un scénario catastrophe : les jardins clos (<i>Walled Gardens</i>)	64		
Un scénario optimiste : le sans couture (<i>seamless</i>)	65		

PREMIÈRE PARTIE

S'ADAPTER À UN MONDE INNOVANT

FACE AU FUTUR

Le 19 novembre 2000, la plus longue liaison mondiale en fibre optique appelée Sea-Me-We 3 s'est rompue à 100 kilomètres au large de Singapour. Quelques semaines seulement après les Jeux olympiques, le débit de l'Internet entre l'Australie et le reste du monde est réduit de 60 % pendant plusieurs heures pour Telstra, le plus gros fournisseur d'accès australien ¹. Le reste du trafic a été redirigé vers des liaisons moins performantes. Pas de chance ! Le câble « Southern Cross ² » qui relie l'Asie, l'Australie et les Etats-Unis a été inauguré le 15 novembre, mais Telstra ne s'y était pas encore relié...

Une telle rupture est imprévisible, elle peut être due à des mini-séismes ou à des bateaux qui jettent l'ancre par grosse mer ³. Par exemple, les nouveaux filets des pêcheurs lestés par de lourdes ancrs ont ainsi rompu trois fois en deux mois les câbles sous-marins au large de la Chine au début 2001 ⁴. En tout, on compte une centaine de ruptures de câbles sous-marins par an. Pourtant, si l'incident australien a défrayé la chronique, les autres problèmes passent le plus souvent inaperçus. Face à l'imprévisible, existe-t-il des stratégies qui permettent de s'adapter ?

TROIS APPROCHES

LA PLANIFICATION, LA POLITIQUE INDUSTRIELLE, LA STRATÉGIE

On considère le plus souvent trois grandes méthodes pour préparer l'avenir :

La *planification* est la plus connue et même souvent la seule utilisée. Elle est définie comme « une organisation selon un plan a priori ». Elle est particulièrement bien adaptée à un environnement stable et prévisible.

S'il est difficile de prévoir laquelle parmi plusieurs situations arrivera, ce n'est pas un mais plusieurs plans qu'il faut préparer. On parle alors de *politique* (au sens industriel du terme.) Celle-ci se définit comme « *une manière concertée de conduire les affaires* ». La grande différence vient du fait qu'il s'agit d'apporter de l'intelligence non seulement avant mais également pendant la réalisation pour choisir le plus judicieusement quel plan appliquer.

Mais dans certains cas, il n'est même plus possible de connaître à l'avance les différentes options. Il ne nous reste que la possibilité de faciliter les orien-

tations les plus conformes à nos objectifs. Par exemple, si notre objectif est que les utilisateurs s'approprient un produit, nous pouvons leur faciliter la tâche en leur permettant d'utiliser le service proposé de diverses façons et même d'en inventer de nouvelles. C'est probablement une des raisons du succès de l'Internet et du Web. Dans ce cas de figure, on parle de *stratégie*. Celle-ci se définit comme « un ensemble d'actions coordonnées en vue d'atteindre des objectifs ».

EXEMPLE

DÉTOURNEMENT D'USAGE

Une nouvelle technologie fait fureur à l'exposition universelle de Paris de 1881. Elle fut mise au point deux ans plus tôt par le pionnier de l'aviation Clément Ader. Cette technologie permettait à un abonné de recevoir en direct chez lui, via un câble, les programmes de l'Opéra de Paris ou de la Comédie Française pour la somme de 5 francs de l'époque. Il utilisait pour cela des plaques vibrantes qui reproduisaient le son reçu comme un signal électrique.

Ce service connut un engouement et Ader devint multimillionnaire grâce à lui. Mais il périclita avec l'arrivée du phonographe puis de la TSF.

Les utilisateurs retrouvèrent l'usage pour lequel cette technologie fut conçue à l'origine aux Etats-Unis. Le théâtrophone redevint... le téléphone.

COMPRENDRE L'ENVIRONNEMENT

Ainsi, suivant que les événements sont plus ou moins prévisibles, il existe trois grandes méthodes possibles⁵ : la planification, la politique et la stratégie. Aucune n'est la solution. L'important est de comprendre l'environnement dans lequel on se situe pour choisir de façon la plus adéquate la méthode à utiliser. Le développement industriel par exemple suit souvent une logique de planification alors que la stratégie est mieux adaptée à l'innovation. L'objectif de ce texte n'est pas de faire des prévisions sur les technologies de l'avenir, sauf lorsqu'elles sont raisonnablement possibles, mais plutôt de mieux comprendre l'environnement et les interactions dans lesquels se situent les technologies, pour choisir les approches les plus adéquates en fonction des circonstances.

		Prévision pour être plus efficace	Abondance de choix pour faciliter l'adaptation	
Planification	Objectifs	Plan		Bilan
Politique	Objectifs	Plans	Choix	Bilan
Stratégie	Objectifs	Facilitation	Choix	Bilan

Figure 1. Les trois approches.

Que se passe-t-il lorsque l'on emploie une méthode mal adaptée ? Par exemple lorsque l'on cherche à planifier dans un environnement innovant

imprévisible : non seulement le plan est perturbé par des impondérables, mais on manque des « opportunités » qui peuvent survenir.

EFFICACITÉ OU ADAPTABILITÉ ?

Les trois approches donnent des priorités différentes à deux buts apparemment difficilement réconciliables : l'efficacité et l'adaptabilité. Dans un monde stable où la matière première et la main d'œuvre sont rares et chères, la planification telle que décrite par Frederick Winslow Taylor permet d'optimiser l'efficacité des processus en les confiant à des spécialistes. On parle même, dans l'industrie, de... programmeur. Mais lorsque l'environnement est instable et imprévisible, il n'est plus possible de laisser une personne extérieure opérer les choix a priori. Chacun doit s'adapter en temps réel en fonction de ce qui arrive. Il faut alors faire en sorte de disposer d'un maximum de choix pour sélectionner « a posteriori » celui qui se rapprochera le plus des objectifs de départ. Dans ce cas de figure, c'est l'abondance de choix qui permet d'optimiser la démarche. Kjell Nordström et Jonas Ridderstrale écrivent ainsi : « Une diversité accrue réduit généralement la performance moyenne d'un système mais augmente en parallèle sa capacité à dévier »⁶.

DEUX SOLUTIONS

En résumé, lorsque la rareté est une contrainte, il faut pouvoir faire des prévisions pour être efficace. Mais lorsque l'environnement est imprévisible, alors c'est l'abondance de choix qui permet de s'adapter au mieux par la suite.

ET SI C'EST RARE ET IMPRÉVISIBLE ?



Figure 2. Les deux réponses aux deux contraintes.

Il existe donc deux réponses à deux contraintes différentes. Mais que se passe-t-il si l'environnement est rare et imprévisible ? Dans ce cas nous avons un problème car la réponse à chacune des contraintes est antagoniste avec l'autre. Pour résoudre ce problème, il nous faudra supprimer l'une des contraintes.

La solution la plus fréquente consiste à rendre prévisible ce qui était impré-

visible. Cela se fait par exemple au prix de contraindre les utilisateurs à utiliser les produits proposés comme prévu en rendant difficiles les détournements d'usages et les innovations qu'ils engendrent.

Il existe une deuxième façon de résoudre ce dilemme : il s'agit de rendre abondant ce qui était rare. Cette approche peut sembler irréalisable pour notre culture fondée sur la prévision et plus habituée à gérer la rareté. Pourtant, il existe des solutions comme le rappelle le célèbre proverbe de Kuan-Tseu : « *Si tu donnes un poisson à un homme, il se nourrira une fois ; si tu lui apprends à pêcher, il se nourrira toute sa vie.* » Le poisson est une denrée rare. Donnez-le ou mangez-le, et vous ne l'aurez plus. La connaissance, au contraire, se duplique pour devenir de plus en plus abondante.

Nous rencontrerons tout au long de cet ouvrage ces deux approches. Nous rencontrerons aussi parfois des cas où, face au même problème, des hommes ou des organisations ont choisi des réponses différentes ou même antagonistes.

L'IMPRÉVISIBLE

Ce rapport subtil entre rareté, abondance, prévisibilité et imprévisibilité est particulièrement difficile à assimiler. Cela vient de ce que notre civilisation est basée sur la planification. Nous préférons penser que les événements non prévus qui nous arrivent ne sont que des prévisions mal faites et non des événements imprévisibles. Il y a un peu plus de trente ans, John Kenneth Galbraith, économiste diplômé de Harvard et alors conseiller de Kennedy, reconnaissait ce fait : « *Nous possédons un système économique qui, en dépit de son niveau idéologique, est en partie planifié. [...] Dans le capitalisme comme dans le communisme, certains éléments relevaient d'une planification centralisée. Les uns ont pris des décisions, les autres ont obéi, de gré ou de force.* »⁷

LA SCIENCE ET L'IMPRÉVISIBLE

Cette crise de l'imprévisibilité est déjà arrivée au vingtième siècle dans le domaine des sciences. Depuis la Renaissance, la science était devenue expérimentale et Newton donna une vision mécaniste du monde. La science tout entière était tournée vers un seul objectif : la prévision. Toutes les lois mathématiques n'avaient pour but que de calculer le comportement d'un phénomène physique avant même qu'il n'arrive. Le vingtième siècle vit par trois fois cette belle prévisibilité battue en brèche.

La mécanique quantique, au début du siècle, montra que certains phénomènes étaient imprévisibles par nature et qu'il n'était possible de calculer que des probabilités pour que chacune des différentes possibilités arrive.

La théorie du Chaos, plus tard, montra que certains phénomènes étaient excessivement sensibles aux conditions de départ. Une infime variation non mesurable

peut donner des résultats totalement différents. C'est le cas de la météorologie où l'on dit qu'un battement d'aile de papillon en Chine peut donner une tornade en Amérique. C'est également le cas de la psychologie humaine où un événement en apparence sans importance peut entraîner des réactions imprévisibles.

Kurt Gödel⁸, un des plus grands scientifiques du XX^e siècle pourtant inconnu du grand public, démontra en 1931 deux théorèmes qui peuvent se résumer ainsi :

- Il se peut que dans certains cas, on puisse démontrer une chose et son contraire (théorème d'inconsistance) ;
- Il existe des vérités mathématiques qu'il est impossible de confirmer (théorème d'incomplétude).

David Hilbert, le célèbre mathématicien, voulait se suicider en disant que la vie ne valait plus la peine d'être vécue, si on ne pouvait, au moins en théorie, tout contrôler⁹. Une autre conséquence fut que beaucoup préférèrent oublier les théorèmes de Gödel...

Si l'évolution des technologies est parfois à peu près prévisible (nous en verrons des exemples), c'est loin d'être toujours le cas dans un monde toujours plus innovant et où les utilisateurs jouent un rôle de plus en plus grand. Renault, par exemple, valide ses projets de voitures avant de les lancer grâce à une analyse fine de 2000 variables. Ce système n'a cependant jamais pu donner de réponse positive ou négative sur le projet de la Twingo¹⁰.

LA PREMIÈRE CLEF

La planification industrielle est bien connue mais nos stratégies sont souvent moins affirmées dans le cas de l'innovation qui est par nature imprévisible. Pour nous adapter à cet environnement, nous devons préserver une certaine abondance de possibilités en parallèle. Plus de possibilités d'utiliser un produit, plus de possibilités de lui inventer de nouveaux usages et il s'adaptera aux besoins de chacun... même ceux que vous n'aviez pas prévus.

A contrario, il est important de réduire au maximum les chemins critiques qui imposent certains passages obligés. L'abondance est le royaume du parallèle alors que les chaînes de tâches sont souvent critiques et nécessitent une grande efficacité.

Si le monde de la planification et de l'efficacité est bien connu, celui de la facilitation et de l'adaptation l'est moins. Notre première clef nous permettra de comprendre comment nous adapter à ce monde innovant.

1^{re} CLEF : MULTIPLIER LES POSSIBILITÉS

Lorsque l'environnement est imprévisible, multipliez les possibilités et diminuez les éléments critiques pour faciliter l'adaptabilité

DES ARCHITECTURES

Nous allons retrouver cette clef dans de nombreux aspects des technologies. L'Internet, par exemple, multiplie les routes possibles pour éviter qu'aucune ne soit critique. Comme nous l'avons vu, la rupture d'un câble ne doit pas mettre en péril le réseau. Lawrence Lessig dit ainsi¹¹ : « *L'architecture de l'Internet incorpore un certain nombre de valeurs.* » Pour les nouveaux réseaux hauts débits de l'Internet du futur, l'interconnexion s'est d'abord faite de façon centralisée au Startap à Chicago. Cela rend ce nœud d'interconnexion critique et rend chaque pays encore plus dépendant des Etats-Unis. Heureusement, de nouveaux nœuds hauts débits se créent à Tokyo, Amsterdam, en Allemagne et sur d'autres sites aux Etats-Unis. Le réseau doit rester... en réseau pour s'adapter aux nouveaux besoins non prévus au départ, comme il a su le faire jusqu'à présent. Sans doute Winston Churchill avait raison lorsqu'il disait : « *nous commençons par former des structures ; ensuite ce sont elles qui nous forment.* »

LE VOYAGE AU CŒUR DES TECHNOLOGIES

Dans les chapitres suivants, nous allons parcourir les différentes technologies. Nous verrons tout au long de ce premier tome, comment ces différentes approches (prévision ou adaptation) s'appliquent dans les quatre grands domaines des systèmes d'information : le traitement, la communication, la mémoire et les interfaces avec le reste du monde.

Nous commencerons par proposer une carte qui nous permettra de comprendre les relations entre les divers éléments pour obtenir une compréhension plus globale des évolutions et des enjeux. Nous chercherons également à découvrir les niveaux de maturité des diverses technologies à l'aide de trois nouvelles clefs.

EN RÉSUMÉ

Il existe plusieurs approches suivant que l'environnement est plus ou moins prévisible :

		Prévision pour être plus efficace	Abondance de choix pour faciliter l'adaptation	
Planification	Objectifs	Plan		Bilan
Politique	Objectifs	Plans	Choix	Bilan
Stratégie	Objectifs	Facilitations	Choix	Bilan

Ces différentes méthodes s'appliquent en fonction de l'importance de chacune des deux grandes contraintes : la rareté et l'imprévisibilité.

NOTES DE LA PREMIÈRE PARTIE

1. TheAge.com du 20/11/2000 : <http://www.theage.com.au/frontpage/20001120/A64936-2000Nov20.html> et Forbes du 21 novembre 2000 : <http://www.forbes.com/2000/11/21/1121disaster.html>
2. SouthernCross Cable Network : <http://www.southerncrosscables.com>
3. Florent Latrive, *Libération* du 1^{er} décembre 2000, <http://www.liberation.com/multi/actu/20001127/20001201.html>
4. *Shanghai Daily* du 21 mars 2001 et BBC News du 22 mars 2001 : http://news.bbc.co.uk/hi/english/world/asia-pacific/newsid_1235000/1235216.stm
5. Hugh Courtney définit pour sa part quatre niveaux d'incertitude : le futur suffisamment prévisible (une seule vue) ; un choix limité de futurs ; une étendue de futurs possibles ; l'incertitude totale - Hugh Courtney, « Making the most of uncertainty », *The McKinsey Quarterly*, 2001 number 4 : http://www.mckinseyquarterly.com/article_abstract.asp?tk=286469:1128:21&ar=1128&L2=21&L3=37
6. Kjell Nordström et Jonas Ridderstrale, *Funky Business*, Editions Village Mondial, Paris, 2000, p.161.
7. *Ibid.*, p. 108.
8. Voir : <http://godel.multimania.com/theoreme.html> ; *Pour la science*, n°262, août 1999 et *The Kurt Gödel Society* (<http://www.logic.tuwien.ac.at/kgs/home.html>).
9. Jean Staune, « Comment notre vision du monde détermine notre organisation » in *Capital humain*, trois conférences à Limoge, ARD et CARIF Limousin 2000.
10. *Ibid.*
11. Lawrence Lessig, *Code and other laws in the cyberspace*, Basic Books, 1999.

SECONDE PARTIE

VUE D'ENSEMBLE DES TECHNOLOGIES

Quels sont les différents constituants d'un ordinateur ? La question semble triviale, mais y répondre constitue un véritable fil d'Ariane pour un parcours au sein du labyrinthe des nouvelles technologies, comme l'ont montré différents travaux internationaux et européens ¹. L'analyse de l'abondance ou de la rareté des alternatives technologiques possibles, du degré de maturité des diverses technologies, et de l'imprévisibilité de leur rythme de développement éclairera parallèlement les orientations prises par les différents acteurs. Ce voyage dans les technologies actuelles n'oubliera pas pour autant l'informatique de demain, celle qui, encore balbutiante dans les laboratoires, se fonde sur la physique (micro-électronique, optoélectronique...), la biologie et les sciences et technologies de l'information ².

QUATRE DOMAINES

Un système d'information peut être divisé en quatre grands domaines : le traitement, la communication, la mémoire et l'interface. Si ces quatre composantes ont été intégrées depuis longtemps dans les ordinateurs, certaines ont connu une évolution extraordinaire.

Au milieu des années soixante-dix, la croissance régulière du nombre de transistors intégrables dans un même circuit électronique a permis de placer une unité centrale simple (le cœur d'un ordinateur, c'est-à-dire ce qui effectue les calculs de traitement), dans une seule et même puce. Il fut dès lors possible de lancer des « ordinateurs individuels » à bon marché, ouvrant la voie à de nouveaux usages. Aujourd'hui, tous les secteurs de l'informatique sont touchés par l'émergence de la micro-informatique : le CERN (Centre européen pour la recherche nucléaire) utilise ainsi 1 300 PC reliés en réseau pour mener à bien des travaux auparavant effectués par un super-ordinateur.

L'unification des protocoles régissant les réseaux informatiques a entraîné une deuxième révolution des usages : la constitution d'un réseau de réseaux, un « Internet ». De nouveaux usages sont apparus et se sont répandus très largement, surtout au début des années 90 lorsque le Web a rendu aisé l'accès au

réseau pour les non-informaticiens. Aujourd'hui, avec plus de 450 millions de personnes connectées au net ³, l'impact du phénomène sur nos sociétés est devenu évident.

Concernant la mémoire, malgré les fantastiques progrès des circuits intégrés et des disques durs, nous n'avons probablement encore rien vu ! En effet, la forte augmentation des capacités n'a pas encore véritablement franchi certains « seuils d'usage », c'est-à-dire ces étapes qui ouvrent la voie à de nouveaux modes d'utilisation : par exemple, pour stocker l'ensemble d'une vidéothèque personnelle sur un PC, il faut 100 giga-octets (Go), alors qu'un PC récent stocke seulement entre 10 et 60 Go de données. Si un particulier souhaite conserver 25 ans de vidéo, 100 tera-octets (soit 100 000 Go) seront nécessaires ; s'il s'agit de conserver ce qui a été publié en dix ans d'Internet, le chiffre de 100 peta-octets (100 millions de giga-octets) est avancé. La révolution de la mémoire est probablement une des prochaines étapes de l'histoire de l'informatique.

La révolution des usages par les interfaces avec l'utilisateur reste, quant à elle, dans un horizon encore lointain. Si de nouvelles interfaces homme-machine apparaissent à l'état de prototypes, aujourd'hui, c'est plutôt l'homme qui s'adapte à l'ordinateur et non l'inverse. L'adjonction d'une souris au clavier ne modifie pas suffisamment ce rapport. Des progrès ont lieu, notamment dans le traitement de la langue, mais la soumission d'un texte à un traducteur automatique suffit pour mesurer le chemin à parcourir.

EXEMPLE**LA SCIENCE-FICTION ET LA RÉALITÉ**

Dans le film *Star Trek IV. Retour sur Terre* ⁴, l'équipage de l'*Enterprise* traverse le temps et revient au XX^e siècle. Le vulcain Spok s'approche alors d'un ordinateur, saisit la souris et l'approche de ses lèvres en appelant « ordinateur, ordinateur ». Dépit du manque de réponse, il jette la souris en regrettant d'être tombé sur un ordinateur qui ne fonctionne pas.

L'interface utilisateur a encore quelques progrès à faire pour rejoindre l'imagination des auteurs...

UNE RÉVOLUTION

Les quatre domaines de l'informatique semblent ainsi connaître successivement leur révolution. Celle en cours est celle de la communication, qui se prolonge avec l'arrivée prochaine de l'Internet nouvelle génération. La science-fiction semble avoir anticipé ces changements dans un ordre inverse à celui dans lequel ils se produisent. Ainsi, dans le film *2001, l'odyssée de l'espace* ⁵, l'interface entre l'homme et l'ordinateur apparaît très sophistiquée. Celui-ci

comprend parfaitement le langage oral, sait même lire sur les lèvres et possède une large palette de sentiments. Cependant, dans le film, il n'existe qu'un énorme ordinateur très centralisé : pas de trace d'un Palmtop ni du moindre téléphone portable...

Pour ce voyage dans les nouvelles technologies, une carte serait bien utile : pour l'établir, nous placerons, sur un premier axe, les quatre domaines de l'informatique évoqués ; nous y ajouterons, sur un second axe, trois niveaux : le niveau matériel, le niveau « système » et le niveau applicatif. En effet, au-dessus des éléments physiques qui constituent le niveau matériel se trouve une couche système qui en assure le bon fonctionnement. Le troisième niveau comprend les applications logicielles qui donneront toute leur utilité à l'ordinateur. Il serait possible d'introduire d'autres niveaux ou sous-niveaux pour être exhaustif, mais c'est là entrer dans des querelles d'experts peu opératoires.

L'intérêt et la justification de ce découpage résident dans la mise en évidence de fonctions très différentes, qui expliquent les stratégies différentes adoptées par les acteurs :

- la très grande variété du matériel disponible répond à la multitude des besoins. Il n'y aurait aucun sens à imposer les seules imprimantes et à interdire les scanners !
- les applications également sont aussi variées que les besoins des utilisateurs. Ainsi on souhaitera consulter ses messages, surfer sur le Web, dialoguer par la voix et/ou l'image, rédiger un rapport...
- le système a un rôle tout différent : composé de différents éléments (le système d'exploitation de la machine, l'interface utilisateur, les protocoles de base des réseaux...), il est l'ensemble intégrateur qui permet d'utiliser toutes les applications sur tous les matériels. Du fait de ce rôle central, c'est au niveau du système que nous rencontrerons le plus grand nombre de guerres industrielles car « celui qui contrôle la couche système contrôle le marché de l'informatique »...

Pour compléter cette carte, il faut introduire la dimension de l'énergie : elle sort du domaine de l'information pure mais constitue un enjeu important, en particulier pour les utilisations qui requièrent la mobilité.

Nos quatre domaines et nos trois niveaux nous permettent maintenant de dresser une carte des technologies qui nous guidera tout au long de notre exploration.

INTERNET. LES TECHNOLOGIES DE DEMAIN

Applications (exemples)	Calculs scientifiques	Messagerie, web...	Logiciel de gestion des stocks...	Logiciel de 3D...
Système	Système d'exploitation	Internet	Bases de données	Interface utilisateur
Matériel	Processeur	Réseaux	Mémoires fixe et amovible	Périphériques et objets communicants
	Système d'exploitation	Communication	Mémoire	Interfaces
	Energie			

Figure 3. Carte des technologies.

NOTES DE LA SECONDE PARTIE

1. ISO/IEC JTC1/TSG-1 Technical report – Framework and Model, EWOS EG-OSE Open System Environment.
2. Dr Shankar Sastry, directeur au DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), Snapshot of ITO for PITAC 25/2/2000.
3. Voir NUA.com : « How many on line ? » – http://www.nua.com/surveys/how_many_online/index.html
4. Leonard Nimoy (réal.), *Star Trek IV : The Voyage Home*, 1986.
5. Stanley Kubrick (réal.), *2001. A Space Odyssey*, 1968.

TROISIÈME PARTIE

PREMIÈRE VAGUE : LE TRAITEMENT

TROIS NOUVELLES CLEFS

Nous allons aborder notre voyage au cœur des technologies par le domaine du traitement. Les technologies mises en œuvre y sont maintenant plutôt bien maîtrisées et leur évolution est donc à peu près prévisible. Le premier exemple concerne l'évolution des circuits intégrés qui sont à la base du développement des microprocesseurs.

1. ÉVOLUTION DES CIRCUITS INTÉGRÉS ET SEUILS D'USAGES

A. Nombre de transistors dans un circuit intégré

La loi de Moore a été définie en 1965 par Gordon E. Moore, le cofondateur d'Intel, quatre ans après la sortie des premiers circuits intégrés « planars »¹. Elle indique, sur une base purement empirique, que le nombre de transistors intégrés dans une puce double tous les 18 mois. Gordon Moore avait indiqué que ce rythme d'évolution serait soutenu jusqu'en 1997, lorsque la largeur des gravures sur le silicium atteindrait 0,25 micro-mètre (μm). Elle pourrait en fait perdurer au-delà de 2010. Aujourd'hui, elle représente principalement un objectif mobilisateur pour la profession – au prix, du reste, d'investissements colossaux.

Quelques dates marquantes de cette évolution

1956	Premier transistor par Bell : le Tradic ;
1958	Démonstration du premier circuit intégré par Texas Instruments ;
1961	Commercialisation du premier circuit intégré par Fairchild ;
1965	Enoncé de la loi de Moore toujours en vigueur ;
1968	Naissance de la mémoire sur circuit intégré ;
1971	Naissance du micro-processeur sur circuit intégré ;
2001	Intel annonce avoir réussi une première gravure à 0,02 μm .

EXEMPLE **UNE ABONDANCE DE PUISSANCE**
 Une voiture moyenne est aujourd'hui dotée d'une capacité de calcul supérieure à celle de la première fusée Apollo ayant conduit l'homme sur la lune ².
 La puissance d'une carte de vœux jouant Happy Birthday est supérieure à l'ensemble de la puissance informatique qui existait sur terre dans les années 50 ³.

Le tableau et le graphique suivants présentent l'évolution constatée dans les faits, qui s'avère très conforme à la loi de Moore.

Année	Nombre de transistors en milliers		Finesse de gravure en µm	Exemple de processeur	Fréquence en MHz du processeur
	Processeur	Mémoire vive DRAM			
1965					
1971	2,3		10,0	Intel 4004	0,108
1974	6		6,0	Intel 8080	2
1975		4			
1978		16			
1979	29		3,0	Intel 8088	4,77
1979	68			Motorola 68000	
1980		64			
1982	134		1,5	Intel 286	12
1983		256			
1985	275		1,0	I386DX	33
1986		1 000			
1989	1 200		0,8	I486DX	
1990		4 000			
1993	3 100	16 000		Pentium	66
1996		48 000	0,35		
1997	7 500	64 000	0,25	Pentium II	300
1998		146 000			
1999				Pentium III	
2000	42 000	288 000	0,18	Pentium 4	1 000
2001	320 000		0,13	Itanium	
2002		576 000	0,11		
2003		1 128 000	0,09		
2005	400 000	2 256 000	0,07	Prévision Intel	10 000

DRAM : mémoires dynamiques (circuits répétitifs). En fait certaines des mémoires modernes intègrent 1/8 de transistors en plus pour fournir des circuits disposant d'un bit de parité (288 Mbits au lieu de 256 Mbits). Il faut également y ajouter un certain nombre de transistors pour le décodage et la logique (nombre faible en comparaison des transistors dédiés au stockage). Les dates indiquées sont celles du lancement en quantité. Le nombre de circuits vendus est en général à son maximum trois ans plus tard.

Fréquence : plus la gravure est fine, plus la fréquence de fonctionnement du processeur peut être élevée, ce qui constitue un des facteurs de la puissance de traitement d'un processeur parmi d'autres, tels notamment son architecture.

Figure 4. Évolution du nombre de transistors inclus dans un circuit ⁴

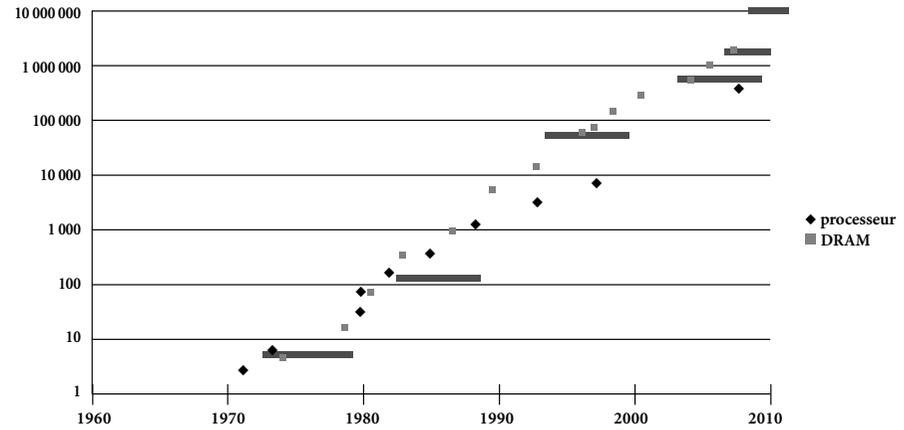


Figure 5. Seuils d'usages.

EN DIRECT DES LABOS

EN ROUTE VERS LES NANOMÈTRES

Fin 2001, la finesse de gravure des circuits intégrés pourrait atteindre 0,13 microns dans les circuits intégrés commercialisés en masse. Le 11 juin 2001, Intel a annoncé avoir développé en laboratoire un transistor d'une taille record de 0,02 microns soit 20 nanomètres ou vingt milliardièmes de mètres ⁵.

B. Seuils d'usages

La courbe de l'intégration des circuits intégrés franchit des seuils à partir desquels des usages nouveaux deviennent possibles ⁶ :

- **5 000 transistors** : l'unité centrale d'un ordinateur fondée sur le traitement des caractères (microprocesseurs 8 bits) : **ordinateurs orientés texte**.
- **200 000 transistors** : l'unité centrale d'un ordinateur fondée sur le traitement des nombres entiers (micro-processeurs 32 bits) : **ordinateurs orientés son et image**.
- **64 millions de transistors** : une mémoire flash de 4 Mo permettant de stocker une dizaine de photos compressées au format JPEG (résolution de 2 millions de pixels compressés avec un rapport 10) : **appareil photo numérique**.

- **500 millions de transistors** : un album musical d'une heure en format MP3 dans une mémoire flash de nouvelle génération (60 Mo à raison de 2 bits par cellule mémoire) : **stockage de la musique sur une carte.**
- **1,6 milliards de transistors** : les fichiers personnels produits en un an (environ 200 Mo) : **carte personnelle pour utiliser sur n'importe quel PC.**
- **4,8 milliards de transistors** : un film au format MPEG-4 (environ 600 Mo) : **films distribués sur carte, caméscope sans bande ni disque.**

C. Les limites de la méthode

La loi de Moore semble assurer un futur prévisible, au moins pour les prochaines années. Ainsi Jean-Paul Colin, directeur du développement d'Intel France, explique : « *Il n'y a rien de révolutionnaire dans les procédés utilisés par les chercheurs d'Intel, ce qui signifie qu'il n'existe aucune inconnue qui nous empêcherait de produire ces processeurs* »⁷. Pourtant, cette méthode d'anticipation des usages se heurte à plusieurs difficultés.

Tout d'abord, la technologie doit être dans la phase de croissance régulière, c'est-à-dire ni trop jeune ni au-delà des limitations physiques nouvelles. Par ailleurs, plusieurs éléments peuvent arriver de façon non prévisible et perturber la prévision.

L'incertitude sur les limites technologiques

Jusqu'où la loi de Gordon Moore s'appliquera-t-elle ? Lui voyait sa fin vers 1997, les experts pensent maintenant à 2013. La technologie des transistors à « double porte » pourrait la prolonger jusqu'en 2025.

La technologie des Extrêmes Ultra-Violet (EUV) mise au point par un consortium de sociétés de semi-conducteurs (Intel, Motorola, AMD, Micron, Infineon et IBM) permet de passer la barre des 0,1 µm et ainsi de graver avec une finesse de 0,03 µm à partir de 2005-2006.

Les ruptures technologiques

Elles permettent de multiplier les résultats, comme dans le cas des mémoires flash qui stockent deux bits par cellule. Elles peuvent aussi complètement transformer la donne comme dans le cas des mémoires holographiques ou des puces quantiques.

EN DIRECT DES LABOS

LES PROCHAINES MÉMOIRES

Une technologie nouvelle permet de stocker deux bits par cellule-mémoire élémentaire dans une mémoire flash, c'est-à-dire de stocker deux fois plus d'informations à nombre égal de transistors. L'arrivée des premiers produits est prévue pour le premier trimestre 2002 (Strataflash chez Intel, Mirror Bit chez AMD⁸). Les mémoires pourraient même admettre un plus grand nombre de bits par cellule⁹, multipliant par quatre puis huit la capacité et accélérant les prévisions ; le caméscope à carte pourrait ainsi voir le jour dès 2005.

Mais déjà d'autres technologies s'annoncent telle la MRAM (Magnetic RAM), une nouvelle mémoire non volatile (comme la mémoire flash) mais très rapide (comme la mémoire dynamique). Elle est développée par IBM et Infineon et pourrait voir le jour en 2004¹⁰. La FeRAM (Ferroelectric Random Access Memory) promet, elle, d'être en plus très bon marché. Développée par Toshiba et Infineon, elle pourrait voir le jour dès 2002.

Les variations de seuils

Les seuils dépendent également de certaines technologies, en particulier des algorithmes de compression. Ainsi, le passage du MPEG-2 au MPEG-4 permet, à qualité égale, de prendre quatre fois moins de place pour le même film. Une même mémoire (flash ou disque) stockera donc un film quatre fois plus long. Ainsi, dans le cas des mémoires flash – dont le développement suit la loi de Moore –, le seuil à partir duquel un film est distribuable sous forme de carte mémoire flash a gagné trois années.

Les aspects politico-économiques

Les aléas politico-économiques constituent une incertitude supplémentaire, pouvant retarder ou bien accélérer l'arrivée de nouveaux usages. Par exemple, les problèmes posés par la gestion des droits d'auteurs pour les contenus numériques sont un facteur qui modifie les dates d'émergence de nouveaux services de façon peu prévisible.

2^e CLEF : TECHNOLOGIES MATURES

Les technologies matures connaissent une croissance assez prévisible ; elles permettent d'anticiper des seuils d'usages.

D. Petite récréation futurologique : combien de puces dans un PC ?

Cet exemple ne prétend pas à l'exactitude mais présente une méthode pour analyser l'évolution du marché des PC. Même situé dans la partie la plus « prévisible », il faut cependant prendre cet exemple avec circonspec-

tion, tant il y a d'inconnues dans le monde des circuits intégrés et plus encore dans le monde des PC.

Du fait des progrès évoqués, un nombre de plus en plus important de transistors est intégré au sein d'une même puce, qui rassemble ainsi un nombre croissant de fonctionnalités. Comment estimer une date de large commercialisation de PC complets sur une seule puce, en prenant en compte l'augmentation des besoins en capacité avec le temps ?

- La taille de la mémoire vive qui s'avère nécessaire ¹¹ dans un micro-ordinateur augmente au rythme des versions de Windows : cette taille double tous les trois ans. Ce rythme reste cependant inférieur à celui de l'intégration des transistors dans une même puce.
- La mémoire vive, composée de transistors comme le processeur et autres circuits intégrés, représente plus de la moitié des transistors contenus dans un PC.
- Par conséquent, l'évolution du nombre de puces mémoires contenues dans un PC donne une bonne indication.

Année	Système	Mémoire d'un PC minimale-confortable	1 circuit intégré DRAM en Mo ¹²	Nombre de circuits intégrés nécessaires
1995	Windows 95	32-64 Mo	2 Mo	16-32 (2 à 4 barrettes)
1998	Windows 98	64-128 Mo	8 Mo	8-16 puces (1 à 2 barrettes)
2001	Windows XP	128-256 Mo	32 Mo	4-8 puces (1 barrette)
2004		256-512 Mo	128 Mo	2-4 puces
2007		512 Mo-1 Go	512 Mo	1-2 puces
2010		1-2 Go	2 Go	0,5-1 puce

Figure 6. Combien de puces pour la mémoire dans un PC demain ? ¹³

Si les choses continuent au même rythme (doublement des capacités tous les dix-huit mois et doublement des besoins tous les trois ans), ce seuil pourrait être atteint d'ici la fin de la décennie.

E. Et après le silicium ?

Les laboratoires s'activent déjà sur les technologies qui remplaceront le silicium pour les circuits du futur.

L'ordinateur quantique, par exemple, utilise une particularité tout à fait intéressante de la mécanique quantique : un atome ou une particule est dans tous

les états possibles simultanément avant qu'on ne mesure son état en le réduisant à l'un d'entre eux. La mesure ne peut pas être prévue de façon absolue, seule la probabilité de mesurer l'objet quantique dans un état peut être évaluée.

Si on imagine qu'un atome au repos représente un 0 et que l'atome excité représente un 1, il sera avant la mesure (suivant les lois étonnantes mais aujourd'hui bien démontrées de la mécanique quantique) dans les deux états en même temps : on parle de q-bits (bits quantiques).

EXEMPLE

10 ATOMES POUR UN ORDINATEUR

Les chercheurs de Los Alamos ont mis au point le premier ordinateur quantique à trois atomes en 1999. Récemment, des chercheurs ont mis au point un ordinateur fonctionnant avec sept atomes et les chercheurs de Los Alamos, toujours, travaillent à un ordinateur qui doit en mettre en œuvre dix ¹⁴.

Si on prend en compte deux atomes au lieu d'un seul, le système peut représenter *simultanément* quatre états avec ses deux q-bits. On peut continuer avec 3 q-bits qui représentent simultanément 8 états ou 56 q-bits qui représentent 64 millions de milliards d'états (l'équivalent de 2⁵⁶ bits) soit le contenu actuel de l'ensemble du Web. Si nous ne savons pas extraire chaque donnée comme dans une mémoire classique, nous savons trier en parallèle toutes ces données et faire « émerger » celle recherchée.

Les ordinateurs quantiques devraient permettre des calculs en parallèle et présenter un grand intérêt par exemple dans le chiffrement (qui utilise la factorisation).

POUR EN SAVOIR PLUS

L'INCROYABLE Q-BIT

L'algorithme de Grover permet d'effectuer un tri en utilisant les propriétés quantiques. Ainsi, le tri de 10 000 objets qui demande 5 000 étapes avec une approche classique, peut être réalisé en seulement 100 étapes avec un ordinateur quantique.

L'ordinateur quantique permet également de réaliser des opérations qui n'ont par leur correspondant dans les ordinateurs binaires classiques. Si on excite un atome avec un photon contenant juste l'énergie nécessaire, il devient excité. Mais si l'atome était déjà excité, alors il revient dans un état non-excité. On a donc réalisé ainsi une porte « NON » suivant la logique de Boole. Mais si on excite un atome avec seulement la moitié de l'énergie nécessaire, il faudra attendre une deuxième excitation identique pour voir basculer l'état de l'atome. On a alors réalisé une porte « racine carré de NON » !

Les nanotechnologies

Une autre approche prometteuse concerne les bio-ordinateurs. Grâce aux nanotechnologies, les chercheurs créent une puce avec de l'ADN connecté à des circuits plus classiques. Cela permet d'étudier en détail comment l'ADN

réagit à une maladie. De ces observations peuvent naître des médicaments... électroniques¹⁵.

Des ingénieurs d'IBM sont parvenus à fabriquer un transistor à l'aide de nanotubes de carbone qui pourraient remplacer le silicium dans la fabrication des puces informatiques et permettre une miniaturisation extrême des ordinateurs. Les nanotubes sont des molécules longues d'un millionième de millimètre¹⁶.

Beaucoup de candidats

Il existe encore d'autres voies telles que les ordinateurs tout optiques. Il n'est pas possible de prévoir quels seront les gagnants parmi ces successeurs du silicium – voire même de nouvelles technologies qui pourraient émerger dans les prochaines années. Mais l'innovation est par nature imprévisible !

2. L'ÉVOLUTION DES TECHNOLOGIES VERS L'OUVERTURE : L'EXEMPLE DES SYSTÈMES D'EXPLOITATION

Lorsqu'une technologie est peu mature, sa croissance n'est pas régulière. Quelle que soit l'étape en cours du processus de maturation, son passage à l'étape supérieure, sa stagnation voire sa régression restent difficiles à prévoir avec certitude. Il faut alors connaître les différents cas de figures possibles et se préparer à chacun d'eux. C'est donc précisément le cas où la méthode de la politique industrielle décrite en introduction s'applique : plusieurs plans sont élaborés pour s'adapter ensuite à celle des possibilités qui se réalise.

A. L'exemple du système Unix : cinq étapes vers l'ouverture

L'histoire (très abrégée) du système d'exploitation Unix est exemplaire pour appréhender les différentes étapes par lesquelles passe une technologie de l'innovation à la maturité.

L'innovation

Au commencement, il y a une idée... Deux chercheurs des Bell Labs, Ken Thompson et Dennis Ritchies, ont l'idée de développer un nouveau système d'exploitation, écrit non pas dans le langage de la machine (chaque type de machine disposant de son propre langage) mais dans un langage de plus haut niveau développé par Dennis Ritchies : le langage B, puis le langage C. Comme le système d'exploitation gère le fonctionnement de l'ordinateur, il est cependant nécessaire d'avoir quelques lignes de code

écrites dans le langage de la machine en question. Dans la première version d'Unix, sur les 13 000 lignes de code, seules 800 étaient en langage machine. Grâce à cette écriture dans un langage de haut niveau commun à plusieurs ordinateurs, il devenait possible avec très peu d'adaptation de faire tourner le même système d'exploitation sur des machines très différentes et jusque-là incompatibles. C'est la première étape du chemin : l'innovation.

Systèmes propriétaires

Lorsqu'une idée est bonne, elle est en générale copiée. C'est pourquoi éclôt un grand nombre de versions d'Unix, chacune ajoutant de nouvelles fonctionnalités et diminuant ainsi la compatibilité entre elles (Unix System, BSD, Xenix, Unix SCO puis AIX, Sun OS, HP-UX...). C'est l'étape des systèmes dits « propriétaires » : nombre de produits existent et sont en général incompatibles entre eux.

Standard de fait

Lorsqu'ont été ajoutées la plupart des fonctionnalités souhaitables, les différents produits propriétaires finissent par se ressembler. Advient alors une phase de concentration, qui s'achève quand ne subsiste qu'un petit nombre de produits qui font référence, voire qu'un seul : on parle alors de standard de fait. Dans le monde Unix, l'accord s'est fait autour de Unix System V d'AT&T et, dans les milieux universitaires, autour de BSD 4.2 réalisé par l'université de Berkeley.

Spécifications publiques

Cependant, le club des utilisateurs d'Unix (le « /usr/group »), lassé des versions incompatibles d'Unix, a l'idée de proposer une spécification de l'interface entre le système d'exploitation et les applications : le « /usr/group standard ». Les systèmes d'exploitation qui respectent l'interface décrite dans ce document sont capables d'exécuter les mêmes applications même si les techniques mises en œuvre à l'intérieur du système sont différentes. Nous sommes passés de produits standards à une interface standard. Le gain est immense, car il ouvre la possibilité de rendre de nombreux produits compatibles entre eux et donc de laisser à l'utilisateur le choix de son fournisseur, et même d'en changer. L'interface développée par le /usr/group fut reprise par le célèbre IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) sous la référence IEEE 1003.1, plus connue sous le nom de POSIX (Portable Operating System Interface for computer environment).

Une norme

Toutefois, il arrive que des spécifications publiques concurrentes émergent et scindent le marché en deux parties incompatibles. C'est ce qui s'est passé pour des spécifications plus larges qui intègrent de nombreux outils et de nouvelles fonctionnalités au système d'exploitation. Si une première intégration a été acceptée de tous après avoir été réalisée par X/Open (devenu depuis The Open Group) plusieurs industriels souhaitèrent intégrer encore plus d'outils et arrivèrent à deux consortiums opposés : OSF (Open Software Foundation) et Unix International. Il en résulta deux jeux de spécifications... incompatibles. Pour éviter cette nouvelle concurrence, il faut que la spécification publique, l'interface standard, soit reprise par un organisme plus officiel qui a pour tâche d'assurer l'unicité de la spécification adoptée. On parle alors de norme. L'interface POSIX fut ainsi officiellement adoptée comme norme internationale sous le nom ISO/IEC 9945-1 par l'ISO (International Organization for Standardization).

Et après ?

Que se passe-t-il ensuite ? Le cycle peut reprendre pour proposer de nouvelles extensions (par exemple des options de POSIX pour la sécurité, le temps réel, etc.). Des produits entièrement nouveaux peuvent même apparaître : ainsi le système Linux développé sous forme de logiciel libre, est compatible avec POSIX ; devenu à son tour un standard de fait, les industriels commencent à assurer la compatibilité de leurs systèmes Unix avec lui. Il arrive aussi qu'une norme ne soit pas adoptée par les utilisateurs au bénéfice de spécifications moins officielles : la plupart des normes OSI (Open System Interconnexion) connurent ce destin en raison du succès rencontré par les spécifications publiques de l'Internet développées par l'IETF.

ORGANISMES DE STANDARD

Les organismes de normalisation formels sont constitués de représentants des Etats.

Il en existe trois :

- L'ISO (Comité international de normalisation) normalise dans presque tous les domaines : du pas de vis aux... préservatifs.
- L'IEC ou CEI (Commission Electrotechnique Internationale) : en charge de l'électronique et de l'électrotechnique comme son nom l'indique. Elle a monté un comité joint avec l'ISO pour traiter de l'informatique (ISO/IEC JTC1).
- L'ITU ou UIT (Union Internationale des Télécommunications). Elle travaille avec certains groupes de travail du JTC1 pour des aspects à la rencontre de l'informatique et des télécommunications.

Les organismes de standardisation (qui produisent les spécifications publiques pour les standards d'interface) sont très nombreux : certains ne traitent qu'un secteur très spécialisé, d'autres couvrent de vastes champs. La plupart est constituée de représentants de sociétés.

- Le W3C (World Wide Web Consortium) travaille principalement sur les formats du Web tels que HTML, XML...
- L'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) couvre de vastes champs de l'informatique tels que POSIX, les réseaux locaux ou les calculs en virgule flottante.
- Le 3GPP (3rd Generation Partnership Project) travaille sur la standardisation de l'UMTS.
- Le 3GPP2 (3rd Generation Partnership Project 2) travaille sur l'autre standard pour les mobiles de 3^e génération : le cdma2000.
- L'IETF (Internet Engineering Task Force) standardise les protocoles de l'Internet. Il présente la particularité de n'être pas constitué de « représentants officiels » des sociétés mais d'experts individuels.
- L'Icann (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers) n'est pas à proprement parler un organisme de standardisation technique. Il gère les noms de domaine Internet et les numéros IP. Sa particularité réside dans une représentation très complexe constituée principalement de sociétés, mais aussi d'Etats au travers du « Governmental Advisory Committee » et de particuliers avec le comité « At Large ».

B. Les cinq étapes de l'ouverture

On peut définir un système ouvert comme un système composé d'éléments qui communiquent entre eux et avec l'extérieur à travers des interfaces standards ¹⁷. Nous avons vu les cinq étapes qui mènent de l'innovation vers la maturité : l'*innovation* ; les *produits propriétaires* ; les *standards de fait* ; les *spécifications publiques* ; la *norme*.

Compatibilité de produits ou d'interfaces

Les deux dernières étapes (spécifications publiques et normes) revêtent une importance toute particulière, car la spécification des interfaces assure la compatibilité des produits. Dès lors, dans une économie traditionnellement dirigée par l'offre, la demande exprimée par l'utilisateur dans ses choix, retrouve enfin sa place.

Bien sûr la compatibilité est parfois assurée par l'intermédiaire d'un produit standard : des applications peuvent tourner sur diverses machines grâce par exemple à un système d'exploitation commun à ces machines, tel que Windows de Microsoft. Mais ce produit standard devient alors un passage obligé et l'utilisateur, s'il peut choisir sa machine et son application, reste captif du système d'exploitation et de son fournisseur.

Cependant, prévoir à quelle étape d'ouverture se trouvera une technologie demain reste souvent impossible. Elle peut franchir une nouvelle étape, stagner ou même régresser. Il faut être capable de s'adapter à chacune des situations, même si les utilisateurs peuvent pousser vers une ouverture plus grande dans leur propre intérêt. La vraie question consiste ainsi à savoir évaluer à tout moment le degré de maturité d'une technologie pour adapter sa stratégie.

3^e CLEF : TECHNOLOGIES EN PLEIN ESSOR

Les technologies en plein essor connaissent un degré plus ou moins avancé d'ouverture :

Innovation
Propriétaire
Standard de fait
Spécification publique (interface standard)
Norme

Le passage d'une étape à l'autre dépend de nombreux facteurs difficilement prévisibles.

3. LES LIMITATIONS ACTUELLES ET L'INNOVATION

A. Les limitations actuelles

Si les technologies dans le domaine du traitement sont ou matures ou dans le chemin vers la maturité, reste-t-il encore une place pour de réelles inventions ?

On sait faire

Pour le savoir, il faut regarder ce qu'un ordinateur sait bien faire et ce sur quoi il est encore limité. Dans le domaine des ordinateurs individuels, la puissance atteint un tel niveau que toute machine actuellement en vente, même de bas de gamme, est suffisamment puissante pour des usages classiques tels que la bureautique. La gamme juste supérieure ouvre le monde de la vidéo : lire un DVD par exemple, ou même effectuer du montage vidéo. Enfin, dans le domaine des jeux, les images sont maintenant créées en temps réel au gré des réactions de l'utilisateur avec un réalisme époustouflant ; c'est cependant un processeur graphique 3D spécialisé qui est sollicité afin de soulager le processeur central.

On saura faire

Cependant, le niveau atteint aujourd'hui est encore limité dans certains domaines, tels que la reconnaissance de la parole ou la traduction en temps réel : elles demandent en effet une puissance importante et des algorithmes élaborés pour atteindre un certain degré de compréhension du texte traité. Les progrès prochains en termes de puissance devraient également permettre de créer en temps réel, non plus des images animées, mais une véritable intégration de vidéos et d'images : c'est la promesse de la norme MPEG-4 qui, comme expliqué ultérieurement, autorise la construction en temps réel d'un film qui intègre des éléments de vidéos et d'images. Les premiers essais montrent la nécessité aujourd'hui d'une machine surpuissante... qui deviendra très probablement l'entrée de gamme dans peu de temps.

Une nouvelle frontière

Le traitement pourrait fortement évoluer en rapprochant le fonctionnement des machines de celui du cerveau humain. L'enjeu n'est plus la puissance, mais un changement des règles fondamentales de fonctionnement. Pablo Picasso disait ainsi : « *Les ordinateurs sont inutiles car ils ne peuvent nous apporter que des réponses* »¹⁸. Des informations parcellaires et parfois contradictoires semblent montrer que certains chercheurs se sont lancés dans la course à la réalisation d'un cerveau artificiel ayant les mêmes capacités que le cerveau humain¹⁹. Alain Cardon²⁰, comme d'autres spécialistes de l'intelligence artificielle, estime qu'avec les bases méthodologiques adéquates, cet objectif est à portée avec un investissement relativement modeste.

La simulation

La simulation reste un domaine toujours avide de puissance. Dans un monde fondé sur la prévision, la recherche en vue de modéliser, de simuler et finalement de prévoir, touche des domaines de plus en plus larges, absorbant une quantité toujours plus importante de données. Ici, la course à la puissance ne connaîtra pas de terme. En météorologie par exemple, l'amélioration des prévisions nécessite un maillage toujours plus serré de la planète. Dans une simulation, des calculs en général plutôt simples sont appliqués un très grand nombre de fois. Dès lors il est imaginable de connecter de nombreux calculateurs plutôt que de construire un super-calculateur : c'est le principe fondamental du Grid.

B. Le Grid ou $1 + 1 = 1$

Le Grid

Lorsqu'est branché un appareil électrique, l'énergie nécessaire est immédiatement disponible, dans la limite comprise dans l'abonnement au fournisseur d'électricité. Derrière cette simplicité se cachent des centrales qui produisent l'électricité alimentant un réseau global. Ce même principe a été appliqué à la puissance de calcul avec le concept du Grid (ou grille en français). Plusieurs ordinateurs alimentent un réseau pour fournir une puissance globale indifférenciée. Chacun dispose dès lors de la puissance nécessaire au moment souhaité, dans la limite des capacités des « centrales de calcul » et probablement, à l'avenir, dans la limite de son abonnement au fournisseur de puissance de calcul.

Des premières applications

Les premiers intéressés par ce concept sont les chercheurs, toujours en mal d'énormes puissances de calcul. Il existe des premiers projets tels que le réseau Grid américain, qui devrait rassembler au troisième trimestre 2002, 3 300 serveurs dotés du nouveau processeur Itanium d'Intel et répartis dans quatre centres de calcul aux Etats-Unis. Les premiers chiffres sont éloquentes : une puissance de 13,6 tera-flops (13 000 milliards d'opérations en virgule flottante par seconde), un débit pour les échanges de 5 gigaoctets/s et une mémoire totale de 600 tera-octets.

EN DIRECT DES LABOS

LE GRID EN EUROPE

En Europe, le CERN (Centre européen pour la recherche nucléaire) pilote un projet européen doté de 9,8 millions d'euros nommé « Datagrid ». Le chiffre des 1 300 ordinateurs déjà interconnectés sera porté à 10 000 puis à 20 000 en 2006. Le Datagrid a pour objectif de gérer des flux de données très importants, jusqu'à 100 peta-octets (100 millions de milliards d'octets).

Le projet Eurogrid, piloté par l'Idris (Institut de développement et de ressources en informatique du CNRS), se concentre sur les calculs complexes. Outre le centre Idris de Montpellier, il rassemble plus d'une dizaine de centres de calcul universitaires. Les machines utilisées par Eurogrid sont moins nombreuses mais plus puissantes. L'Idris dispose ainsi depuis l'année dernière du plus gros ordinateur Nec du monde et d'une machine IBM d'une capacité mémoire d'1 peta-octet (1 million de milliards d'octets).

Utiliser les ordinateurs des internautes

Alors que les projets précédents concernent seulement la communauté scientifique, peut-on imaginer d'utiliser aussi les centaines de millions de

machines actuellement reliées à l'Internet ? C'est l'objet du projet SETI²¹ (Search for Extraterrestrial Intelligence) qui cherche la trace d'une intelligence extraterrestre dans les signaux reçus sur notre planète. Chaque personne désireuse de participer télécharge un petit programme qui utilise l'ordinateur pendant les moments inoccupés, en lieu et place d'un classique économiseur d'écran ; est effectuée à chaque fois une petite partie des calculs, dont les résultats sont envoyés au centre de recherche lors de la connexion suivante. Les 2,6 millions d'internautes qui participent font bénéficier les chercheurs de 1 000 années de calcul... par jour.

EXEMPLE

UN OCÉAN PARTAGÉ

Recourant à la technologie *peer-to-peer*, le programme DaliWorld²² (Distributed artificial life) poursuit, lui, un objectif ludique. En créant un océan peuplé d'une vie sous-marine artificielle, les concepteurs du projet tissent un message à la fois poétique et écologique. Il suffit de télécharger un petit logiciel qui transforme votre bureau en aquarium - en fait une fraction d'un cyber-océan. Le participant choisit un poisson virtuel, doté de sa propre personnalité. Chaque aquarium est relié aux autres, et votre poisson se balade, d'un ordinateur à l'autre. Chaque poisson possède une fiche contenant son identité, sa provenance, son créateur, et les disques durs dans lesquels il a déjà séjourné.

C. Faciliter l'innovation

Innovation = création + acceptation

L'innovation ne se limite pas à la seule créativité. Norbert Alter²³ décrit les différentes étapes du processus d'innovation. Au départ, le créateur est rejeté par ceux qu'il appelle les « conservateurs » (qui peuvent parfaitement être d'autres créateurs), car sa nouvelle idée modifie l'ordre établi. Lorsque le rejet de la nouvelle création devient impossible, les conservateurs se l'approprient et bâtissent un nouveau paradigme qu'ils protégeront par la suite de toute nouvelle modification. À cette étape, le créateur se sent alors souvent dépossédé. L'innovation passe ainsi par deux étapes, à la fois imprévisibles et en apparence incompatibles entre elles : une création, puis l'acceptation par les pairs ou la société.

La créativité

La première étape, la création, est imprévisible par nature. Ainsi, le Viagra fut découvert alors que les chercheurs essayaient de mettre au point un traitement contre l'hypertension²⁴. Mais s'il est impossible de planifier la créativité, elle peut néanmoins se faciliter :

- Plus on est nombreux, plus il y a de création. Ainsi pour se préserver de la concurrence, le groupe Procter & Gamble emploie davantage de scientifiques que les universités de Harvard, de Berkeley et du MIT réunies ²⁵.
- Les petites équipes sont plus créatives que les grandes ²⁶. Il faut donc favoriser la multiplication des petites équipes et donner une chance aux créateurs individuels.
- Laisser les utilisateurs, toujours plus nombreux que les développeurs, créer et mettre en œuvre de nouvelles idées.
- La diversité facilite énormément la créativité ; John Kao ²⁷, expert en créativité propose l'équation suivante : créativité = diversité ?
- J. Galbraith ²⁸ a montré la nécessité des moments de relâche et donc du besoin de disposer de temps pour créer. Les chercheurs de 3M peuvent ainsi consacrer jusqu'à 15 % de leur temps à leurs propres projets. Cette politique est surnommée « la politique pirate ». Art Fry, inventeur du Post-It, explique : « *Le but est de lancer autant d'idées que possible car une seule sur 1 000 pourra peut-être se concrétiser* » ²⁹.

Plutôt que de mettre en place un département innovation, il convient de favoriser une « innovation généralisée » qui concerne chaque personne de l'entreprise, voire même ses clients et fournisseurs.

Nous avons quitté le domaine de la rareté et de la planification et nous sommes entrés en plein dans le domaine de l'imprévisible. Pour s'adapter au mieux, nous devons multiplier les possibilités pour bénéficier d'une abondance de choix.

L'échec

Par ailleurs, les échecs ne doivent plus être vus comme un élément négatif, car diminuer le nombre d'échecs n'augmente pas celui des réussites, au contraire :

Albert Yu, vice-président directeur d'Intel explique : « *L'échec fait partie de la culture d'innovation. Acceptez ce fait pour devenir plus fort* » ³⁰. Jack Welch de General Electric insiste lui aussi sur l'aspect non négatif de l'échec : « *En punissant l'échec, vous êtes sûr de dissuader tout le monde d'essayer. L'apprentissage le plus intensif a généralement lieu lors d'échecs et non lorsque nous réussissons* » ³¹.

Nous pouvons maintenant présenter notre quatrième clef qui s'applique aux technologies en phase d'innovation, lorsque plus rien ne devient prévisible.

4^e CLEF : INNOVATION

*L'innovation nécessite une création et une acceptation.
L'innovation ne se planifie pas mais on peut faciliter son abondance.*

Bien sûr, l'innovation ne se limite pas à la technologie. Le processus est le même pour l'innovation dans le domaine de l'organisation, des modèles économiques ou de la relation avec les utilisateurs.

EN RÉSUMÉ

Il faut connaître le niveau de maturité des technologies pour définir une stratégie adaptée.

- Pour l'innovation, il faut favoriser l'abondance.
- Pour les technologies en essor, il faut connaître leur degré d'ouverture.
- Pour les technologies matures, il faut anticiper les seuils d'usage.

NOTES DE LA TROISIÈME PARTIE

1. *Cramming More Components Onto Integrated Circuits*, Gordon E. Moore 1965.
2. S. Davis et B. Davidson, *2020 Vision : Transform your business today to succeed in tomorrow's economy*, Simon & Schuster, New York, 1991. Cité par Kjell Nordström et Jonas Ridderstrale, *Funky Business*, Editions Village Mondial, Paris, 2000, p. 43.
3. D. Tapscott, *The Digital Economy : Promise and peril in the age of networked intelligence*, Mc Graw-Hill, New York, 1996. Cité par Kjell Nordström et Jonas Ridderstrale, *Funky Business*, Editions Village Mondial, Paris, 2000, p. 43.

4. Sources : <http://developper.intel.com> et Moore's Law © 2001 Intel Corporation
5. Source : <http://www.intel.com/pressroom/archive/releases/20010611tech.htm>
6. Les seuils proposés sont des valeurs approximatives.
7. Cf. *Le Monde Informatique*, n°882, 8 février 2001, à propos des annonces des processeurs à 10 GHz en 2005 incorporant 400 millions de transistors.
8. Annonce du 16 mai 2001 : <http://www.amd.com/news/prodpr/21092.html>
9. Suivant une analyse de Geek.com
10. <http://www.ibm.com/news/2000/12/073.phtml>
11. Nous n'entrerons pas dans le débat portant sur la pertinence de la croissance des besoins en mémoire vive.
12. Il faut multiplier la taille de la mémoire par 8 ou maintenant 9 pour avoir une approximation du nombre de transistors dans le circuit intégré (un bit occupe un transistor, le neuvième bit représentant un bit de parité).
13. Nous nous sommes attachés ici aux systèmes de la gamme grand public. Ceux-ci convergent avec la gamme professionnelle avec l'arrivée de Windows XP. Windows Millenium n'a pas été pris en compte car il peut être considéré comme un système de transition. Il nécessite une mémoire comparable à celle de Windows 98.
14. Voir <http://www.fing.org/index.php?num=1135,4> et le site de Los Alamos, pour l'état des expérimentations sur les ordinateurs quantiques : <http://qso.lanl.gov/qc/exp.html>
15. Voir <http://www.fing.org/index.php?num=574> ainsi que le rapport *Societal impacts of nanotech* : <http://itri.loyola.edu/nano/societalimpact/nanosi.pdf>. Voir également sur Nanodot.org : *News and Discussion of Coming Technologies* - <http://www.nanodot.org>
16. Voir <http://www.fing.org/index.php?num=1225>
17. *Guide des acteurs des systèmes ouverts*, Association Française des Utilisateurs d'Unix et des systèmes ouverts 1992 et Jean-Michel Cornu, *Les systèmes ouverts, guide de l'achat public*, Commission Centrale des Marchés – Comité Interministériel de l'Informatique et de la Bureautique dans l'Administration, Editions AFNOR, Paris 1992
18. Finley M., *Technocrazed : The businessperson's guide to controlling technology-before it controls you*, Peterson's/Pacesetter Books, Princeton, New Jersey, 1995.
19. L'agence Interfax, citée par *Automates Intelligents* de Jean-Paul Baquias et Christophe Jaquemin : http://www.automatesintelligents.com/biblionet/2001/mar/a_cardon.html
20. Alain Cardon, *Conscience artificielle et systèmes adaptatifs*, Eyrolles, décembre 1999, 384 pages, cité dans *Automates Intelligents* de Jean-Paul Baquias et Christophe Jaquemin : http://www.automatesintelligents.com/interviews/2001/avr/a_cardon.html
21. Projet SETI@home : <http://setiathome.ssl.berkeley.edu>
22. Lettre de la FING n° 62 18/9/2001 : <http://www.fing.org/index.php?num=2009,4>
23. Norbert Alter, *L'innovation ordinaire*, PUF, coll. Sociologies, 2000, 288 pages.
24. Kjell Nordström et Jonas Ridderstrale, *Funky Business*, Editions Village Mondial, Paris, 2000, p. 192.
25. *Ibid.*, p. 77
26. N. Nicholson, « How hardwired is human behavior ? », *Harvard Business Review*, juillet-août 1998.
27. John Kao, *Organiser la créativité*, Village Mondial, Paris, 1998.
28. J. Galbraith, *Designing Complex Organizations*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1973 et *Organization Design*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1977.
29. S. Crainer, *The 75 Greatest Management Decisions*, Amacom, New York, 1999 in Kjell Nordström et Jonas Ridderstrale, *Funky Business*, Editions Village Mondial, Paris, 2000, p. 197.
20. Kjell Nordström et Jonas Ridderstrale, *Funky Business*, Editions Village Mondial, Paris, 2000, p. 193.
31. *Ibid.*, p. 196.

QUATRIÈME PARTIE

DEUXIÈME VAGUE : LA COMMUNICATION

LE TÉLÉPHONE ET LES MOBILES

L'évolution du nombre des appareils communicants est particulièrement éloquent : cent vingt-quatre ans après l'invention du téléphone, on compte aujourd'hui un milliard de postes.

Le téléphone mobile a connu une croissance plus extraordinaire encore : de 400 millions de téléphones mobiles en 1999, à 690 millions en 2000 et probablement 760 millions en 2005 ¹. L'Europe arrive en tête de ce marché avec 250 millions d'appareils, suivie de l'Asie avec 200 millions et l'Amérique avec 160 millions. La croissance est aussi très forte dans les pays en voie de développement.

EXEMPLE

LES MOBILES EN AFRIQUE DU SUD ²

Si 87 % des Blancs disposent du téléphone fixe, la proportion tombe à 32% chez les Noirs. En revanche, du fait des prix bon marché des téléphones mobiles et des cartes de communication prépayées, les chiffres concernant la téléphonie mobile sont sensiblement différents. La communauté noire se montre par ailleurs très friande de SMS.

L'INTERNET

Concernant l'Internet, 330 millions de postes étaient connectés fin 2000 et 510 millions fin août 2001 selon la NUA ³. Toutefois, il ne faut pas confondre nombre de postes connectés et nombre de personnes utilisant directement ou indirectement l'Internet, comme cela sera expliqué ultérieurement.

LES « OBJETS INTELLIGENTS »

Plus étonnant encore, le nombre de contrôleurs embarqués se chiffrait à 5 milliards fin 2000 et devrait atteindre 8 milliards en 2002, soit plus que la population humaine de la planète. Les « objets intelligents » qui les renferment deviendront rapidement des « objets communicants » dont, du reste, les besoins en communication différeront de ceux des hommes.

Une règle, appelée « loi de Metcalfe », indique que la valeur d'un réseau est proportionnelle au carré du nombre de ses utilisateurs. Si vous êtes le seul

sur la planète à disposer d'un téléphone, son intérêt sera purement décoratif ! D'où l'intérêt particulier de l'Internet, car sa mise en place a permis d'interconnecter des réseaux préexistants. Mais la croissance du nombre d'utilisateurs amène à s'interroger sur les moyens nécessaires pour faire communiquer tous ces appareils.

Pour répondre à cette question, nous regarderons d'abord les cœurs de réseaux et les « dorsales » (les grandes artères de l'Internet), puis les réseaux d'accès (que sont la boucle locale et les réseaux mobiles) et enfin les réseaux locaux.

1. LES DORSALES ET LE DWDM

A. Evolution des débits des fibres optiques

La vitesse de transmission dans les fibres optiques utilisées dans les dorsales du réseau suit une évolution comparable à celle des circuits intégrés.

Les technologies Wavelength Division Multiplexing (WDM) puis de Dense WDM ⁴ augmentent la capacité d'un signal dans une fibre optique mais permettent également de transmettre un nombre croissant de signaux : le multiplexage par longueur d'onde consiste en effet à donner à chacun des signaux une fréquence (une couleur) différente ; le WDM porte sur un nombre restreint de couleurs et le DWDM sur un plus grand nombre.

La capacité d'un signal dans la fibre optique double tous les 18 mois alors que le nombre de couleurs que l'on peut transmettre simultanément double tous les 12 mois, avec une limite théorique actuellement fixée à 1 022 longueurs d'ondes.

Figure 7. Évolution du débit des fibres optiques ⁵

Time Division Multiplexing		
Année	Transmission en Mbits/s	Technologie
	1,5	T1 (US) = DS1 sur signal électrique
	44,7	T3 (US) = DS3 sur signal électrique
	51,8	Sonet OC1 (US) avec TDM (time division multiplexing)
1996	155,5	Sonet OC-3 (US) ou SDH STM-1 (EU)
1997	622	Sonet OC-12 (US) ou SDH STM-4 (EU)
1998	2 500	Sonet OC-48 (US) ou SDH STM-16 (EU)
1997	9 900	Sonet OC-192 (US) ou SDH STM-64 (EU)
2002	39 800	Sonet OC-768 (US) ou SDH STM-768 (EU)

Wavelength Division Multiplexing		
2000	1 600 000	DWDM 10 Gbits/s X 160 (classique 32 couleurs) Multiplexage de 160 signaux OC-192
2001	3 200 000	DWDM 10 Gbits/s X 320 (classique 80 couleurs) Multiplexage de 320 signaux OC-192

EXEMPLE

QUELLE CAPACITÉ POUR L'INTERNET ?

La capacité disponible grâce aux nouvelles fibres optiques est-elle adaptée au trafic actuel de l'Internet ? Alcatel disposait en décembre 2001 de la fibre optique la plus rapide du monde ⁶. D'une longueur de 6 850 Km elle offre un débit de 3,6 TBits/s (365 longueurs d'ondes en OC-192.) Les laboratoires Bell considèrent que la croissance des débits pourrait aller jusqu'à 100 TBits/s pour une fibre ⁷.

Lawrence G. Roberts et Cindy Crump de Caspian Networks ont évalué le trafic moyen de l'Internet ⁸ à 240 Gbits/s pour avril 2001 avec un débit multiplié chaque année par un facteur entre 2,8 et 4. On pourrait donc estimer un débit maximal de 700 Gbits/s en ce début 2002.

Si on compare la capacité des fibres optiques au trafic de l'ensemble de l'Internet on constate qu'une seule fibre de nouvelle génération suffirait à transmettre cinq fois l'ensemble du trafic (bien sûr, plusieurs de ces fibres sont en réalité nécessaires pour répartir ce flux sur la planète).

B. Etendue du réseau de fibres optiques

Les fibres optiques

Si une seule fibre optique peut absorber le trafic entier de l'Internet, a-t-on suffisamment de longueur de fibres optiques disponible pour amener le haut débit partout ?

Le réseau de fibre optique est particulièrement étendu sur la planète : en 2000, Nortel, leader dans les liens OC-192 (10 Gbits/s) avait installé 19,2 millions de kilomètres de fibre optique, soit 480 fois la circonférence de la planète.

EXEMPLE

DES FIBRES TOUTES PROCHES ?

On estimait fin 1998 à 37 millions de kilomètres la longueur de fibre optique déployée et l'accroissement est estimé à 500 fois cette longueur d'ici 2002 ⁹.

Faisons un petit calcul approximatif : imaginons un maillage régulier en fibre optique sur l'ensemble des terres émergées de la planète réalisé avec l'ensemble des fibres optiques disponibles sur la planète en 1998. Quelle serait la largeur de chaque maille ? Réponse : 3,5 Km ¹⁰ ! Il faudra tout de même conserver 1% de la longueur de la fibre pour ajouter quelques câbles transocéaniques...

Avec les chiffres annoncés pour 2002, on pourrait constituer un maillage très serré de la planète. En théorie... car les fibres sont posées en priorité dans les endroits « rentables » : connexions transatlantiques et pays développés plutôt que dans le désert... ¹¹

L'impact d'une telle surcapacité est déjà visible sur les coûts des appels téléphoniques transatlantiques. En 1930, un appel téléphonique de trois minutes entre New York et Londres coûtait environ 1 500 francs (en francs courants de 1990). Trente ans plus tard, le même appel ne coûtait plus que 300 francs et aujourd'hui, il est quasiment gratuit ¹².

C. Alors pourquoi a-t-on encore des problèmes de débit ?

Même si l'Internet repose sur de nombreuses fibres optiques reliant différents points du globe, il faut aussi compter avec divers goulets d'étranglement. Cela montre que le problème ne se situe pas sur les nouvelles dorsales en fibre optique, ce que confirment de nombreuses données sur leur taux d'occupation.

La capacité exploitée

Tout semble montrer que la bande passante réellement exploitée est bien plus faible que la capacité disponible. Les 175 Gbits/s de débit réellement utilisés dans les connexions transatlantiques ne représentent qu'un tiers de la capacité totale, et cette part tombera à un cinquième seulement avec les capacités disponibles en 2002 ¹³.

Tim Stronge, directeur de la recherche à Telegeography explique : « Cette énorme différence nous donne une indication que les projections fondées sur les besoins en réservation de réseau n'offrent qu'une vision partielle. Les capacités achetées mais non utilisées influencent également fortement l'équation de la demande. Les fournisseurs d'accès ont tendance à acheter de la bande passante en excès pour un ensemble de raisons, telles que la redondance des réseaux et les longs délais nécessaires pour réserver de nouvelles capacités » ¹⁴.

D'autres freins

Plusieurs difficultés subsistent cependant :

- Toute l'infrastructure des dorsales n'a pas encore basculé en DWDM et même les dorsales DWDM n'ont pas forcément été conçues spécifiquement pour les protocoles Internet : l'IP natif sur DWDM est en effet très récent ;
- Les réseaux intermédiaires (entre la boucle locale et les dorsales optiques) constituent parfois de véritables goulots d'étranglement. Un seul « tronçon faible » entre un serveur Web et un ordinateur suffit pour ralentir la consultation du site en question ;
- Les routeurs sont submergés : les paquets à gérer sont de plus en plus nombreux, tout comme les adresses ; les tables de routage, ces annuaires

- d'adresses qu'utilisent les routeurs, deviennent gigantesques ;
- Pour rapatrier une page Web sur un ordinateur, il faut de nombreux échanges avec :
 - le DNS racine ;
 - le DNS du TLD (Top Level Domain Name) ;
 - le DNS secondaire pour accéder au numéro IP ;
 - un très grand nombre de routeurs pour trouver le chemin dans toutes les tables de routage.
- Les accords de peering (échanges de trafic entre les opérateurs) sont parfois de mauvaise foi. Pour transporter des données entre deux fournisseurs français, les chemins sont parfois très détournés.

Le Dr Shankar Sastry, de l'agence militaire américaine DARPA indique : « WDM approche de la maturité. Cependant les protocoles de réseau optiques pour WDM sur IP ne sont pas prêts actuellement : routage, contrôle des congestions, administration de réseau » ¹⁵.

POUR EN SAVOIR PLUS

DES ROUTES TOUTES PRÊTES...

Des solutions adaptées au cœur de réseau existent : elles consistent à remplacer le routage (pour chaque paquet reçu, le routeur cherche à définir une route) par la commutation (les routes sont préparées et il s'agit simplement de commuter les paquets vers la bonne sortie).

Selon le protocole MPLS ¹⁶ par exemple, des routes sont prédéfinies entre les différents points d'accès à un cœur de réseau. Chacun des « commutateurs » peut alors orienter les paquets en fonction d'une « étiquette », sans avoir à établir une route à chaque fois.

La technologie DWDM permet elle aussi d'optimiser la commutation. Chaque route utilisant une des couleurs transmises dans la fibre optique, des commutateurs purement optiques peuvent diriger les signaux d'une couleur en entrée directement vers la bonne sortie en fonction d'une route préétablie.

Georges Gilder, héraut de la fibre noire (la fibre optique nue proposée sans équipement et sans un opérateur dédié) explique même : « Nous pouvons remplacer les 7 couches des réseaux intelligents par un réseau "sans couches", beaucoup plus simple et beaucoup plus rapide. Laissons les messages se promener librement et demandons aux machines situées aux extrémités du réseau de s'occuper d'eux. Dans l'océan de la bande passante abondante, quiconque veut boire a juste besoin d'inventer sa propre bouteille. » ¹⁷

D. Et après ? Le futur des commutateurs et des fibres optiques

Commutateurs optiques et soliton

Les premiers commutateurs tout optiques voient le jour, tel celui d'Accellight Networks qui permet des débits de 1,3 Tbits/s ¹⁸. On envisage de multiplier vers 2002 la vitesse de l'Internet en remplaçant l'électronique par des

systèmes « tout optique » grâce à un nouveau matériau, un verre dopé par du sélénium de praséodyme : les amplificateurs optiques imaginés laissent entrevoir un débit de 10 Tbits/s¹⁹...

Du côté des fibres optiques, les capacités s'acheminent vers 10 Tbits/s, soit 12 millions de connexions ADSL simultanées à plein débit ou 200 millions de communications téléphoniques !

EN DIRECT DES LABOS

LE SOLITON

L'après-DWDM est déjà assuré avec le Soliton.

Lorsqu'on lance un caillou dans un lac, un ensemble d'ondes concentriques s'éloigne du point d'impact. Mais une petite claquette très sèche dans l'eau provoque non plus un « train d'ondes », mais une onde unique nommée « soliton »²⁰. Ces vagues uniques provoquent des raz-de-marée lorsqu'elles sont créées par un brusque tremblement de terre sous-marin. Au Japon, pays familier du phénomène, elles sont appelées « tsunamis ».

Les ondes électromagnétiques telles que la lumière fonctionnent sur un mode très proche : utiliser les solitons dans les fibres optiques rendrait possible des débits de 50 Tbits/s (soit plus de 6 000 Go par seconde).

L'immense capacité

À quoi peuvent donc servir de telles capacités ? Là encore, l'abondance croissante d'un élément permet de franchir de nouveaux seuils d'usages. Dans le réseau canadien CA*net3, on teste le stockage de données non plus dans des mémoires, mais en les mettant en circulation dans une boucle optique à travers le pays. Leur disponibilité est ainsi rendue presque immédiate dans tous les lieux connectés à la boucle optique²¹.

2. LES RÉSEAUX D'ACCÈS

Pour constituer un réseau routier, les autoroutes ne suffisent pas. Des routes d'importance variable irriguent le pays jusqu'aux zones les plus reculées. De même vont les réseaux informatiques : les dorsales et les cœurs de réseau desservent différents types d'infrastructures jusqu'aux réseaux d'accès. Habituellement, la boucle locale (accès par les ordinateurs) est distinguée des réseaux mobiles (surtout utilisés pour la téléphonie aujourd'hui). Cette classification établit une séparation entre le monde informatique et celui des télécommunications. Pourtant, données et voix emprunteront de plus en plus fréquemment les mêmes infrastructures.

Par choix, un terme générique – les réseaux d'accès – sera utilisé, mais trois catégories seront distinguées :

- Les réseaux filaires relient des installations fixes au réseau ;
- Les liaisons sans fil concernent également les postes fixes ;
- Les réseaux mobiles permettent le déplacement des terminaux.

A. Les réseaux filaires

Jusqu'à une date récente, deux moyens existaient pour connecter un ordinateur ou un réseau d'entreprise au reste du réseau :

Les liaisons téléphoniques et les liaisons spécialisées

- Les liaisons téléphoniques sont les plus fréquentes dans les accès à domicile. L'accès est intermittent (le temps de la connexion téléphonique), à bas débit (56 Kbits/s en réception et jusqu'à 48 Kbits/s en émission pour la récente norme V92²²). Le Réseau Numérique à Intégration de Services (RNIS, ou ISDN), proposé en France sous la marque Numéris, a permis une augmentation de ce débit grâce à des lignes entièrement numérisées. La connexion reste cependant non-permanente.
- Les liaisons spécialisées relient de façon permanente un réseau d'entreprise au réseau d'un autre établissement ou à un fournisseur d'accès.

Le choix s'est considérablement enrichi, autour de quatre principales technologies filaires d'accès :

La famille xDSL

La famille xDSL (Digital Subscriber Line) utilise les lignes téléphoniques : les données sont transmises simultanément à la voix, mais sur des fréquences différentes. La connexion Internet étant facturée au forfait, l'utilisateur reste connecté de façon permanente.

POUR EN SAVOIR PLUS

LA FAMILLE xDSL

Il existe de nombreux membres de la famille xDSL, parmi lesquels :

- La version la plus connue est l'ADSL, qui permet une connexion asymétrique de 640 Kbits en réception sur les offres Nettissimo 1 de France Telecom avec un débit maximal possible théorique de 8 Mbits/s lorsque la distance est inférieure à 2 Km du central téléphonique. Un ADSL Lite existe également, limité à 128 Kbits/s (1,5 Mbits/s en théorie) ; le RADSL (Rate Adaptive) permet au modem de se configurer pour s'adapter automatiquement à la qualité de la ligne.
- L'HDLS offre une connexion symétrique, c'est-à-dire avec un débit équivalent en réception et en émission grâce à trois lignes téléphoniques (typiquement 1,5 Mbits/s avec un maximum de 2 Mbits/s). Une variante sur une seule paire de cuivre existe également.

- Le SDSL est une évolution du HDSL ne nécessitant qu'une seule ligne téléphonique pour un débit maximal de 768 KBits/s. Variante nouvellement ratifiée (mars 2001), le SHDSL permet des débits maximums situés entre 192 KBits/s et 2,3 MBits/s.
- Le VDSL offre les débits les plus élevés sur une liaison limitée à 1,3 km : de 16 à 48 MBits/s avec un maximum théorique de 51,8 MBits/s. La société Frontier on Line le commercialisa en France la première.
- L'IDSL est une mise en œuvre du xDSL sur le RNIS (ISDN en anglais), avec des débits limités à 128 Kbits/s par accès de base.

Le CPL-Access

Une autre technique utilise un autre réseau existant qui dessert la quasi-totalité des habitations : le réseau électrique. Inventé par le groupe suisse Ascom, ce mode d'accès est nommé CPL-Access (Courant Porteur en Ligne ou PLC, *Power Line Communication*). La bande passante atteint 2 Mbits/s, à partager entre les habitations connectées au même transformateur, soit 150 foyers environ. Cependant, la distance maximale au transformateur électrique reste pour l'instant limitée à 320 m.

EXEMPLE

LES EXPÉRIMENTATIONS DU CPL

Après des premières expérimentations décevantes menées en 1997 en Grande-Bretagne par Norweb (Nortel allié à United Utilities), l'accès par le réseau électrique est commercialisé depuis le 1er juillet 2001 en Allemagne à Mülheim et Essen par RWE Powerline²³ et pourrait être étendu à toute la Ruhr.

En France, des expérimentations furent d'abord menées dans un collège de Saint-Lô²⁴ puis à Strasbourg depuis le début 2001 avec des débits de 1 à 2 Mbits/s ; toutefois, la législation empêche pour l'instant EDF, l'opérateur électrique national, de commercialiser autre chose que de l'électricité.

Le câbleTV

Le câble (cableTV) permet également, outre la diffusion de télévision, d'accéder aux réseaux de données. Avec plus de deux millions de prises installées en France, il couvre une population urbaine avec des débits de 4 Mbits/s en réception et 1,5 Mbits/s en émission. Il cible principalement les particuliers.

Le MAN

Le MAN (Metropolitan Area Network, réseau métropolitain) relie, pour sa part, certains points particuliers de la ville à haut débit (entreprise, mairie, écoles, lieux publics...). Il s'agit d'un réseau local étendu (une « plaque métropolitaine » au niveau d'une ville ou d'un ensemble de quelques villes²⁵).

POUR EN SAVOIR PLUS

LES « PON »

Les Réseaux Optiques Passifs²⁶ (Passive Optical Networks – PON) sont une technologie émergente pour réaliser des réseaux optiques à moindre coût entre un site central et des sites clients. Il s'agit d'un réseau optique sans éléments actifs si ce n'est aux extrémités.

La Fibre optique dans un PON peut arriver jusqu'aux armoires de répartitions (FTTC – *Fiber To The Curb*, la fin du parcours s'effectuant en VDSL), les immeubles (FTTB – *Fiber to The Building*) ou jusqu'aux appartements (FTTH – *Fiber To The Home*).

Les protocoles utilisés sont souvent l'ATM ou même l'Ethernet (EPON), mais les technologies WDM pourraient rapidement être mises en œuvre.

B. Les liaisons sans fil depuis un poste fixe

Il existe plusieurs technologies sans fil adaptées à l'interconnexion des postes fixes. Chacune recouvre des besoins différents :

- Les systèmes de diffusion ne sont en général pas considérés comme des réseaux d'accès mais plutôt comme un moyen de diffusion de données à sens unique sur des canaux jusqu'ici réservés à la télévision ou à la radio numérique. Ils nécessitent, pour être interactifs, une voie de retour, bien souvent un simple modem sur une ligne téléphonique. Les systèmes de diffusion comprennent : le satellite (DVB – Digital Video Broadcasting), la future télévision numérique terrestre (TNT), et la radio numérique (DAB – Digital Audio Broadcasting)
- La Boucle Locale Radio (BLR ou WLL « Wireless Local Loop »), permet une véritable interconnexion bidirectionnelle entre un émetteur/récepteur principal et un ensemble de petites antennes fixes pointant vers lui.

POUR EN SAVOIR PLUS

LA BOUCLE LOCALE RADIO

Deux bandes de fréquences sont utilisées pour la boucle radio :

La bande de fréquence des 3,5 GHz est attribuée à deux opérateurs nationaux (FirstMark Communication France et Squadran – anciennement Fortel). Cette fréquence utilise une technologie appelée MMDS (Multi-channel, Multi-point Distribution System). Elle permet des zones de couverture de quelques kilomètres à une dizaine de kilomètres. Elle est plus particulièrement adaptée aux zones de faible densité.

La bande de fréquence des 26 GHz est attribuée non seulement à ces deux opérateurs nationaux mais également à deux autres opérateurs pour chacune des 22 régions et des quatre départements d'outre-mer. On utilise sur cette fréquence la technologie LMDS (Local Multi-point Distribution System). Les débits sont plus élevés mais la couverture plus faible, limitée à 4 Km. Cette technologie est donc réservée aux zones urbaines de plus forte densité. Comme la précédente, cette fréquence permet des architectures du type « point à multipoints »

mais également des architectures de type « point à point » pour interconnecter deux équipements.

La première expérimentation a eu lieu à Felletin (Creuse).

- L'interconnexion laser ²⁷ est typiquement une architecture point à point. Elle permet des débits de 10 Gbits/s en recourant à la technologie DWDM et bientôt 80 Gbits ²⁸. La largeur du faisceau de 2 m assure qu'un être vivant peut le traverser sans risque pour les yeux. Sa portée de 5 km le cantonne à des interconnexions locales, contrairement à la fibre optique.
- Des connexions satellite bidirectionnelles avec des postes fixes existent. Les réseaux satellitaires couvrent de larges zones et permettent à l'utilisateur ou au village isolé un accès direct.

POUR EN SAVOIR PLUS

LES LIAISONS SATELLITE

Il existe trois types de satellites ²⁹ actuellement utilisés :

Les satellites géostationnaires (GEO – *Geosynchronous Earth Orbit*) placés à une altitude de 35 800 km, tournent exactement à la même vitesse que la Terre et paraissent donc fixes dans le ciel. Un ou plusieurs satellites assurent une couverture mondiale (Intelsat ou Inmarsat), continentale (par exemple Eutelsat) ou même nationale (par exemple Telecom 1 et 2).

- Les satellites d'orbite moyenne (MEO – *Medium Earth Orbit*), situés entre 1 500 et 6 500 km d'altitude, effectuent le tour de la Terre en 2 à 12 heures. Les équipements nécessaires sont de puissance moindre et les délais de transmission plus courts. Les surfaces au sol couvertes restent cependant plus larges que celles des satellites en couche basse, permettant la mise en place de constellations avec un nombre réduit de satellites ³⁰.
- Les satellites en orbite basse (LEO – *Low Earth Orbit*), situés entre 644 et 2 500 km d'altitude, effectuent des rotations rapides autour de la Terre. Une constellation destinée à couvrir la planète entière requiert au minimum entre 48 et 66 satellites de ce type. Mais leur proximité du sol permet des délais de transmission beaucoup plus courts (30 milli-secondes) autorisant des interactions en temps réel ³¹. Malgré les difficultés rencontrées par les constellations Iridium et Globalstar, d'autres projets se préparent tels que Skybridge (80 satellites en 2004) et Teledesic (288 satellites en 2005 sur les 800 du projet initial). Outre le relais entre un point d'accès au sol et les antennes des utilisateurs, Teledesic devrait également permettre la commutation inter-satellites : un véritable « Internet dans le ciel ».

EXEMPLE

RÉSEAUX SATELLITES BIDIRECTIONNELS

La technologie VSAT (*Very Small Aperture Terminal*) repose sur une station principale et des micro-stations (antennes paraboliques de 0,90 à 1,80 m). La bande passante est alors louée sur un satellite. Plusieurs dizaines d'opérateurs utilisent une technologie VSAT. Elle est couramment utilisée par les grands reporters dans le monde.

Cette technologie a été adaptée pour l'accès à l'Internet par Tachyon ³². Commercialisée en France par Primus Telecommunications France ³³, elle utilise les satellites géostationnaires Eutelsat.

De leur côté, France Telecom et Europe*Star ont lancé une joint-venture : Stelcat. Un satellite sera lancé en avril 2002, couvrant l'Europe, l'Afrique et le Moyen Orient (10 répéteurs en bande C et 35 en bande Ku ³⁴). Il permettra des services bidirectionnels par satellite avec une antenne de 1 m de diamètre et une puissance d'émission de 2 W seulement.

EN DIRECT DES LABOS

LES PICO-SATELLITES

L'agence militaire américaine DARPA a réussi un essai de communication avec des « pico-satellites » pesant environ 200 grammes chacun ³⁵.

C. Les réseaux mobiles

Les réseaux mobiles autorisent non seulement la communication sans fil, mais également en déplacement. La troisième génération de téléphones mobiles en préparation se fonde principalement sur les technologies concurrentes UMTS, EDGE et cdma2000. Les réseaux mobiles permettent des communications terrestres ou satellitaires.

POUR EN SAVOIR PLUS

ET 1, ET 2, ET 3 GÉNÉRATIONS !

Après la 1^{re} génération de téléphones analogiques (les Radiocom 2000 par exemple en France), sont apparues les normes dites de deuxième génération (2G) permettant la téléphonie mobile en numérique : le GSM (majoritaire dans le monde et utilisé en France), TDMA, cdma1 et PDC. Ces normes, mal adaptées à la transmission de données, obligent à coder les données dans le signal téléphonique. Le débit est limité à 9 600 bits/s.

Une évolution du GSM partage la bande passante entre le signal téléphonique et les données : le GPRS (*General Packet Radio Service*), en cours de lancement en France au début 2002. Les débits théoriques sont compris entre 40 Kbits/s et 115 Kbits/s suivant le type de codage (CS1, CS2, CS3, CS4) et le nombre d'emplacements radios utilisés pour les données (entre 1 et 8 *timeslots*). On parle de deuxième génération et demie (2,5 G).

Une troisième génération de mobiles (les « mobiles 3G ») est en préparation. Fondée sur un ensemble de normes définies par l'Union internationale des télécommunications, appelé IMT-2000 : trois normes pour le cœur de réseau et cinq normes pour l'interface radio.

On trouve en fait 5 déclinaisons des normes 3G :

- Le DECT, réservé aux combinés sans fil reliés à des téléphones fixes, mais inclus dans IMT-2000.
- « Les » UMTS définis par le 3GPP. L'UMTS existe sous deux variantes malheureusement incompatibles : le W-CDMA ou Utra-FDD, choisi par l'Europe et le Japon ; et le TD-SCDMA ou Utra-TDD, choisi par la Chine. L'UMTS est une évolution du GSM et du TDMA, mais incompatible avec eux. Il faut donc affecter de nouvelles fréquences pour déployer l'UMTS.
- Le cdma2000 choisi par les Etats-Unis et défini par le 3GPP2. Il s'agit d'une évolution du cdma1.
- TDMA-EDGE (*Enhanced Data Rate for GSM Evolution*). Bien qu'il s'agisse d'une

évolution du GSM-GPRS compatible avec ce dernier, il semble pourtant plus particulièrement promu par le clan TDMA³⁶. Grâce à une modulation quadratique, les débits théoriques atteignent jusqu'à 384 Kbits/s, tout en restant compatibles avec les réseaux GSM existants. Le 3GPP a décidé récemment d'inclure EDGE dans les standards qu'il développe.

Attention cependant, les débits sont à partager avec l'ensemble des personnes utilisant simultanément leur mobile dans la même cellule³⁷.

EN DIRECT DES LABOS

LE FUTUR DES MOBILES

Plusieurs évolutions préparent le futur des réseaux d'accès haut débit. La quatrième génération de mobiles est prévue pour 2010 environ avec des débits de 10 Mbits/s³⁸.

Une autre approche existe, issue des technologies militaires : les réseaux « ad hoc »³⁹.

Dans un réseau mobile classique, une partie reste fixe : les antennes d'émission/réception qui permettent de constituer les cellules reliant les mobiles au reste du monde. Dans le cas des réseaux ad hoc, il n'existe plus de relais fixe. Le signal est propagé de proche en proche, les autres postes mobiles situés sur le parcours servant de relais. Cette technologie est particulièrement adaptée aux axes routiers où les flux de voitures dans chaque sens peuvent transmettre les informations sans nécessiter aucune infrastructure pré-existante. Il devient même possible d'y ajouter automatiquement des informations utiles telles que la distance avec les autres véhicules et l'état du trafic...

Peut-être est-ce ces développements qui ont fait dire à Michael Dell que seule la télépathie faisait mieux que l'Internet !

3. LES RÉSEAUX LOCAUX

Les réseaux locaux couvrent des surfaces plus petites que les réseaux d'accès (un établissement, une maison...). Là encore, la distinction entre réseaux filaires et réseaux sans fils est pertinente.

A. Les réseaux locaux filaires

Deux grandes orientations existent :

- Les réseaux locaux classiques largement utilisés en entreprise, sur cuivre ou sur fibre optique. Le marché est aujourd'hui dominé par la norme Ethernet⁴⁰ avec des débits théoriques de 1 Gbits/s. Les premiers produits atteignant 10 Gbits/s sortent en ce début 2002. Le protocole Ethernet a également étendu son champ d'action vers les réseaux métropolitains et même les réseaux longue distance.
- Les courants porteurs en ligne (CPL-In House). Le réseau électrique, s'il pose encore des problèmes comme réseau d'accès⁴¹, est bien adapté à la mise en place d'un réseau local à la maison, d'autant qu'aucun câblage

supplémentaire n'est nécessaire. Les débits atteignent 1 à 2 Mbits, voire aujourd'hui 12 à 15 Mbits/s et, à partir de 2003, 25 Mbits/s.

B. Les Réseaux locaux radio-électriques

Les Réseaux locaux radio-électriques (RLR, ou en anglais : WLAN – *Wireless Local Area Networks*) permettent de s'affranchir du câblage des bâtiments. Plusieurs types de réseaux sans fil se concurrencent :

- Les réseaux d'interconnexions de périphériques (PAN – *Personal Area Network*) sont représentés par la technologie Bluetooth. Elle permet d'interconnecter 8 éléments sans fil avec un débit théorique de 781 Kbits/s, une consommation comprise entre 1 et 100 mW et une portée de quelques mètres : l'objectif défini est d'obtenir des consommations de 0,1 mW avec un coût de 5 \$. Ce réseau fonctionne dans la bande des 2,4 GHz et est développé par le Bluetooth SIG⁴². Il existe cependant des problèmes de compatibilité entre les produits Bluetooth commercialisés par des fournisseurs différents. Cependant, la nouvelle version Bluetooth 2 souhaite se positionner dans le domaine des réseaux locaux avec un débit théorique de 10 Mbits/s.
- IEEE 802.11b est maintenant commercialisé sous le label Wi-Fi (*Wireless Fidelity*). Ce standard de réseau sans fil au débit maximal de 11 Mbits/s se développe extrêmement rapidement. Il utilise la même bande de fréquence que le Bluetooth, celle des 2,4 GHz⁴³. La puissance d'émission de 100mW permet des portées de plusieurs centaines de mètres. Cependant, cette bande de fréquence est réservée en France à l'armée, jusqu'en 2004. L'ART a négocié une tolérance pour utiliser cette fréquence en intérieur avec des puissances de 10 ou 100 mW suivant la plage de fréquence⁴⁴.
- HomeRF est plus particulièrement positionné sur le marché domestique. Il permet de mettre en place des communications de données sans fil mais également une liaison DECT pour transporter la voix⁴⁵. Le succès actuel du Wi-Fi a tendance à éclipser le standard HomeRF.
- Hiperlan I est une version européenne du standard IEEE 802.11. Quoiqu'utilisant la même couche physique, ces deux standards ne sont cependant pas compatibles. Cette première version d'Hiperlan n'a pas rencontré de succès.

DES WLAN À HAUT DÉBIT

De nouveaux réseaux sans fil se préparent avec des débits plus importants :

- IEEE 802.11a permet d'atteindre des débits de 20 à 50 Mbits/s et utilise la bande de fréquence entre 5,2 et 5,8 GHz.
- Hiperlan II, son concurrent européen, se positionne sur les mêmes débits et les mêmes fréquences.
- IEEE 802.11g vient juste d'être défini. Ce standard devrait permettre des débits de 54 Mbits/s en conservant la fréquence de 2,4 GHz.

4. LA MOBILITÉ : RÉSEAUX 3G OU RLR ?

Il peut sembler étonnant de comparer les réseaux sans fil à portée limitée et les réseaux mobiles 3G destinés à couvrir les parties urbaines du territoire. Pourtant les zones de recouvrement existent :

Les réseaux 3G et les RLR

- Pour permettre des débits suffisants avec l'UMTS en zone urbaine, la taille des cellules (la zone de couverture de chaque antenne fixe) doit être réduite, car les personnes présentes dans une même cellule partagent la bande passante offerte par cette antenne. Si le GSM permet des cellules de 15 Km de rayon, l'UMTS devrait se concentrer sur des micro-cellules de 500 m, voire des pico-cellules de 100 m dans les zones denses telles que les hôtels et les aéroports.
- L'IEEE 802.11, avec une antenne omnidirectionnelle peut couvrir une zone jusqu'à 900 m. Avec une antenne directionnelle, il est possible d'atteindre 25 ou 30 Km et même plus avec des antennes amplifiées. Mais la pose d'antenne extérieure en zone publique reste interdite en France. De plus, il devient possible, grâce aux travaux de la WECA⁴⁶, de passer en continu (sans déconnexion) d'une cellule à l'autre d'un Réseau local radio-électrique.

La vraie différence est dans l'approche

Les zones de recouvrement des technologies des mobiles 3G et des réseaux sans fil sont donc plus importantes qu'on ne l'imagine au premier abord. Mais une différence fondamentale subsiste : l'approche adoptée pour leur mise en œuvre.

- Les opérateurs de télécommunication ont adopté une démarche du haut vers le bas (*top down*), privilégiant la planification pour utiliser le plus

efficacement possible la denrée rare que représentent les fréquences disponibles, quitte à brider la créativité des utilisateurs en les empêchant de créer eux-mêmes leurs propres services et leurs pages personnelles. Dans cette démarche classique de réduction de l'incertitude, le terminal de type téléphonique est fortement privilégié.

- Des mouvements se développent pour proposer des accès Internet sans fil dans les lieux publics. Leur caractère spontané et local relève d'une approche de bas vers le haut (*bottom up*), basée sur l'imprévisibilité, qui s'adapte au mieux aux besoins du fait de l'abondance des expériences menées. Dans ce cas, de nombreux autres terminaux sont utilisés (Laptop, Palmtop, ou... le téléphone mobile.)

Deux contraintes se présentent dans ce véritable cas d'école : la rareté des fréquences et l'imprévisibilité des réactions des utilisateurs. Deux types d'acteurs ont résolu ce dilemme de façon opposée : les opérateurs de téléphonie ont cherché à réduire l'incertitude et privilégié la planification comme réponse à la rareté, tandis que les acteurs des RLR publics ont cherché à répondre avant tout à l'incertitude par une abondance d'acteurs et de solutions réactives et non planifiées.

DES RÉSEAUX SANS FIL PUBLICS

Des premiers réseaux MAN sans fil libres se mettent en place à Seattle, San Francisco, Londres, Berlin ou... Paris

Les « Metropolitan Area Network » (MAN) libres arrivent en France et en Europe. Initié en juin 2000 à Seattle par une bande de « copains », le réseau Seattle Wireless compte aujourd'hui plusieurs centaines d'antennes relais disséminées dans la ville. Le but : offrir un réseau haut débit, sans fil, gratuit et libre d'accès. Ce MAN fonctionne avec des antennes-relais qui interconnectent des nodes (« nœuds »). Il utilise la norme 802.11b (WI-FI) et la fréquence libre des 2,4 GHz. Une simple carte réseau permet ensuite de connecter votre ordinateur portable au réseau local. Même s'il n'est pas forcément connecté à l'Internet, ce réseau permet, dans la zone de couverture, de jouer, d'échanger des images ou des vidéos avec des voisins, de la famille... À la taille d'un quartier, l'intérêt peut apparaître limité, mais à la taille d'une ville comme Seattle, le projet prend une autre allure. L'idée de copier ce « Metropolitan Area Network » (MAN) s'est très vite répandue. En France, un site est déjà né (<http://www.wireless-fr.org>) et plusieurs projets de MAN sont en cours à Albertville, Perpignan et Paris. Dans la capitale, un projet baptisé SpeKa Network, soutenu par le collectif de hackers Hash group, est en cours de développement⁴⁷.

Des réseaux commerciaux sans fil commencent également à apparaître.

La société suédoise Telia a lancé en juin 2001 un nouveau service nommé HomeRun. Il permet, à partir d'un abonnement unique, d'accéder à l'Internet depuis des réseaux sans fil installés dans les lieux publics (aéroports, hôtels, cafés, gares et centres de conférence)⁴⁸.

Après que la chaîne de cafés Starbucks ait (avec Mobile Star) généralisé l'accès sans fil à l'Internet dans ses établissements, le fournisseur d'accès Surf and Sip propose la même chose aux cafés indépendants de plusieurs villes américaines⁴⁹.

Bluetooth connaît également ses premiers réseaux publics.

Après les cyber cafés, voici les Bluetooth bars ! Depuis la fin août, les habitants de la capitale japonaise peuvent se rendre dans deux cafés équipés de la connexion Bluetooth et surfer sur l'Internet avec des appareils nomades⁵⁰.

La confrontation entre les deux approches peut conduire aux deux scénarios suivants : un scénario catastrophe serait l'apparition de « jardins clos », un scénario optimiste serait un Internet « sans couture ».

A. Un scénario catastrophe : les jardins clos (*Walled Gardens*)⁵¹

Dans un premier scénario, les opérateurs, pour protéger leurs lourds investissements planifiés de longue date, réinventent des services spécifiques aux nouveaux mobiles 3G. Même s'ils utilisent les mêmes protocoles de base que l'Internet, ils créent un « jardin clos » avec une claire séparation entre d'une part, le monde Internet insuffisamment rentable et trop imprévisible et, d'autre part, le monde des mobiles 3G permettant de rentabiliser les investissements avec un degré réduit d'incertitude.

Dans le cas du WAP par exemple, les offreurs de services sont « sélectionnés » par les opérateurs. Les home-pages personnelles ne sont pas favorisées car elles pourraient offrir des services de façon incontrôlables aux « consommateurs ».

Un aspect-clé de ce scénario réside dans la répartition des terminaux : le téléphone mobile deviendrait le terminal unique à tout faire, à l'intérieur du jardin clos que constituerait le monde des mobiles. Au-dehors existerait un monde que l'on ne veut pas voir, où l'interconnexion des ordinateurs passe par des réseaux fixes classiques.

EXEMPLE

UN TÉLÉPHONE À TOUT FAIRE

Dans la gare de Melbourne en Australie, les propriétaires de téléphone portable Telstra peuvent payer leur Coca avec un coup de fil. Il leur suffit de composer un numéro et la canette de Soda tombe automatiquement dans le distributeur. Le prix de la boisson est débité sur la facture téléphonique⁵².

De tels « jardins clos » ressemblent à une forteresse. Des portes existent mais elles sont sévèrement gardées. Pourtant, aucune ligne Maginot n'est infranchissable. Des Palmtops disposent déjà d'extensions pour les réseaux sans fil et pour les réseaux mobiles. Les terminaux informatiques s'essaient à la voix sur IP et des opérateurs WAP alternatifs offrent déjà des bouquets plus

étendus incluant un accès au reste de l'Internet. Aussi, loin de protéger les investissements, une telle politique pourrait conduire à avoir des utilisateurs... surtout à l'extérieur des murailles⁵³.

B. Un scénario optimiste : le sans couture (*seamless*)

Faire cohabiter deux approches opposées n'est pas facile ; chacune se concentre sur une des contraintes de la mobilité : la rareté des ressources de fréquence ou l'imprévisibilité des utilisateurs et de l'innovation.

La plupart des conflits dans le monde de l'information relèvent du choc des cultures (planification a priori ou choix a posteriori dans une abondance de solutions). Mais, parfois, deux approches en apparence irréconciliables peuvent s'avérer complémentaires et leur réunion harmonieuse ouvre de nouvelles possibilités.

EN DIRECT DES LABOS

COMMENT FAIRE LA MAYONNAISE ?

Il est impossible de mélanger certaines matières⁵⁴. Pourtant, additionner deux substances incompatibles peut parfois, dans des conditions très particulières, donner naissance à une nouvelle matière. C'est le cas de la mayonnaise qui émerge de l'huile et de l'œuf qui ne peuvent pourtant pas se mélanger.

« Le grand secret de la mayonnaise : l'œuf et l'huile doivent être exactement à la même température. L'idéal : 15°C. Ce qui liera en fait les deux ingrédients, ce seront les minuscules bulles d'air qu'on y aura introduites juste en les battant. 1+1=3. »

Un tel mélange improbable existe également en peinture. La *tempera* consiste à mélanger de l'eau, du jaune d'œuf et des pigments colorés. Dans la peinture à l'huile au contraire, l'œuf est remplacé par de l'huile. Bien que l'on attribue souvent, à tort, cette innovation au peintre flamand Jan Van Eyck qui vécut au XV^e siècle, celui-ci reste cependant un brillant expérimentateur. Pour la peinture sur bois, il eut l'idée de combiner l'huile avec un diluant plus fluide que l'eau : l'œuf. Ce mélange huile, blanc d'œuf et pigments colorés sera un des secrets de l'art des primitifs flamands⁵⁵.

Dans un scénario optimiste, on peut imaginer un ensemble de réseaux où il est possible de commencer un travail en ligne sur WLAN dans une zone d'habitation dense (par exemple un hôtel) et de la prolonger de façon continue en ville (passage sur un réseau mobile terrestre) voire à la campagne (réseau satellitaire). Dans ce cas, on passerait non seulement d'un réseau à l'autre sans s'en rendre compte, mais également d'un terminal à un autre en continu.

Scénario – Une visioconférence « sans couture »

Monsieur Martin est confortablement installé à son bureau. Sur son ordinateur, il est en communication visiophonique avec Nigel Bucks, un de ses partenaires américains qu'il doit prochainement retrouver. Ils en profitent

pour échanger quelques points de vue sur leurs prochains projets grâce au « tableau blanc commun ».

Soudain, monsieur Martin se lève. Il vient de jeter un œil à sa montre, il est temps pour lui de partir. Il saisit son téléphone mobile de troisième génération et aussitôt sa communication se transfère sur son nouveau terminal. En marchant, il ne peut utiliser que la voix mais la discussion va bon train.

Nigel lui dit alors « jette un coup d'œil sur ces graphiques, et tu comprendras pourquoi nous devons nous concentrer sur le marché asiatique ». Monsieur Martin s'arrête et regarde l'écran de son téléphone. Après avoir étudié ce nouvel élément il reprend sa marche et sa conversation. Il se dirige vers le bord du trottoir et hèle un taxi.

Une fois confortablement installé à l'arrière de la voiture, il sort de son attaché-case sa tablette électronique pour continuer sa visiophonie plus à l'aise et profiter de nouveau du tableau blanc.

Le taxi est arrivé devant l'hôtel où se tient la réunion à laquelle doit assister monsieur Martin. Après avoir payé, il entre dans le hall et retrouve... Nigel Bucks avec lequel il peut terminer sa conversation en y ajoutant un média de plus... une cordiale poignée de main.

Lequel de ces deux scénarios se mettra en place ? Un troisième émergera-t-il ? C'est imprévisible. Chercher à comprendre reste cependant nécessaire pour, au fur et à mesure des évolutions, être capable de s'adapter.

Deux approches

Du fait des différences technologiques fondamentales entre ces deux approches, elles révèlent finalement leur incompatibilité ET leur complémentarité. C'est pourquoi toute idée d'une conclusion définitive doit être écartée au profit d'une observation en continu. Par exemple, l'arrivée de terminaux mixtes WLAN et mobiles est intéressante à suivre. Elle représente l'équivalent de petites maisons fichées dans la muraille du jardin clos, avec une porte donnant sur l'intérieur et une porte donnant sur l'extérieur.

EXEMPLE

DU BAS AU HAUT DÉBIT SUR SON MOBILE

L'opérateur téléphonique japonais J-Phone⁵⁶ met actuellement en place une structure de recherche sur le thème de la convergence du téléphone mobile connectable et de l'Internet à haut débit. Se fondant sur l'EnterNet Project (ENP, un protocole de communications sans fil), les appareils mobiles (téléphones ou PDA), connectables en permanence à bas débit, pourront passer en mode haut débit lorsqu'ils seront à portée d'une borne émettrice à la norme 802.11b. J-Phone compte lancer ses premières offres commerciales en 2002.

Les réseaux locaux sans fil, les systèmes mobiles terrestres et le satellite constitueront-ils un grand réseau adaptable et sans couture ? Il est amusant de noter, face à l'incertitude de la situation actuelle, qu'Eutelsat a dédié son satellite de communication SESAT lancé le 17 avril 2000 à Sir Arthur C. Clarke, auteur du célèbre livre *2001. L'Odyssée de l'espace*. D'ailleurs, dans un article publié en 1945 dans le magazine *Wireless World*, il avait imaginé la mise en place d'un réseau de satellites géostationnaires à 36 000 Km d'altitude. Cette vision fut accueillie avec scepticisme puis s'est concrétisée en 1963 !⁵⁷

2002 sera-t-il une année charnière pour la mobilité ?

5. IPV6 : LE MÊME RÉSEAU POUR TOUT

Haut débit et mobilité sont deux des caractéristiques nouvelles des réseaux en cours de mise en place.

Pourtant, ils doivent être complétés par la possibilité d'utiliser les différents médias de manière transparente. À défaut de parler de convergence, toujours à l'horizon, une utilisation conjointe et transparente des différents médias, par le biais des mêmes réseaux de base, peut être imaginée.

A. Les possibilités et limites du protocole Internet

Si les échanges informatiques utilisent l'Internet de façon courante, les autres médias ou services s'adaptent au réseau des réseaux plus ou moins facilement. La version actuelle du protocole Internet – IPv4⁵⁸ – se montre pourtant déjà très souple.

La téléphonie

Pour éviter que la voix ne soit hachée, la constance des débits prime sur leur volume. C'est pourquoi la QoS (*Quality of Services*) est un principe familier aux acteurs de la téléphonie. Des extensions du protocole Internet actuel (IP) permettent déjà d'assurer cette qualité de service ; mais l'ensemble des portions du réseau entre les deux points qui communiquent doit l'avoir mis en place pour obtenir une qualité de service sans faille⁵⁹...

La radio et la télévision

Les médias de diffusion (radios et télévisions principalement), s'ils requièrent également une qualité de service, rencontrent une difficulté supplémentaire. Actuellement, à chaque personne connectée à une WebTV ou

une Webradio, il faut envoyer un flux contenant le son et, le cas échéant, l'image. Par conséquent, plus une WebTV a de spectateurs, plus cela lui coûte cher. Au-delà des quelques dizaines de flux, des serveurs de capacités gigantesques s'avèrent nécessaires et les « tuyaux » qui relient le serveur au reste de l'Internet doivent accepter des débits énormes.

Une solution existe cependant qui consiste à n'envoyer qu'un seul flux audio ou vidéo depuis le serveur. Ce flux se sépare à chaque routeur pour alimenter chaque partie du réseau comme la sève d'un arbre qui monte et irrigue chaque branche. L'utilisateur prend au passage ce flux pour suivre son émission. C'est la facilité de duplication de l'information numérique qui rend possible cette technique, appelée « multicast ». Une extension du protocole Internet permet également le multicast, mais elle requiert que tous les routeurs entre le serveur et chacun des utilisateurs aient cette option activée. C'est le cas dans les réseaux universitaires : le réseau MBone permet de diffuser des contenus vidéo dans un grand nombre de lieux dans le monde⁶⁰. Son pendant français se nomme FMBone.

Le commerce électronique

Le commerce électronique, tout comme les utilisations professionnelles, expriment un autre besoin spécifique : la sécurité. Les protocoles IPsec par exemple autorisent la mise en place d'extensions gérant cet aspect.

Si d'autres extensions encore existent pour IPv4 – telle que la mobilité (Mobile IP) qui permet de déplacer un poste dans le réseau en assurant le bon acheminement des données –, des problèmes capables de freiner l'extension de l'Internet subsistent :

IPv4 : les limites

- Du fait de la nature même des extensions, il faut souvent que l'ensemble des routeurs le mettent en œuvre pour assurer un service, ce qui est loin d'être le cas.
- Les extensions cohabitent mal entre elles. Si l'on met en place la mobilité par exemple, y associer de la qualité de service sera difficile.
- Les adresses IP commencent à manquer dans plusieurs pays. Le protocole IPv4 prévoit 4,2 milliards d'adresses, mais elles ne sont pas toujours bien réparties. On considère que les problèmes commencent à apparaître à partir de 160 millions d'adresses utilisées. La Chine par exemple se sent fortement à l'étroit avec les 8 millions d'adresses qui lui sont attribuées pour plus de 26 millions d'internautes, un nombre en forte croissance.

- Enfin, configurer un réseau IP n'est pas chose aisée. Il faut en particulier attribuer une adresse à chaque machine.

POUR EN SAVOIR PLUS

LES SANS ADRESSES FIXES

Comment se débrouiller aujourd'hui avec un nombre réduit d'adresses IP ?

Les fournisseurs d'accès profitent du fait que l'ensemble de leurs clients ne se connecte pas au même moment pour affecter les adresses dont ils disposent dynamiquement à chaque fois qu'une personne se connecte. Un internaute qui se connecte à l'Internet par un modem et une ligne de téléphone classique dispose donc d'une adresse différente lors de chaque connexion.

Pour les connexions permanentes (ADSL ou réseaux d'entreprise), la solution est différente. Un boîtier est inséré entre le réseau et le reste de l'Internet pour assurer une traduction entre les adresses « internes » suffisamment nombreuses et les quelques adresses « externes » vues par le reste de l'Internet. Ces dernières sont affectées uniquement lorsque l'on a besoin d'envoyer ou de recevoir à partir ou depuis l'Internet. Il s'agit de boîtiers NAT (*Network Address Translation*). L'utilisateur dispose alors d'une adresse fixe lorsqu'elle est vue par les autres membres du réseau mais son adresse externe (vue par le reste de l'Internet) est, elle, à chaque fois différente.

Le fait de se voir attribuer une adresse différente à chaque fois entraîne un certain nombre de conséquences :

- Il est difficile d'avoir son propre serveur chez soi : les serveurs de noms de domaine associent en effet un nom (par exemple <http://www.cornu.eu.org>) à une adresse IP (par exemple 195.3.3.26), et celle-ci se doit par conséquent d'être fixe. Il convient dès lors de faire héberger ses sites Web sur un serveur qui, lui, dispose d'une adresse IP fixe.
- Il n'est pas possible, contrairement au téléphone, d'être « appelé » de l'extérieur. Cela pose en particulier des problèmes pour la visiophonie entre deux correspondants qui doivent nécessairement être en ligne simultanément. Pour pallier cette difficulté, les techniques utilisées par les messageries instantanées consistent, dès la connexion à l'Internet, à envoyer automatiquement l'adresse IP juste obtenue sur un serveur central, qui peut rendre compte de votre présence sur le réseau.

La seule solution complète réside dans un nombre d'adresses suffisant pour tous.

B. Une nouvelle version du protocole Internet

Une petite révolution se prépare depuis plusieurs années : une nouvelle version du protocole de base de l'Internet, la version 6 ; on parle ainsi d'« IPv6 ».

La précédente version étant Ipv4, où est passée la version 5 ? Elle existe, mais c'est un protocole à part, plus particulièrement dédié au *streaming* (diffusion en continu d'audio ou de vidéo)⁶¹.

Avec IPv6

Le protocole IPv6 apporte des avantages majeurs dans un certain nombre de domaines. Tout d'abord, le nombre d'adresses disponibles passe de

quelque 4 milliards à plus de 300 milliards de milliards de milliards de milliards !

UNE ABONDANCE D'ADRESSES

IPv6 code les adresses sur 128 bits au lieu de 32 bits pour IPv4. Cela donne un nombre d'adresses vertigineux :

340 282 366 920 938 463 463 374 607 431 701 211 156

- Si on s'amusait à répartir ces adresses dans toutes les étoiles de l'univers (on estime qu'il y en a 10 000 milliards de milliards soit 10^{23}) ;
- Si on imagine qu'il y a 3 planètes habitables autour de chaque étoile (on est très probablement très loin de cela...) ;
- Et si chacune est habitée par 10 milliards d'habitants ;

Alors, on pourrait attribuer à chaque personne cent mille adresses Internet, au cas où elles souhaitent commander à distance les stores roulants de leur habitation...

Au-delà des 6 milliards d'habitants sur notre planète, des adresses IP peuvent également être affectées aux objets pour pouvoir les appeler et les commander à distance. Le nombre de contrôleurs intelligents, approchant déjà 8 milliards, devrait se développer fortement dans les prochaines années. Ces « objets intelligents » pourraient rapidement se trouver connectés à l'Internet.

Le protocole devient auto-configurable

Cette abondance d'adresses peut apparaître comme un véritable gâchis ; en réalité, elle permet au contraire de nouveaux usages. En effet, il devient possible de fabriquer automatiquement une adresse IPv6 en assemblant par exemple un numéro de série et un autre nombre qui indique le type d'objet. Par exemple, dans le cas des cartes de réseau Ethernet, un numéro unique existe pour chaque carte (le numéro MAC). Par conséquent, il est envisageable de voir les différents éléments du réseau s'auto-configurer l'utilisateur n'ayant plus à se préoccuper de la notion d'adresse IP. L'abondance d'adresses rend ainsi l'installation et la configuration du réseau transparentes et accessibles à tous.

LA FIN DE LA RARETÉ ?

Il existait jusqu'à présent deux denrées rares sur l'Internet, par ailleurs plutôt caractérisé par l'abondance : les adresses IP et les noms de domaines, tous deux gérés par l'Icann. Ils constituent probablement les points les plus sensibles de l'Internet et font l'objet de nombreux combats politiques et juridiques.

Avec l'arrivée d'IPv6, l'abondance d'adresses IP fera disparaître ce goulot d'étranglement au fur et à mesure du déploiement de ce protocole.

Quant aux noms de domaines, ils étaient autrefois gérés par John Postel, un des fondateurs du net, disparu en 1998. Grâce à sa compétence et à son charisme, il a su résoudre les conflits autour de cette denrée rare. Après sa mort fut mise en

place l'Iana puis l'Icann, mais de nombreuses luttes s'y déroulent, même si la plupart des accès à un site Web se font à partir d'un lien hypertexte depuis un autre site ou depuis les signets plutôt qu'en tapant une URL directement dans la barre d'adresse d'un navigateur.

Il existe cependant un nouveau protocole appelé CNRP (*Common Name Resolution Protocol*) qui permet d'écrire les mots en langage naturel dans la barre d'adresse pour trouver ce que l'on cherche. Le CNRP est déjà en œuvre dans Microsoft Internet Explorer et dans Netscape Navigator au travers des fonctions « autosearch » et « smartbrowsing ». L'importance des noms de domaines qui permettent de définir des URL simples à mémoriser pourrait aller en décroissant, grâce à ces fonctions de recherche.

Les extensions

Ce qui n'existait qu'à titre d'extensions dans le protocole Ipv4 est désormais inclus au cœur même du protocole Ipv6. C'est le cas de la mobilité (avec des améliorations), mais aussi de la qualité de service, du multicasting, de la sécurité, du reroutage, etc.

S'il y a peu de nouveautés fonctionnelles, les conséquences sont immenses. La plupart des services nécessitent la mise en place de ces extensions de bout en bout ; or, dans le principe même de l'Internet, nous ne savons pas toujours où passent les paquets de données. Il faut donc que tous les routeurs situés entre les deux extrémités disposent de l'option pour que le réseau soit opérationnel. La version 6 signifie que les promesses du protocole IP deviennent une réalité, pas seulement pour des réseaux spécifiques (réseaux universitaires, réseaux d'entreprise) mais également à l'échelle de l'Internet, le réseau des réseaux.

C. IPv6 c'est pour quand ?

Le passage vers IPv6

Il n'y aura pas un jour de basculement de l'Internet mondial de la version 4 à la version 6 ; des « bulles » IPv6 se créent, qui communiquent avec le reste de l'Internet au travers de routeurs capables de comprendre les deux protocoles. Il est même possible de créer des « tunnels » pour relier deux bulles IPv6 en passant par le monde IPv4 sans perdre les fonctionnalités nouvelles. Progressivement, les bulles IPv6 devraient croître, jusqu'à ce que ce soient au contraire des bulles IPv4 qui subsistent dans un monde IPv6.

Les premières bulles IPv6 étaient des réseaux expérimentaux. Il en existe depuis 1996 grâce aux trois premières mises en œuvre aux Etats-Unis (NRL), au Japon (WIDE) et en France (G6).

Les produits se multiplient ⁶². Depuis fin 2000 – début 2001 commence la mise en place de réseaux IPv6 commerciaux. Les fournisseurs d'accès traditionnels ne s'empressent cependant pas, pour plusieurs raisons :

- IPv6 nécessite une formation de leur personnel ;
- Leur priorité est de gérer de façon fiable leur réseau actuel ;
- D'autres nouveautés les accaparent : MPLS, réseaux privés virtuels... ;
- La coexistence de nombreux protocoles sur la même infrastructure est plus délicate.

Les nouveaux marchés

Le marché d'IPv6 pourrait décoller en priorité sur les nouveaux réseaux :

- Dans l'Internet mobile où la connexion permanente des terminaux de 3^e génération nécessite beaucoup plus d'adresses IP ;
- À la maison où l'accès aux objets communicants nécessite également de pouvoir les appeler ;
- Dans des pays tels que l'Inde ou encore la Chine qui, avec 400 millions d'urbains, représentent des marchés très importants ;
- Mais aussi pour des opérateurs traditionnels qui voient avec IPv6 la possibilité d'offrir plus facilement de nouveaux services professionnels tels que la qualité de service.

DES INFOS SUPPLÉMENTAIRES

- Présentation d'IPv6 : <http://www.fing.org/index.php?num=1893,2>
- IPv6 et l'adressage : <http://www.fing.org/index.php?num=1894,2>
- IPv6 et la mobilité : <http://www.fing.org/index.php?num=1873,2>
- Transition IPv4/IPv6 (ngtrans) : <http://www.fing.org/index.php?num=1874,2>
- Réseaux expérimentaux IPv6 : <http://www.fing.org/index.php?num=1895,2>
- Réseaux opérationnels IPv6 : <http://www.fing.org/index.php?num=1896,2>

6. L'INTERNET NOUVELLE GÉNÉRATION

Notre voyage dans le domaine de la communication a permis de découvrir qu'après les grands changements apportés par l'extension du réseau Internet, de nouvelles transformations se préparent, avec de grandes conséquences sur nos usages des nouvelles technologies dans notre vie quotidienne et professionnelle.

L'Internet nouvelle génération

Jusqu'à présent, l'Internet a permis de communiquer de façon aisée avec pratiquement qui on veut. L'Internet nouvelle génération rend la technologie transparente ce qui fait que je pourrai bientôt communiquer :

1. Autant que je veux

Grâce au haut débit, textes, images et sons transitent en quantité sur le réseau sans qu'on s'en pose la question.

2. Où je veux quand je veux

La mobilité et la connexion permanente permettent d'utiliser le réseau là où on est et d'être joint n'importe où si on le désire.

3. Ce que je veux

Grâce aux fonctionnalités d'IPv6 qui rend accessible l'adaptation du réseau à la radio et la télévision (multicasting), au téléphone (Qualité de service) et au commerce en ligne (sécurité).

Avec ces transformations, la technologie se fait oublier et imaginer de nouveaux usages devient possible :

- Pour diverses populations (jeunes, handicapés, familles...) ;
- Pour divers acteurs (entreprises, administrations, collectivités territoriales, tiers secteur...) ;
- Pour divers métiers (médical, commerce, enseignement...) ;
- Dans divers contextes (maison, voiture, lieux publics...).

EN DIRECT DES LABOS

L'INTERNET INTERPLANÉTAIRE

L'IETF (Internet Engineering Task Force) a formulé officiellement son projet pour un Internet interplanétaire ⁶³ : un système de communication fournissant des services comparables à ceux de l'Internet à travers des distances interplanétaires.

Il s'agirait d'un réseau de type « Internet Protocol » qui aiderait à standardiser les moyens de communication au niveau des planètes, des astéroïdes, des satellites et autres engins spatiaux. Les initiateurs du projet ont demandé qu'un test soit réalisé en direct lors de la mission de la Nasa vers la planète Mars en 2003.

Un des principaux problèmes qui se posent est l'allongement des délais dans l'espace : ainsi un paquet de données mettrait 40 minutes pour parcourir la distance Terre-Mars et retour.

Dès 2008, six satellites pourraient être positionnés autour de Mars. L'Internet interplanétaire complet devrait devenir une réalité aux alentours de 2020.

NOTES DE LA QUATRIÈME PARTIE

1. Source : Observatoire Mondial des Systèmes de Communication (OMSYC) : <http://www.omsyc.com>
2. Dossier FING « Quelques usages de l'Internet en Afrique » : <http://www.fing.org/index.php?num=1951,4>
3. NUA : http://www.nua.ie/surveys/how_many_online
4. DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).
5. Sources : <http://www.1ec.org/tutorials/dwdm>, <http://www.commweb.com>, Globecom2000 David Nagel CTO AT&T : <http://www.cornu.eu.org/textes/globecom2000>
6. <http://www.convergedigest.com/DWDM/dwdmarticle.asp?ID=1266>
7. <http://www.lucent.com/press/0601/010628.bla.html>
8. Lawrence G. Roberts et Cindy Crump, US Internet IP Traffic Growth : http://www.caspiannet-works.com/library/presentations/traffic/Internet_Traffic_081301.ppt
9. Renaissance Worldwide : <http://www.rens.com> cité dans E-Business watch 12/3/2001 : <http://www.4sightpartners.com/insights/watch031201.htm>
10. $l=2/5 * 2pR^2/L$ si on considère que les mailles sont maximums à l'équateur et suivent les méridiens et les parallèles. R représente le rayon de la terre, L La longueur de fibre optique globale disponible et l la distance entre deux mailles. On considère que les terres émergées représentent 1/5 de la surface terrestre.
11. Si les câbles transatlantiques, dans cette configuration, représentaient une dizaine de fois le tour de la terre à l'équateur, la partie câbles transatlantiques ne représenterait que 1% de l'ensemble, le reste étant consacré au maillage des terres.
12. F. Cairncross, *The Death of Distance : How the communications revolution will change our lives*, Orion Business Books, Londres, 1997.
13. Source « International Bandwith 2001 » de Telegeography : <http://www.telegeography.com/Publications/bandwidth2001/index.html>
14. *Ibid.*
15. DARPA Snapshot of ITO for PITAC 25/2/2000. L'IP sur DWDM est testé par le NGI.
16. MultiProtocol Label Switching : <http://www.ietf.org/html.charters/mpls-charter.html>
17. <http://www.fing.org/index.php?num=869,4>
18. Voir : <http://www.accelight.com>, le routeur d'Acceligh a été présenté à Supercomm à Atlanta le 4 juin 2001.
19. Electronics and Telecommunications Research Institute en Corée : <http://www.etri.re.kr>
20. <http://www.sciences-en-ligne.com/Dictionnaire/DictionnaireDIST/s/soli01.htm>
21. Wavelength Disk Drive : <http://www.canarie.ca/press/releases/01-02-07.html>
22. http://www.v92.com/v92_fa_q.htm
23. <http://www.rwe-powerline.de>
24. <http://news.zdnet.fr/story/0,,s2060318,00.html>
25. Voir FING : « Castres-Mazamet, mode d'emploi » : <http://www.fing.org/index.php?num=1232,4>
26. <http://www.iec.org/online/tutorials/epon/>
27. Cette technologie, conçue par la société Lucent sous le nom de « WaveStar™ OpticAir™ », est également commercialisée par Optical Access sous le nom « TereScope™ ». Voir aussi : <http://www.fing.org/index.php?num=956,4>
28. Voir la fiche d'expertise FING : <http://www.fing.org/index.php?num=1876,3,116>
29. <http://www.ib-com.ch/pages/archives/00.11/0011commopérateurciel.html>
30. Search Networking.com – MEO Satellite : http://searchnetworking.techtarget.com/sDefinition/0,,sid7_gci501833,00.html
31. Une première mondiale a été réalisée le 7 septembre 2001. Elle a permis à un chirurgien installé à New-York d'opérer une ablation de la vésicule biliaire sur une femme située à Strasbourg. Cette opération a nécessité un temps d'aller-retour sur le réseau de 150 ms compatible avec les délais des satellites couche basse.
32. Tachyon : <http://www.tachyon.net>
33. Primus Telecommunication France (anciennement Internext) : <http://www.internext.fr/>
34. Les satellites utilisent plusieurs bandes de fréquences pour communiquer entre eux et avec les usagers :
 - La bande Ka (18 – 31 GHz) : pour l'usage global des satellites ;
 - La bande Ku (10,9-17 GHz) : pour les applications fixes transmises par satellite ;
 - La bande C (4 – 8 GHz) : pour les transmissions satellites et terrestres ;
 - La bande L (0,5 – 2 GHz) : pour la transmission de la voix.
35. Institut National des Télécommunications, Observatoire des Stratégies et Technologies de l'Information et de la Communication, *Télécom, Electronique, Informatique, Médias, Internet, l'année 2000*, Evry, 2001, p. 70.
36. http://www.americasnetwork.com/issues/2000supplements/20000901wi/wa20000901_edge.htm
37. Pour en savoir plus, voir les fiches d'expertise de la FING : Les systèmes mobiles (<http://www.fing.org/index.php?num=1899,2>), L'UMTS (<http://www.fing.org/index.php?num=1871,2>), EDGE (<http://www.fing.org/index.php?num=1898,2>) et Cdma2000 (<http://www.fing.org/index.php?num=1897,2>).
38. Institut national des télécommunications, Observatoire des stratégies et technologies de l'information et de la communication, *Télécom, Electronique, Informatique, Médias, Internet, l'année 2000*, Evry, 2001, p. 38.
39. Un groupe de l'IETF (MANET pour Mobile Adhoc NETwork) évalue différents protocoles candidats à la standardisation : http://www.ietf.org/html.charters/maret_charter.html
40. Il s'agit de la famille de standards IEEE 802.3.
41. Voir partie sur les réseaux d'accès par le courant électrique CPL-Access.
42. Bluetooth SIG : <http://www.bluetooth.com>
43. Pour comprendre comment Bluetooth et IEEE 802.11b peuvent cohabiter sur la même fréquence de 2,4 GHz, voir l'article « Reliability of IEEE 802.11 Hi Rate DSSS WLANs in a High Density Bluetooth Environment » : http://www.wirelessethernet.org/downloads/Coexistence_Paper_Intersil_Aug18.pdf
44. <http://www.art-telecom.fr/dossiers/rlan/index-d.htm> (J.O du 21 août 2001). En extérieur, il faut une autorisation de l'ART sur les domaines privés et l'utilisation des 2,4 GHz est interdite en extérieur sur le domaine public.
45. Le DECT est la norme utilisée pour transmettre la voix en mode numérique entre un téléphone sans fil et sa base fixe.
46. WECA : Wireless Ethernet Compatibility Alliance (avec Cisco, IBM, Intel, 3com et Microsoft) : <http://www.wirelessethernet.org>
47. Lettre de la FING n°62 du 18/9/2001 : <http://www.fing.org/index.php?num=2013,4>. L'info : *Transfert* n°17, septembre 2001, p. 44-45. Un excellent article sur le réseau Seattle Wireless : <http://www.lemonde.fr/article/0,5987,3230-186450-,00.html>. Le projet SpeKa Network :

- <http://www.speka.net>. À Londres, un projet se développe également : <http://consume.net> et <http://freenetworks.org>. Voir aussi « les Réseaux Métropolitains Radioélectriques » : <http://www.fing.org/index.php?num=2463,2>
49. Service HomeRun de Telia : <http://homerun.telia.com>. Il existe également des premiers fournisseurs d'accès Internet sans fil tels que Mobilestar : <http://www.mobilestar.com> ou Wayport : <http://www.wayport.com>
49. Lettre de la FING n°62 du 18/9/2001 : <http://www.fing.org/index.php?num=2012,4>
L'info : <http://www.business2.com/articles/web/0,1653,16924,FF.html>
50. L'info : <http://www.mobinet.com/netnews.cfm?id=12536>
51. Voir notre fiche sur les boîtiers intermédiaires : <http://www.fing.org/index.php?num=1925,4>
50. *FUTUR(e)S*, juin 2001.
53. Suivant le Forum de stabilité financière, la dette des opérateurs de télécommunication représente 180 milliards de dollars. Leurs emprunts représentent 27 % de l'ensemble des emprunts effectués par les grandes sociétés dans le monde entre janvier et septembre 2000. Source Institut national des télécommunications, observatoire des stratégies et technologies de l'information et de la communication, *Télécom, Electronique, Informatique, Médias, Internet, l'année 2000*, Evry, 2001, p. 8.
54. Bernard Werber, *L'encyclopédie du savoir relatif et absolu*, Albin Michel, Paris, 2000, p. 18-19.
55. Elodie Hanen, « Les primitifs flamands », *X-passion* n°24, 1999 : <http://www.polytechnique.fr/eleves/binets/xpassion/numeros/xpnumero24/xp24ind.htm>
56. Lettre de la FING du 28/5/2001 : <http://www.fing.org/index.php?num=1363,4>.
57. http://www.eutelsat.com/news/pdf/2000/pr00_18_04.pdf
58. Internet Protocol version 4.
59. Par exemple les protocoles Intserv et Diffserv standardisés à l'IETF (<http://www.ietf.org>). Il est à noter que plusieurs pays (États-Unis, Canada, Pays-Bas...) considèrent que l'approche de la qualité de service introduit une complexité supplémentaire inutile. L'abondance de capacité des réseaux doit permettre de disposer du surplus nécessaire pour garantir la qualité nécessaire dans la très grande majorité des cas.
60. Voir aussi la partie française du MBone, le FMBone : <http://www.urec.cnrs.fr/fmbone/>
61. Lettre de la FING du 1/1/2001 : <http://www.fing.org/index.php?num=761,4#10>
62. Le support de l'IPv6 sera mis en place dans la version 12.2(1)T d'IOS, le système d'exploitation de CISCO leader sur le marché des routeurs. Tous les routeurs et serveurs à partir de la série 800 pourront être mis à jour gratuitement : http://newsroom.cisco.com/dlls/prod_051401.html. Source Internet Actu n°87 17/5/2001 : <http://www.internetactu.com/archives/iactu87.html#tel4>
63. Lettre de la FING du 28/5/2001 : <http://www.fing.org/index.php?num=1337,4>

INTERMÈDE LES BATTERIES

1. DE L'ÉNERGIE POUR TOUS

La consommation générale d'électricité

Dans notre périple au pays des technologies de l'information et de la communication, un intermède s'impose pour traiter d'un aspect trop souvent oublié : l'aspect énergétique. Car non seulement nos besoins en énergie sont de plus en plus importants, mais les NTIC sont particulièrement énergivores. Ainsi, par exemple, si la Télévision numérique terrestre (TNT) va changer notre façon d'utiliser notre télévision, au Royaume-Uni, on estime que sa généralisation nécessitera la construction d'une tranche de centrale électrique supplémentaire¹. Or la récente crise énergétique en Californie a illustré à quel point l'alimentation électrique pouvait devenir un maillon faible dans la chaîne technologique.

EN DIRECT DES LABOS

L'ÉLECTRICITÉ DU CIEL²

L'un des projets du Jet Propulsion Laboratory de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) prévoit de déployer des satellites disposant d'immenses panneaux solaires dans le but de récupérer l'énergie avant de l'envoyer sur terre.

La difficulté est dans la façon de réacheminer cette énergie électrique jusqu'au sol alors que les lasers sont interdits dans l'espace par un traité russo-américain et que les micro-ondes sont potentiellement dangereuses. Les chercheurs espèrent cependant mettre en place des solutions dans les quinze prochaines années.

Un autre projet, inverse, prévoit que les véhicules spatiaux soient alimentés directement par des lasers installés au sol. Le fait de ne plus transporter l'énergie sous forme de carburant pourrait réduire très fortement le coût des voyages spatiaux³.

2. DE L'ÉNERGIE POUR MOI...

L'autonomie des appareils portables

Mais plus important encore est l'impact des aspects énergétiques sur la mobilité. Il ne sert pas à grand-chose d'avoir des connexions sans fil si le cordon électrique est un véritable « fil à la patte ». Le marché du téléphone mobile a réellement pris son essor lorsque l'évolution des batteries a permis une autonomie d'une journée. Il est alors devenu possible de conserver son téléphone portable allumé toute la journée et de ne le recharger qu'une fois arrivé le soir,

chez soi ou à l'hôtel. La journée d'autonomie représente probablement le bon seuil d'usage pour évaluer l'évolution des batteries.

Si les assistants personnels disposent d'une autonomie supérieure à la journée et ont été largement adoptés, il n'en est pas encore de même pour les ordinateurs portables. Les besoins en énergie sont bien plus importants et l'autonomie actuelle demeure plutôt autour de deux ou trois heures.

Scénario - Deux nouvelles victimes des Baylis ⁴

Une solution pour disposer d'énergie pour alimenter ses appareils électriques mobiles consiste à utiliser l'homme comme source d'énergie. Ce fut le cas avec les montres qui utilisaient les mouvements du poignet comme source d'énergie. Dans la Fabrique des possibles de la FING, en mars 2000, Anne-Caroline Paucot imagine les conséquences d'un système d'alimentation fondé sur la marche ⁵.

La mort d'un homme et d'une femme de 72 et 94 ans relance une fois de plus le débat sur le danger des batteries auto-alimentées mises au point au début du siècle par Trevor Baylis.

Céline Francon était dans sa cuisine lorsque le drame est arrivé : « Ma femme s'est levée pour se laver les mains. Elle a fait deux pas et est tombée raide foudroyée », raconte son mari. Quant à Thierry de Ponthieu, un homme de 94 ans, il a connu le même sort en effectuant une tranquille promenade. Ces drames relancent le débat sur le danger des Baylis. Un débat qui avait battu son plein après la mort de John Travix, le champion olympique du 100 mètres et qui s'était conclu par une interdiction de leur utilisation lors des compétitions sportives.

Les Baylis doivent leur nom à leur inventeur l'anglaisien : Trevor Baylis. Après avoir créé la radio à manivelle en 1991, cet inventeur de l'ex-Grande-Bretagne voulut utiliser l'énergie de la marche pour transformer les chaussures en batteries électriques. À cette époque, les téléphones mobiles utilisaient des batteries pour fonctionner. Comme ces batteries s'épuisaient vite, il eut, en 1999, l'idée de profiter de la pression du pied pour générer de l'électricité. L'anglaisien trouva deux moyens de mettre à profit l'énergie corporelle. La première faisait appel aux propriétés piézoélectriques du quartz. Comprimée puis relâchée, la matière dégageait des impulsions électriques susceptibles d'être stockées dans une batterie intégrée à la semelle. Le second système reposait sur la haute pression. Un tuyau microscopique serpentant à l'intérieur de la semelle conduisait un fluide à une dynamo qui fonctionnait à chaque impact de la chaussure sur le sol.

Ces systèmes ont connu de nettes améliorations au fil du temps. Mais le problème de l'émotion, qui s'exprime par un accroissement de la pression du pied, n'a jamais été résolu. Des millions de personnes ont été, un jour ou l'autre, victimes de leur surtension et le centre mondial de la santé technologique a enregistré des centaines de morts.

« On masque volontairement les chiffres pour préserver de puissants intérêts financiers » affirme John Macplus, président du Comité anti-Baylis. Il profite de l'occasion pour rappeler qu'on peut très bien vivre sans Baylis : « Les visiportables à batterie fonctionnent très bien. La seule contrainte est de les recharger une fois par semaine en les déposant sur un support. » Dans l'élan, il n'hésite pas à fustiger le progrès technologique : « Il nous a rendus aussi fainéants qu'inconséquents. Des gestes vécus comme simples et non contraignants semblent demander aujourd'hui des efforts insurmontables. Nous sommes devenus des assistés. Si on continue dans cette voie, nos prothèses vont penser à notre place et nous serons réduits à l'esclavage. »

Même si ce technophobe est bien connu pour ses positions, si le danger s'avère réel, un changement d'habitude sera nécessaire et on devra, comme nos grands-parents, utiliser l'électricité pour recharger nos batteries.

3. QUAND LE LAPTOP AURA-T-IL UNE JOURNÉE D'AUTONOMIE ?

Économie et nouvelles batteries

Pour que les ordinateurs portables disposent d'une autonomie plus grande, il est nécessaire tout d'abord de mieux maîtriser leur consommation électrique. De grands progrès ont été accomplis ces dernières années : les périphériques non utilisés ne sont plus alimentés et les processeurs, grands consommateurs d'énergie, adaptent leur vitesse de travail aux conditions pour économiser au mieux les batteries.

L'autre facteur d'autonomie vient des batteries elles-mêmes. À ce jour pourtant, le stockage de l'énergie électrique est finalement assez peu performant. Les batteries sont encore lourdes et stockent peu d'énergie.

EN DIRECT DES LABOS

LA VOITURE ÉLECTRIQUE ⁶

Un bon exemple des progrès en cours est donné par la voiture électrique mise au point par l'université de Keio à Tokyo.

Mesurant 6,7 m de long et pesant près de 3 tonnes, elle a cependant une autonomie de 300 Km et peut atteindre une vitesse maximale de 300 Km/h grâce à des batteries au Lithium qui alimentent des moteurs placés dans chacune des 8 roues.

L'avenir est peut-être aux piles à combustible. Elles sont alimentées en méthanol qui produit ensuite l'électricité. La conservation de l'énergie sous forme de carburant permet une bien plus grande autonomie pour un poids équivalent par rapport aux piles et batteries classiques. Cependant, avant que nous ne prenions l'habitude d'aller faire le plein de notre portable à la pompe, il reste de nombreux problèmes à régler tels que la température de fonctionnement, les coûts de fabrication ou les dimensions encore excessives.

Si l'innovation ne permet pas de trouver des solutions pour les batteries de nos appareils portables les plus gourmands en énergie, alors elles pourraient devenir un frein au développement de la mobilité.

NOTES DE L'INTERMÈDE

1. Michel Berne, « Indispensable énergie », in Institut national des télécommunications, observatoire des stratégies et technologies de l'information et de la communication, *Télécom, Electronique, Informatique, Médias, Internet, l'année 2000*, Evry, 2001, p. 44.
2. Jet Propulsion Laboratory de la Nasa : <http://www.jpl.nasa.gov>
3. Nasa « Propellantless transportation » : http://std.msfc.nasa.gov/sciresearch/propellant_prop.html
4. Cf. La Fabrique des possibles de la FING : http://fing.org/fabrique/mess_fr.php?n=8
5. Depuis, la société Electric Shoe s'est spécialisée dans ce type de chaussures. Elle les a testées lors d'une randonnée de 120 km dans le désert de Namibie. L'armée s'intéresse de très près à ces progrès : <http://www.theelectricshoeco.com>
6. Source *Nihon Keizai Shimbun*, cité dans *Courrier International* du 15 mars 2001.

CINQUIÈME PARTIE

TROISIÈME VAGUE : LA MÉMOIRE

1. ÉVOLUTION DES MÉMOIRES

A. La pyramide des mémoires

Il existe différents types de mémoires informatiques qui répondent à des impératifs souvent contradictoires : le temps d'accès d'un côté et le coût d'une unité mémoire de l'autre. Plus un type de mémoire est rapide, plus il est cher. À l'inverse, les mémoires de masse ont un coût au mega-octet et un temps d'accès bien plus faibles.

Les ordinateurs comportent une hiérarchie de mémoires qui comprend :

- Les registres directement inclus dans le processeur ;
- La mémoire cache très rapide qui stocke les données souvent utilisées ;
- La mémoire centrale, plus importante mais un peu moins rapide ;
- La mémoire de masse sur laquelle sont conservés les programmes et les données (il s'agit le plus souvent d'un disque dur) ;
- L'archivage pour les données qui n'ont plus une utilité immédiate. Cette mémoire est souvent constituée de médias amovibles (bandes, CD gravables...), elle est parfois constituée par d'autres disques durs placés sur des serveurs en ligne.

Ces différents types de mémoire progressent régulièrement en termes de capacité mais également en coût par mega-octet. Les disques durs par exemple connaissent une progression similaire à celle de la mémoire vive, qui leur permet de franchir des seuils d'usages comme indiqué précédemment ¹.

La sauvegarde

Il existe un autre type de mémoire souvent confondu avec l'archive : il s'agit de la sauvegarde. Si des archives permettent de conserver ce dont on n'a plus besoin sur son disque dur, la sauvegarde représente au contraire une copie de tout ou partie du disque dur au cas où les données de ce dernier seraient perdues. La confusion vient du fait que l'on utilise souvent les mêmes médias

pour les deux types de mémoire (la bande, la cartouche ou le CD gravable). Pourtant la sauvegarde et l'archivage ont des règles d'utilisation différentes.

La mémoire de sauvegarde

Il existe des guerres dans les spécifications de standards des mémoires de sauvegarde. Ainsi, par exemple le DVD a donné jour à plusieurs standards inscriptibles ou réinscriptibles (DVD R/RW, DVD RAM, DVD R+W). Cela est dû au fait que cette mémoire de sauvegarde peut permettre l'échange de fichiers entre deux ordinateurs ou faciliter la redistribution de logiciels sur d'autres machines. Il y a donc des enjeux en terme de piratage qui font que ces produits ne suivent pas une progression régulière orientée par les progrès technologiques, mais suivent une voie difficilement prévisible du fait de choix industriels ².

Nous allons cependant chercher à comprendre quels sont les seuils d'usages pour les mémoires. En particulier, nous allons nous concentrer sur la mémoire de masse qui représente l'ensemble des données et programmes qui sont étroitement associés à une machine. Nous allons chercher à comprendre quel est le seuil qui fera basculer le domaine de la mémoire vers des stratégies d'abondance, comme cela s'est passé pour le traitement et pour la communication.

B. L'évolution de la capacité des disques durs

Les disques durs classiques ont actuellement des capacités comprises entre 40 et 100 Go. D'énormes progrès ont été accomplis depuis le premier disque dur, le RAMAC 305 d'IBM³ (constitué de 50 disques de 61 cm, il avait une capacité de 5 Mo et pesait une tonne).

POUR EN SAVOIR PLUS

DU KILO AU YOTTA

Le système international d'unités définit plusieurs préfixes multiplicateurs. Si les premiers sont bien connus (le Kilo par exemple), il n'en va pas de même de certains autres qui commencent cependant à être utilisés dans les nombres astronomiques que nous allons manipuler. Ces mêmes préfixes peuvent être associés à n'importe quelle unité, que ce soit le gramme, le mètre ou le nombre d'octets.

- Kilo : 1 Ko = mille octets (une demi-page de texte en mode caractère) ;
- Mega : 1 Mo = un million d'octets (quelques petites photos compressées au format JPEG) ;
- Giga : 1 Go = un milliard d'octets (un peu plus d'une heure de vidéo MPEG-4) ;
- Tera : 1 To = mille milliards d'octets (75 chaînes de télé enregistrées pendant 24 heures) ;
- Peta : 1 Po = un million de milliards d'octets (1/3 de la mémoire installée dans le monde en 2000) ;

- Exa : 1 Eo = un milliard de milliards d'octets (1/3 de l'ensemble des informations, numériques ou non, produites dans le monde en 2000) ;
- Zetta : 1 Zo = mille milliards de milliards d'octets (à peu près 100 fois plus que l'ensemble de l'information créée par les êtres humains depuis le début du monde) ;
- Yotta⁴ : 1 Yo = un million de milliards de milliards d'octets. (C'est le plus grand préfixe. Pourtant, le nombre d'adresses IPv6 est trois cent mille milliards de fois plus important !)

Les disques durs

La capacité des disques a commencé à croître régulièrement de façon quasiment prévisible grâce à la technologie « Winchester ». Dans ce cas, la tête de lecture « plane » au-dessus du disque à une distance très faible. L'ensemble est placé dans une enceinte close pour éviter les poussières qui deviennent de monstrueux obstacles au fur et à mesure que les dimensions des têtes diminuent. La première annonce de cette technologie fut faite par IBM en 1973. En juin 1980, la société Seagate Technology commercialisa le premier disque dur Winchester de format 5'25 ⁵. Depuis cette date la capacité des disques durs croît régulièrement et double même tous les neuf mois actuellement.

Année	Capacité moyenne	Remarque
1956	5 Mo	
1982	6 Mo	63-76 €/Mo
1983	10 Mo	
1984	20 Mo	
1990	52 Mo	Max : 1 Gbits/inch ²
1994	500 Mo	
1995	800 Mo	Max : 6 Gbits/inch ²
1996	(Moyenne 540 Mo) 1,2 Go	0,38 €/Mo 1,3 Go/inch ² Record : 26 Go
1997	4 Go	Max 5 Gbits/inch ²
1999		Max 35,3 Gbits/inch ²
2000	(moyen 10-20 Go IDC) 21 Go	0,006 €/Mo max : 10 000 Tr/min (record 180 Go) 7,8 Gbits/inch ² max : 56 Gbits/inch ²
2001	(moyenne 30-50 Go IDC) 40 Go	
2002	(moyenne 50-70 Go IDC)	100-200 Go assez courants

Figure 8. Évolution de la capacité des disques durs ⁶

Les prévisions pour 2003 sont de 400 Go grâce à de nouvelles améliorations qui permettent d'isoler chaque élément magnétique du disque pour éviter qu'il n'influe sur les bits voisins devenus très proches ⁷. Si l'évolution des disques durs est plus rapide actuellement que celle des circuits intégrés,

les limites de la technologie pourraient être atteintes dès 2005 avec des capacités de l'ordre du téra-octet.

Une des conséquences de cette croissance est que le coût du mega-octet stocké décroît très fortement : en 1990 le prix du mega-octet était de 100 \$/Mo pour la mémoire vive et de 10 \$/Mo pour les disques durs. En 2000 les prix étaient tombés à 1 \$/Mo pour la mémoire vive et 0,02 \$/Mo pour les disques durs⁸.

C. Que faire avec autant de mémoire ?

Pour connaître les seuils qui permettront à la mémoire d'apporter des révolutions d'usages aussi importantes que celles que nous avons vécues avec les microprocesseurs ou celles du réseau des réseaux mondial, regardons quelques ordres de grandeur.

Entre 100 Go et 1To

Nous avons vu que la capacité moyenne d'information produite ou utilisée sur un an par une personne tournait aux alentours de 200 à 400 Mo. Mais cela ne prend pas en compte la vidéo qui est probablement le plus gros consommateur de mémoire.

EXEMPLE

DE LA VIDÉO À VOLONTÉ

Nous savons aujourd'hui stocker un film avec une grande qualité d'image sur une capacité de 4,7 Go (la capacité d'un DVD) et même sur 1,2 Go (grâce au format MPEG-4). Nous pouvons en déduire que nous pourrions bientôt stocker l'ensemble de notre vidéothèque personnelle (disons une centaine de cassettes actuellement) sur des disques d'environ 120 Go.

Prenons un autre point de vue. Il faut 15 Go pour 24 heures de vidéo. Ceci représente sûrement un seuil. En effet, lorsque les disques durs ont atteint cette capacité en 2000, sont apparus les premiers magnétoscopes numériques qui permettent d'enregistrer l'ensemble d'une chaîne toute la journée et le soir, en rentrant du travail, de regarder ce que l'on souhaite sans avoir à le prévoir à l'avance⁹. Les nouveaux magnétoscopes numériques permettent désormais d'enregistrer plusieurs chaînes¹⁰.

Avec un disque de 1,5 To, nous pourrions enregistrer la centaine de chaînes que nous recevons par divers canaux toute la journée. Nous pourrions alors choisir « a posteriori » l'émission que nous voulons suivre en fonction de notre humeur et même choisir une autre émission. Nous ne serions plus obligés de choisir a priori quelle émission nous souhaitons enregistrer en notre absence.

EXEMPLE

DE LA MÉMOIRE POUR LES ROBOTS

Des disques durs ayant des capacités de quelques téra-octets semblent constituer une charnière. Peut-on imaginer utiliser encore plus de mémoire ? Imaginons un robot (du type du chien Aibo de Sony) que nous souhaiterions pouvoir conserver le plus longtemps possible. S'il conservait en mémoire 25 ans de vision, il pourrait alors reconstituer différents lieux qu'il a parcourus au cours de sa « vie ».

Cela nécessiterait une mémoire de 150 téra-octets. Pourtant une telle mémoire ne serait probablement pas nécessaire car il suffirait de reconstituer les plans des lieux et de ne conserver en mémoire que les informations de haut niveau. La mémoire utile à conserver serait alors probablement d'environ 1 % de celle annoncée. Nous retrouvons les mêmes ordres de grandeur que pour les systèmes de stockage de vidéo et de télévision.

POUR EN SAVOIR PLUS

LA MÉMOIRE D'UN HOMME

John Von Neumann, célèbre pour avoir mis en place les principes de base de l'ordinateur, avait calculé que l'information accumulée en toute une vie par un être humain était d'environ 300 Eo (300 exa-octets soit 300 milliards de milliards d'octets) !

Pourtant un petit calcul nous montre que notre cerveau ne peut pas contenir une telle quantité d'information (ou du moins en se limitant à la partie matérielle que nous connaissons). Nous avons environ 10 milliards de neurones, chacun étant relié en moyenne à 10 000 autres neurones par l'intermédiaire de synapses. Les synapses conservent la trace des excitations antérieures et permettent à l'influx nerveux de passer ainsi plus ou moins facilement d'un neurone à l'autre. Imaginons qu'une synapse permette de distinguer 256 niveaux de résistance à l'influx nerveux, elle peut alors stocker au mieux l'équivalent d'un octet (les neurones fonctionnent avec un mécanisme de seuil par rapport à l'ensemble des influx nerveux reçus, ce qui rend la comparaison hasardeuse). Dans un tel cas de figure, un cerveau humain dispose au mieux d'une mémoire de 100 To. L'utilisation en parallèle permet la redondance mais donne une efficacité bien moindre. Nous pouvons imaginer que nous ne conservons pas dans notre cerveau biologique plus que l'équivalent de quelques téra-octets.

Quelques Téra-octets

Les quelques exemples précédents montrent qu'au-delà d'un à quelques téra-octets la mémoire dispose de surplus. Nous arrivons alors dans une abondance de mémoire qui changera probablement de façon majeure les usages que nous faisons aujourd'hui de nos ordinateurs. Les technologies actuelles devraient nous mener à la capacité de l'ordre du téra-octet. Il nous faudra probablement utiliser des technologies innovantes (et donc aujourd'hui peu prévisibles) pour aller plus loin.

POUR EN SAVOIR PLUS

LES MÉMOIRES DU FUTUR

De nombreuses pistes sont explorées pour remplacer à terme le disque dur. Nous ne pouvons pas prévoir aujourd'hui celles qui remporteront du succès. Peut-être même de nouvelles technologies aujourd'hui inconnues seront universellement répandues demain.

Les exemples suivants présentent quelques travaux de recherche actuels :

La mémoire holographique permet de stocker l'information en 3 dimensions. La recherche d'une donnée ne se fait plus par son adresse mais par son contenu (comme c'est le cas pour le cerveau humain). Les travaux actuels permettent d'envisager rapidement des mémoires de 300 Go ayant un temps d'accès de moins d'une milliseconde et permettant un débit de 1 Gbits/s. De nombreuses start-ups se

créent actuellement pour commencer à commercialiser cette technologie, telles que Optosor en Allemagne ou Optilink en Suède qui annonce dès maintenant une capacité de 4 Mo, InPhase Technology ou encore Constellation 3D¹⁴.

Le record de stockage dans un volume est actuellement japonais. L'université de Kyoto s'oriente vers un mélange de verre et de samarium, un élément chimique rare. Lorsqu'un faisceau laser de très courte durée (de l'ordre de la femtoseconde) touche un atome de samarium, celui-ci modifie le verre qui l'entoure en créant de minuscules cercles lumineux de 400 nanomètres de diamètre. Il devient ainsi possible de distinguer deux états. Une telle mémoire permettrait de stocker 1 To dans seulement 1 cm³ (soit 1 Po dans l'espace que représente un disque dur actuel!)¹².

La vitesse de la lumière, si elle est constante dans le vide, peut être moindre dans certains matériaux. Au Harvard Smithsonian Centre of Astrophysics, les chercheurs ont réussi durant l'année 2001 à arrêter la lumière. Cela ouvre la porte à de nouvelles possibilités de stockage¹³.

2. PARTAGER LA MÉMOIRE DANS LE MONDE : LE PAIR À PAIR

Nous avons vu que la mémoire peut être embarquée dans un appareil. Mais si celui-ci est relié au réseau mondial, il peut alors bénéficier d'une mémoire bien plus importante, éventuellement partagée avec d'autres appareils.

LA MÉMOIRE DANS LE MONDE

Les chiffres de l'information numérique dans le monde ne se comptent plus en tera-octets mais en peta-octets (millions de milliards d'octets). Ainsi, le cabinet de conseil IDC indique que 3 Po de mémoire supplémentaires ont été installés dans le monde durant l'année 2000. Le Web (inclus le contenu des bases de données que l'on appelle parfois le « Web profond ») représenterait 8 Po et les mails échangés en 2000 pèseraient 11 Po.

Si l'on prend en compte l'ensemble de l'information produite sur la planète, il nous faut passer à un ordre de grandeur supérieur. L'université de Berkeley a mené une étude pour évaluer l'ensemble de l'information produite sur la planète¹⁴. Les chercheurs ont inclus les livres, la télévision et même les radiographies. Le résultat est de 3 Eo (3 Exa-octets soit 3 milliards de milliards d'octets) pour l'année 2000 avec un doublement prévu tous les ans jusqu'en 2003 !

Le client-serveur

Pour disposer de mémoire accessible en ligne il existe plusieurs possibilités. La première solution est offerte par le modèle « client-serveur ». Les données sont centralisées sur un serveur et des postes « clients » font des requêtes pour recevoir les informations qu'ils désirent. C'est le modèle même du Web qui s'est très fortement répandu sur l'Internet. Pourtant, l'ironie du sort fait que l'application qui a permis le décollage des usages de l'Internet a un modèle radicalement opposé à l'infrastructure technique de l'Internet. Autant les ordinateurs et les routes qui les relient sont décentralisés, autant les données sont en général cen-

tralisées sur un serveur Web (et parfois quelques sites miroirs). Contrôlez un serveur Web et vous contrôlez l'ensemble des données qu'il contient.

Le pair à pair

Il existe une autre architecture pour le stockage des données qui est la retranscription au niveau données de l'architecture décentralisée de l'Internet au niveau matériel. Il s'agit de l'architecture pair à pair (en anglais : *peer-to-peer*¹⁵). Dans ce cas, les données sont dupliquées sur différents systèmes et les recherches se font de proche en proche.

Le représentant le plus célèbre des systèmes pair à pair est le site d'échange de musique Napster¹⁶. Pourtant, le modèle n'y est que partiellement mis en œuvre. Si les données (des fichiers musicaux au format MP3) sont bien réparties sur les disques durs des internautes, les index qui permettent de retrouver un morceau sont, eux, centralisés. La société Bertelsmann, en rachetant Napster, s'est ainsi assuré la maîtrise du système. Pourtant, Napster a été le logiciel dont la croissance du nombre d'utilisateurs a été la plus rapide de l'histoire¹⁷.

Un système plus proche encore du modèle pair à pair est celui de Gnutella¹⁸. Dans ce cas, il n'y a plus d'organisation centralisée et les recherches se font de proche en proche jusqu'à ce que le fichier recherché soit trouvé. Mais plus encore, Freenet¹⁹ est sans doute celui qui applique le modèle jusqu'au bout. Ici, les données sont toujours stockées sur les postes de travail qui font partie du réseau et les recherches se font de proche en proche. L'internaute ne sait même plus quelles sont les informations qu'il stocke. Les pages et fichiers à consulter se déplacent dynamiquement et les pages souvent visitées se dupliquent et deviennent plus nombreuses, rendant difficile toute censure. Les réseaux Mojo Nation²⁰ et Publius²¹ sont basés sur des principes similaires.

L'abondance

Les systèmes pair à pair peuvent paraître peu efficaces tant l'information y est dupliquée et redondante. Comme tous les systèmes fondés sur l'abondance, ils sont particulièrement bien adaptés à un environnement imprévisible grâce à leur qualité d'adaptabilité. Mais pour que le modèle puisse se développer, il faut que les connexions permanentes se développent et que chacun puisse bénéficier d'une adresse fixe. Pour cela l'arrivée du protocole IPv6 est cruciale²².

Le pair à pair a souvent la réputation sulfureuse de ne servir qu'au piratage de fichiers musicaux ou de films. Cela est probablement dû au fait qu'il

est totalement orienté vers une stratégie « abondance de choix pour s'adapter à l'imprévisible ». Il est ainsi en opposition avec l'approche « Prévoir pour gérer la rareté de façon efficace », telle qu'on la trouve dans le traitement actuel des droits d'auteurs. La plupart des conflits de fond que l'on rencontre dans les technologies de l'information et de la communication sont situés à l'intersection de ces deux approches apparemment irréconciliables.

EXEMPLE**QUELQUES SYSTÈMES PAIR À PAIR**

Le peer-to-peer pour faire face aux problèmes de stockage massif de données ²³.

Pour anticiper le développement du traitement et du stockage massif de données, plusieurs entreprises et universités se positionnent sur des projets de systèmes de données collaboratives. Microsoft Research est engagée sur le projet Farsite de Bill Bolosky qui veut utiliser le modèle du peer-to-peer pour le stockage massif de données. L'université de Californie à Berkeley, The Defense Research Projects Agency, IBM et EMC travaillent sur le projet OceanStore, « a network-free file system » constitué de 100 000 d'ordinateurs pour traiter 10 000 téraoctets de données.

Le « peer-to-peer » gagne l'entreprise ²⁴

Du traitement coopératif à la coopération en ligne, en passant par les annuaires et même les ERP, le modèle « peer-to-peer » gagne l'entreprise grâce à des standards et des offres logicielles à la fois économiques, simples à administrer et sécurisées.

Le téléphone mondial en local grâce au P2P ²⁵

Le Free World Dialup Project - animé par la société Pulver.com - prépare une solution peer-to-peer qui permettrait à chacun d'emprunter les lignes téléphoniques d'autres internautes pour transformer ses appels internationaux en appels locaux.

3. L'INFORMATION SE STRUCTURE GRÂCE À XML

A. L'information : document ou base de données ?

L'échange d'information au niveau mondial se met en place, mais comment cette information est-elle structurée ? Il existe deux façons de permettre à un utilisateur d'accéder à l'information :

- Dans le cas du document, un traitement est effectué avant (il s'agit de la rédaction). L'utilisateur dispose d'une information préparée par le rédacteur qui lui propose un enchaînement logique entre les différents éléments.
- Dans une base de données, les informations sont simplement structurées et le traitement est fait « a posteriori » par l'utilisateur sous forme de requêtes pour chercher un élément particulier.

Une initiative est aujourd'hui en cours pour tenter de concilier les approches « a priori » et « a posteriori » avec les documents intelligents. Dans ce cas, on allie les avantages des documents et des bases de données : un prétraitement se fait à l'avance pour créer des « gabarits ». Les documents sont ensuite créés dynamiquement en fonction des actions de l'utilisateur. Progressivement, la notion de document évolue pour permettre à la fois la conservation de l'information et son traitement.

tement se fait à l'avance pour créer des « gabarits ». Les documents sont ensuite créés dynamiquement en fonction des actions de l'utilisateur. Progressivement, la notion de document évolue pour permettre à la fois la conservation de l'information et son traitement.

B. Qu'y a-t-il dans un document ?

Un document est toujours constitué de quatre éléments qui ont chacun leur importance ²⁶ :

- Le contenu est la base même du document. Il peut être constitué de textes, mais aussi de nombres, de tableaux, d'images ou d'éléments multimédias ainsi que de liens hypertextes.
- La structure logique du document est fondamentale. Elle permet de retrouver chaque morceau d'information en séparant le document en chapitres et sous-chapitres mais aussi en donnant à certaines parties un statut particulier (encadré, mots indexés...).
- Le contexte apporte des indications de l'environnement (auteur, date de publication...). Il est souvent indispensable pour permettre de qualifier le document.
- La présentation reflète souvent la structure. Elle permet de distinguer les différents éléments d'un document.

La présentation

La présentation d'un document n'est pas indispensable à conserver car elle dépend fortement du support utilisé. Ainsi un élément indiqué comme important (ce qui est une information structurelle) peut être représenté en gras sur un support papier noir et blanc ou en rouge dans un document couleur. Il peut aussi apparaître clignotant sur un écran informatique. Le fait d'attacher la présentation au support de lecture plutôt qu'au document lui-même permet de mieux l'adapter. Si par exemple des modes d'affichage tridimensionnels apparaissent dans le futur, l'élément important pourra apparaître avancé par rapport au reste du texte même si le document a été rédigé avant l'arrivée de telles innovations.

C. La famille des standards XML

Le standard XML (eXtended Mark-up Language) développé par le W3C est particulièrement bien adapté à cette nouvelle compréhension de l'information ²⁷.

Jusqu'à présent, on conservait souvent les documents dans les formats attachés au logiciel utilisé au départ (un format de traitement de texte propriétaire pour les documents classiques et en HTML pour les documents publiés sur le Web). XML permet de conserver dans un format pérenne le contenu, la structure et le contexte de l'information tout en le publiant sous diverses présentations (document traditionnel, pages Web, CD-ROM...).

Il ne s'agit pas simplement d'un format standard mais d'un ensemble de spécifications qui s'articulent autour du standard de base XML :

- XHTML pour les pages Web ;
- SVG pour les graphiques vectoriels ;
- PNG pour les dessins en mode point ;
- SMIL pour les documents synchronisés (incluant de la vidéo ou du son) ;
- VRML pour les mondes 3D ;
- Etc.

Un autre support de la galaxie XML est le format RDF (Resource Description Framework) qui prend en charge les métadonnées qui gèrent le contexte. Il sert de base à plusieurs autres standards :

- P3P (Platform for Privacy Preferences Project) pour la définition des politiques par rapport à la vie privée ;
- CC/PP (Composite Capabilities/Preference Profiles) pour la définition des profils de périphériques ;
- Etc.

Quant à la structure du document, elle est maintenant prise en charge par les schémas XML. De nombreuses informations sur XML peuvent être obtenues en français sur le site du projet « Mutualiser XML »²⁸, soutenu par la FING.

4. LES MÉDIAS S'INTÈGRENT AU SEIN DE MPEG-4

Un deuxième format devrait prendre une grande importance dans les prochaines années. Il s'agit du format MPEG-4. Bien qu'il soit plus connu actuellement pour ses performances supérieures au MPEG-2 utilisé pour les DVD (un fichier MPEG-4 est quatre fois moins gros qu'un fichier MPEG-2 pour une qualité équivalente), ce nouveau format présente en outre de nombreux intérêts pour le développement des médias interactifs.

MPEG-4 permet d'intégrer au sein d'une même présentation aussi bien

les éléments naturels (photos, sons, vidéos) que les éléments synthétiques (textes, dessins et graphiques, partitions musicales, mondes virtuels 3D). Il devient par exemple possible de construire en temps réel une image composée de scènes 3D, de vidéos, de photos et de textes prenant en compte les interactions de l'utilisateur. Chaque élément étant considéré comme un objet, il devient modifiable, que ce soit un élément constituant la scène (par exemple une texture, une photo ou un son) mais également un élément d'un film (un personnage se déplaçant sur un fond lui-même en mouvement).

Dans le cas par exemple des « têtes parlantes » (*talking head*, un des aspects du format MPEG-4), la photo d'un visage est « mappée » sur une tête modélisée en 3 dimensions et peut être animée en temps réel en fonction d'une voix numérisée ou même synthétisée à partir d'un texte écrit. Les têtes parlantes ainsi que l'intégration des images réelles et des décors virtuels ouvrent la voie à des films réellement interactifs où le spectateur est projeté au cœur de l'ac-

EN DIRECT DES LABOS

LE FILM ET LE JEU CONVERGENT

Le laboratoire de Marc Cavazza de la School of Computing Mathematics de l'université de Tesside, travaille à la création de narration interactive.

L'interaction des agents entre eux et avec l'utilisateur va créer une histoire. Elle demeure « Narrative Drive », c'est-à-dire que le joueur a beau perturber l'histoire, elle demeure par son scénario, même si les événements qui la composent peuvent changer.

Cela est obtenu grâce à une programmation et une modélisation des personnages par objectifs. Le travail actuel se fait à partir des personnages principaux de la série *Friends*²⁹.

POUR EN SAVOIR PLUS

LA FAMILLE MPEG

Le MPEG (Motion Picture Expert Group) est une famille de normes pour le codage des informations audiovisuelles dans un format numérique compressé.

- MPEG-1 est plus particulièrement dédié à la vidéo en basse qualité pour les CD-ROM (352X240 en format NTSC et 352X288 en format PAL). Il permet une compression d'environ 25:1 avec des débits de 0,2 Mbits/s pour le son et 1,2 Mbits/s pour la vidéo. Un des formats audio prévu par cette norme a également connu une vie autonome : il s'agit du format MP3 (MPEG-1 layer 3) ;
- MPEG-2 se destine à la vidéo de qualité diffusable (broadcast). Il est utilisé à la fois dans les DVD et dans la diffusion numérique par satellite de télévisions. Les débits sont compris entre 4 et 6 Mbits/s ;
- Le format MPEG-3 dédié à la télévision haute définition n'a pas eu le succès escompté et est tombé dans l'oubli ;
- MPEG-4 est le nouveau format de référence qui permet une meilleure compression pour la vidéo de divers niveaux de qualité mais également l'intégration avec les autres médias naturels et synthétiques ;
- MPEG-7 a été publié en septembre 2001. Il s'agit d'une interface de description de contenus multimédias. Le MPEG-7 permet de décrire une scène, le scé-

nario d'un film et les conditions d'accès (droits). Il s'agit en quelque sorte des méta-données qui conservent le contexte ;

- MPEG-21 est prévu pour 2002. Il offrira un cadre pour l'intégration de tous les supports multimédias ;
- L'Internet Streaming Media Alliance ³⁰ (ISMA) travaille à définir un format de streaming pour le MPEG-4 afin de permettre la diffusion en continu ;
- Enfin le consortium Web3D ³¹ cherche à faire converger les divers standards de monde 3D existant : Java3D, MPEG-4 et X3D (un mélange de VRML et de XML). Pour en savoir plus, voir « Foire aux Questions sur le format MPEG-4 version 1.0 du 28 février 2001 ³² ».

NOTES DE LA CINQUIÈME PARTIE

1. Voir la deuxième clef sur « les technologies matures », p. 33.
2. Voir la troisième clef sur « les technologies en plein essor », p. 40.
3. Voir « IBM through the years – 1956 » : http://www-1.ibm.com/ibm/history/history/year_1956.html
4. A pas confondre avec le « iota » de l'alphabet grec qui signifie dans le langage courant... « presque rien » !
5. Histoire de l'informatique : <http://histoire.info.online.fr/hard.html>
6. Sources : *Pour la Science* juillet 2000 et IBM (valeur de densité obtenue en laboratoire).
7. Technologie « Antiferromagnetically-Coupled Media ».
8. Source : *01 Informatique* n°1633 du 11 mai 2001, p. 52.
9. Tivo : <http://www.tivo.com> et ReplayTV : <http://www.replay.com>
10. Quantum QuickView IEEE 1394 DVR Subsystem : <http://www.maxtor.com/Quantum/quantum/pc/pr/pr01010301.htm>
11. Voir : <http://physicsweb.org/article/world/13/7/7/1>
12. InfoWorld : <http://www.infoworld.com/articles/hn/xml/01/04/25/010425hncube.xml?0425wepm> et Internet Actu du 27/4/2001 : <http://www.internetactu.com/archives/iactu85.html#tec4>
13. Voir : <http://cfa-www.harvard.edu/newtop/previous/020201.html>
14. Université de Berkeley, « How Much Information » : <http://www.sims.berkeley.edu/research/projects/how-much-info/>

15. La traduction de cette expression en français est parfois « plusieurs à plusieurs » ou « personnes à personnes ».
16. Napster : <http://www.napster.com>
17. Nigel Barnett, « Swang Song for Napster », in Institut national des télécommunications, observatoire des stratégies et technologies de l'information et de la communication, *Télécom, Electronique, Informatique, Médias, Internet, l'année 2000*, Evry, 2001, p. 44.
18. Sur Gnutella, voir par exemple <http://www.gnutellanews.com> ou <http://www.gnutellaworld.net/gw/stories.php> ou encore les sites des logiciels clients comme Bearshare : <http://www.bearshare.com> ou Limewire : <http://www.limewire.com>
19. Le site de développement coopératif de Freenet : <http://freenet.sourceforge.net>
20. Mojo Nation : <http://www.mojonation.net>
21. Publius : <http://publius.cdt.org>
22. Voir la partie « une nouvelle version du protocole Internet », p. 65.
23. Lettre de la FING du 22/2/2001 : <http://www.fing.org/index.php?num=852,4>
24. Lettre de la FING du 28/5/2001 : <http://www.fing.org/index.php?num=1355,4>
25. Lettre de la FING du 8/3/2001 : <http://www.fing.org/index.php?num=924,4>. Le Free World Dialup project : <http://www.pulver.com/fwd>
26. Jean-Michel Cornu, *Guide de l'information numérique*, INSAR supplément III 1997, Office des Publications de la Commission Européenne.
27. Voir en particulier le document « XML en 10 points » du W3C : <http://www.w3.org/XML/1999/XML-in-10-points>
28. Mutualiser l'effort de montée en compétence sur <XML/> : <http://www.mutu-xml.org>
29. Marc Cavazza, « Intervention de l'utilisateur dans le déroulement d'une histoire virtuelle interactive », Conférence Laval Virtual du 16 au 18 mai 2001 : <http://www.fing.org/index.php?num=1332,4> et le site du projet <http://www-scm.tees.ac.uk/users/f.charles/virtual-storytelling>
30. Internet Streaming Media Alliance : <http://www.ism-alliance.org>
31. Web3D consortium : <http://www.web3d.org>
32. FAQ disponible sur le site de la FING : <http://www.fing.org/index.php?num=1901,4> ainsi que sur le site de l'association Vidéon : http://www.videon.org/info/faq-MPEG-4_1-0.html

SIXIÈME PARTIE

QUATRIÈME VAGUE : L'INTERFACE AVEC LE MONDE

1. LES TERMINAUX ET LES OBJETS COMMUNICANTS

A. Une grande diversité de terminaux

Contrairement à ce qu'on pourrait penser, les terminaux connectés ne se réduisent pas à l'ordinateur personnel ou au téléphone portable. Au contraire, on constate qu'ils se multiplient et gagnent en diversité. Aux nouveaux terminaux du type :

- Palmtops ;
- E-books (livres électroniques),
- Set top boxes (boîtiers à brancher sur la télévision pour accéder à l'Internet) ;
- Magnétoscopes numériques ;
- Terminaux embarqués dans la voiture ;
- Consoles de jeux...

... s'ajoutent les appareils électroniques hybrides, fruits de la convergence de technologies différentes, cherchant à marier des usages multiples :

- Appareils mariant des fonctions auparavant très différentes comme le baladeur et l'appareil photo, ou le téléphone et le baladeur ;
- Appareils de lecture-enregistrement qui marient les formats et les supports et se dotent de modems pour pouvoir récupérer des contenus en téléchargement ;
- Télévisions qui deviennent terminaux numériques permettant de gérer de nouvelles applications : surf sur l'Internet, contrôle du réseau de surveillance domestique...

Si les objets intelligents et connectés se multiplient, les objets traditionnels eux aussi « s'électronisent » et se mettent à gagner en intelligence en se connectant au réseau :

- Objets domestiques (cadres à photos ¹, bouilloire connectée pour la télé-surveillance ²...);
- Vêtements intelligents (écharpe communicante ³, brassards de santé ⁴, gants de données, casques et lunettes de réalité virtuelle ou de réalité augmentée ⁵...);
- Appareils électroménagers (comme le célèbre frigo connecté d'Electrolux ⁶...);

La diversité des terminaux qui naissent dans les laboratoires ou qui, demain, apparaîtront sur le marché, laisse à l'imagination le soin de rejoindre la réalité.

Scénario – Jusqu'ici tout va bien

Ce scénario ⁷ écrit par Cécile Plet, évoque la journée d'une journaliste. L'extrait présenté ci-dessous décrit un ensemble de terminaux très légers qui facilitent le travail du reporter en déplacement. Comme nous allons le voir, même s'ils semblent futuristes, les appareils présentés sont proches de la réalité.

16 heures : Conférence de rédaction internationale.

Tous les journalistes du groupe dans lequel je travaille se réunissent une fois par mois. Comme nous sommes tous éparpillés sur la planète, nous nous retrouvons dans la salle de travail virtuelle. Une belle salle, installée au bord de la mer, avec le soleil qui passe par les fenêtres, un petit vent léger pour ne pas avoir trop chaud.

Même si tout est virtuel, c'est quand même bien agréable de se retrouver une heure dans cet univers, alors que dans la vraie vie, il pleut et il fait froid. D'ailleurs, depuis qu'ils ont mis en place cette salle de travail virtuelle, le taux d'absentéisme a chuté de façon vertigineuse. Tout le monde vient et comme on sait que tout ça n'est que virtuel, on bosse efficace. C'est parfait.

Et il nous suffit de mettre une paire de lunettes de soleil sur le nez pour retrouver le correspondant à New-York ou notre reporter, immergé depuis trois mois dans la jungle amazonienne. Celui-là nous envoie des articles passionnants.

Il est équipé d'un simple stylo et du même écran papier que j'avais tout à l'heure. Mais son stylo prend aussi des photos numériques. Bref, le stylo envoie les photos au journal, via les satellites, et l'écran les textes. En gros, maintenant, pour partir en reportage, l'équipement pèse en tout et pour tout 300 grammes. 100 grammes pour le stylo-photo, 100 grammes pour le papier-écran et 100 grammes pour les lunettes de réunion.

Les objets décrits dans le scénario précédent – « Jusqu'ici tout va bien » – existent pour la plupart dès à présent à l'état de recherche.

Xerox a fondé Gyricon Media pour commencer à commercialiser le papier électronique (Smart Paper™) ⁸. Les magasins Macy's l'utilisent dès à présent pour des étiquettes qui se mettent à jour automatiquement ⁹. E-Ink Corp. et Lucent se sont associés pour développer un procédé d'encre électronique ¹⁰.

Du côté des lunettes-écran, Hitachi et Xybernaut ont mis au point un Wearable Internet Appliance (un ordinateur corporel complet), qui se porte comme des lunettes et projette devant la vue un écran virtuel équivalent à 13 pouces et qui pèse seulement 80 grammes ¹¹. Microvision commercialise pour sa part un système qui projette directement l'image sur la rétine ¹².

EN DIRECT DES LABOS

LES OBJETS SE RÉPARENT

Nos objets usuels deviennent intelligents et communicants, mais ce n'est pas tout ! Ils apprennent à se réparer et même à se construire...

L'équipe de Scott White de l'université de l'Illinois a mis au point un matériau capable de « cicatriser » en cas de rupture, un peu comme la peau humaine ¹³.

Il devient également possible de réaliser automatiquement des objets en déposant de fines couches de poudre qui sont taillées à chaque fois par un laser à partir des informations contenues dans un fichier ¹⁴. La société Monsieur@faltazi met en place le premier réseau de distribution d'objets directement produits sur le lieu de consommation ¹⁵.

B. Les objets communicants

L'être humain n'a pas le monopole du dialogue avec les ordinateurs, au contraire. Avec 7,9 milliards de contrôleurs embarqués, les objets dits « intelligents » devraient dépasser le nombre d'humains sur cette planète en 2002. De plus en plus les machines parlent entre elles. Du contrôle commande d'automatismes simples aux développements robotiques, les objets communicants, avant d'interagir avec l'homme, sont surtout appelés à communiquer entre eux.

C. Quand les objets usuels communiquent

Face à l'apparition des robots dans notre environnement, la révolution des objets communicants sera peut-être plus invisible avec l'arrivée de capacités de traitement et de communication dans nos objets usuels. Nicolas Demassieux, directeur du centre de recherche de Motorola, cite l'extincteur muni d'un petit capteur de pression, qui chaque mois envoie un simple message pour dire « j'ai

le niveau de pression qui convient » ou « le niveau est insuffisant »¹⁶. Des « micro-informations » vont ainsi circuler entre les objets, à l'intérieur de nos maisons, dans nos vêtements...

Au Japon, le thé est une institution nationale. D'où l'idée d'ajouter à la bouilloire traditionnelle des moyens de traitement et de communication supplémentaires pour l'assistance aux personnes âgées¹⁷. Celle-ci est normalement utilisée de nombreuses fois par jour. Si la bouilloire n'a pas été utilisée pendant un temps défini, elle appelle automatiquement les secours, sa propriétaire ayant sûrement eu un malaise.

EN DIRECT DES LABOS

LA « CYBER-LINGERIE »

Intelligents, bioactifs, interactifs, les soutien-gorges (*bra* en anglais) de demain nous envelopperont de leurs technologies¹⁸.

- Le Techno Bra¹⁹ conçu par un étudiant anglais est un prototype de soutien-gorge lavable composé d'un monitoring cardiaque, d'un GPS (Système de positionnement global) et d'un téléphone cellulaire censé déceler les modifications cardiaques afin de prévenir la police en cas d'agression. Pour demain, non seulement les soutien-gorges seront en microfibres médicamenteuses, amincissantes, cicatrisantes, mais ils pourront contenir des microcapsules diffusant onguent, baume, parfum, molécules anti-âge, somnifères.
- En 2002 le Smart Bra²⁰ (projet de l'université australienne de Wollongong) sera conçu dans une matière intelligente et contiendra une puce qui se chargera de transformer les propriétés du tissu selon les sollicitations et mouvements de la poitrine.
- Vers 2003 devrait apparaître l'Electronic Bra, conçu par la Montfort University de Leicester (Angleterre) qui permettra au médecin de déceler, grâce à de mini-impulsions électriques dans le sein, toute excroissance suspecte en rendant une cartographie mammaire à l'écran.
- En 2004 et plus, les chercheurs du MIT (Massachusetts Institute of Technology) auront développé un sous-vêtement « cyborgian » qui permettra de contrôler à partir de notre propre chaleur corporelle la température de la pièce dans laquelle nous nous trouverons...

La communication entre objets

Après la communication de personne à personne, puis la communication de personne à objet, devrait se développer la communication d'objet à objet. Mais la communication entre objets n'a pas les mêmes besoins que celle entre les êtres humains. Si le débit nécessaire est faible (souvent un simple message court), la mobilité très étendue devient particulièrement importante. Ainsi le satellite « Leo One » offre un service a priori étonnant : l'utilisation du satellite pour le très bas débit. Un terminal à bas coût peut être intégré dans des objets et ainsi échanger de simples SMS²¹.

D. Des robots qui s'adaptent

Parmi les nouveaux objets intelligents qui vont modifier notre rapport aux machines, il y a bien sûr les robots.

EXEMPLE

DES ROBOTS COMPAGNONS POUR ENFANTS

Les objets peuvent ainsi communiquer avec leur « maître » tel le premier chien robot « Aibo 1 » de Sony qui a lancé un mouvement qui s'est amplifié ces derniers mois. Après un chien et un chat, Sony a lancé deux oursins en septembre 2001²².

D'autres constructeurs ont lancé de nombreux robots compagnons et l'on trouve aujourd'hui plus d'une quinzaine de robots avec des prix allant de 15 à 274 €²³. Outre les chiens comme « sac@puces.com » et les chats comme « cat-web », on trouve par exemple le perroquet « coco-web », le lézard « Lezzi @Mambo » et même un poisson, une araignée et un dinosaure.

Le chien Dog.com évolue en fonction de la façon dont on le traite. Il peut ainsi passer d'un langage de chien, à un langage mixte mélangeant les bruits de chiens et les phrases humaines et même à une étape où il ne parle que l'humain. Il peut alors adopter 16 personnalités différentes (excentrique, inquiet, frimeur, fayot...)

Le chien I-Cybie obéit à son maître grâce à ses 16 moteurs et ses 11 capteurs. Suivant les circonstances, il pourra être heureux, triste, surexcité, endormi ou malade. Il pourra à la demande de son maître s'asseoir, donner la patte, se gratter l'oreille, faire le beau et même le poirier...

Mais les robots de demain ne seront pas que des jouets pour enfants. Une part essentielle des recherches dans le domaine s'attelle à comprendre comment les robots s'adapteront à leur environnement.

L'équipe Miriad de l'université Pierre et Marie Curie et le laboratoire d'informatique de l'université Paris VI (LIP6) travaillent sur le projet MICRobES²⁴. Ils cherchent à constituer un « écosystème » satisfaisant pour des sociétés de robots afin de constituer une base versatile et autonome.

Les colonies de robots

Les notions d'abondance s'appliquent également aux robots. Ainsi, si l'environnement est incertain, il vaut mieux disposer d'une abondance de robots qui s'allient pour accomplir une tâche. Les robots développés dans le cadre du projet CONRO (*Configurable Robots*) de l'université de Californie²⁵ sont des unités simples mais interchangeables. Si un robot défaille, il peut être remplacé par un autre. L'objectif est de les rendre autonomes et qu'ils s'assemblent en choisissant eux-mêmes l'aspect à adopter en fonction de leur déplacement. La NASA utilise le même principe avec les Snakebots²⁶ qui peuvent s'assembler pour créer par exemple un bras mécanique spatial, même si quelques-uns tombent en panne ou se perdent dans l'espace.

LA ROBOTIQUE AUTONOME

Les robots gagnent en autonomie grâce aux travaux en automatisme, en intelligence artificielle mais également en sciences cognitives ou en biologie.

La lettre de Jean-Paul Baquiast et de Christophe Jacquemin, « Automates Intelligents »²⁷, suit ces travaux. Elle définit un robot autonome comme un « robot évolutif, capable d'apprendre et de se fixer lui-même ses propres objectifs », autonome s'entendant comme « doté de capacités d'adaptation face à un environnement aléatoire. »²⁸

Cette discipline est mal connue en France alors qu'elle se développe très rapidement un peu partout face aux enjeux militaires et économiques. Plusieurs laboratoires français poursuivent cependant des recherches de pointe. Parmi eux :

- L'Anitlab du Lip6 développe divers programmes de robots adaptatifs inspirés des animaux, tels que le Psikarpax basé sur la sélection de l'action par le rat, ALPha pour des animaux volants ou MICROBES, déjà présenté.
- L'Institut national de recherche en informatique et automatique avec des projets tels que BIP sur les robots marcheurs ou ICARE (Instrumentation, commande et architecture des robots évolués).
- Le Service de robotique et systèmes interactifs (SRSI) du CEA-LIST poursuit notamment des travaux sur les robots d'intervention en milieu hostile (nucléaire, milieu sous-marin.)
- Le Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (LAAS) du CNRS étudie et conçoit des machines autonomes dans des environnements variables, inconnus ou partiellement modélisés.

2. COMMUNIQUER AVEC LES MACHINES PAR LES CINQ SENS**Les cinq sens**

Si jusqu'à présent on communique essentiellement avec nos machines par l'intermédiaire de souris, de claviers, d'écrans tactiles ou de joysticks, cet état de fait pourrait être bouleversé par l'apparition de nouvelles interfaces dédiées aux sens humains.

- Le toucher : de la manette de jeu à retour de force à l'utilisation de gants de données pour manipuler les objets virtuels, les interfaces haptiques²⁹ permettent d'appréhender toujours plus finement le pilotage d'outils à distance pour la télémanipulation médicale ou spatiale par exemple.

EN DIRECT DES LABOS**LE TOUCHER PAR DES FICELLES****Le Spidar, système à retour d'effort à fil**

Alors que le « sans fil » semble d'avenir, le projet japonais Spidar prend le contrepoint de la mobilité pour proposer une interface haptique encombrante et bourrée de fils, mais néanmoins séduisante. Le principe est simple : on enchâsse le bout de ses doigts dans des capsules de plastique reliées par des fils et des moteurs à un

ordinateur. En bougeant les doigts, on tire alors sur les fils qui savent se bloquer pour faire ressentir une force ou un objet là où il n'y a rien. Sur un moniteur de contrôle, on peut ainsi manipuler un Rubik's Cube virtuel, alors que nos mains s'agitent dans le vide. Si, à ce stade, on sent plus le capuchon de plastique que l'on a au bout des doigts qu'un véritable Rubik's Cube, l'interface est assez amusante. Surtout que les chercheurs du Pitech, où est développé le Spidar, offrent aussi la possibilité de manipuler un objet virtuel à plusieurs³⁰.

- L'odorat : le « web odorant »³¹, étudié par Digiscent, France Télécom et Ruez Technology, est un diffuseur d'odeurs, qui, via un diffuseur local, associe des odeurs aux contenus multimédias consultés.
- Le goût : Alpha-Mos en France développe des outils pour analyser le goût, par le biais d'un nez et d'une langue artificiels³².
- L'ouïe et la voix : si la commande vocale simple commence à trouver quelques applications³³, la reconnaissance vocale dans sa version complète, elle, en est encore à ses balbutiements (problèmes d'apprentissage, d'environnements bruyants, d'interprétation du sens, du rendu du naturel de la voix...). Mais des solutions commencent à sortir des laboratoires, comme le système norvégien ORCAP qui permet d'afficher des sous-titrages en temps réel, à condition que le présentateur ait suivi une formation spéciale³⁴.

EN DIRECT DES LABOS**LA FOCALISATION DU SON**

Alors que la caractéristique principale du son est de se propager dans toutes les directions, F. Joseph Pompei, du Media Lab du Massachusetts Institute of Technology (MIT), a réussi à le rendre directif³⁵.

Son système baptisé « audio spotlight » est capable de générer un rayon d'ultrasons qui produit à son tour, à l'aide de combinaison de fréquences appropriées, des sons audibles se propageant ainsi dans une seule direction.

L'American Technology Corporation de San Diego (Californie) qui développe une technologie similaire a déjà signé un accord avec un chantier naval pour équiper un contre-torpilleur de la Marine. Mais les applications de ce genre de systèmes laissent divaguer l'imagination : publicité ciblée selon les rayons dans les supermarchés, commentaires appropriés devant chaque œuvre dans un musée, musique personnalisée pour chaque passager dans une voiture...

- La vue : les écrans – par essence encombrants, fixes et immobiles – sont appelés à se transformer. Non seulement ils s'aplatissent et se « flexibilisent », mais les lunettes et casques de réalité virtuelle ou de réalité augmentée³⁶ ou les murs interactifs³⁷ pourraient bien les détrôner demain dans nos relations avec les machines.

EN DIRECT DES LABOS**L'ÉCRAN NOUVELLE GÉNÉRATION S'APPELLE... LA RÉTINE**

Utiliser directement la rétine comme écran pour voir les images. Ce rêve de nombreux ingénieurs de par le monde passe à la réalité. La société Microvision³⁸ vient en effet de concevoir le Retinal Scanning Display : un procédé permettant de projeter une image directement sur la rétine. Le Pentagone teste déjà le produit et la firme Boeing est également très intéressée par le prototype pour équiper ses simulateurs de vol. Sans compter les applications énormes que pourrait avoir une telle technologie dans le domaine de la médecine.

Scénario – Les gardiens du noir

Ces interfaces de plus en plus proches de nos sens seront-elles bien acceptées par tout le monde ? Anne-Caroline Paucot, dans un scénario de la Fabrique des possibles de la FING, imagine la vie des aveugles qui refusent des yeux électroniques³⁹.

Refusant la greffe d'yeux électroniques, les « veilleurs de nuit » vivent dans le noir. Cette nuit éternelle leur procure sérénité et bien-être. « Je crois que nos nuits sont plus belles que vos jours », affirme Max. « La nuit porte conseil. Vivant dans le noir, nous sommes plus avisés que les voyants », ajoute Léox. « Pour nous autres, noctambules chroniques, la fête n'a pas de secret », reprend Méray.

Aveugles de naissance ou ayant perdu la vue lors d'un accident, les veilleurs de nuit n'ont jamais voulu recouvrer la vue. Ils refusent avec obstination de se faire greffer des yeux électroniques. « Nous ne voulons pas être des êtres en kit. Des yeux machinaux, un cœur en plastique, une main synthétique... On démonte, on change. Nous ne sommes pas des robots. Nous voulons garder nos imperfections et nos faiblesses », affirme Merey. « Ces techno-produits ne sont que des prothèses qui abusent de l'individu. Ils croient qu'ils voient. En fait, une vulgaire caméra leur renvoie des images », renchérit Max en fustigeant l'archaïsme de la technique.

Le principe est resté identique à celui mis au point en janvier 2000 par des chercheurs américains. Une caméra capte des images et les stocke dans un ordinateur qui les envoie à l'aide d'électrodes dans le cortex visuel. Même si le procédé est performant, la vue reste machinale donc nécessairement pauvre. « Ce subterfuge, ils le refusent aussi par crainte de perdre leur identité : la défaillance de notre vision a provoqué un développement de nos autres sens. Nous entendons mieux, sentons mieux, notre sensibilité tactile est émoussée. De plus, nous ne sommes pas victimes de l'agression permanente des images. Ne zappant pas en permanence de l'une à l'autre, notre

réflexion peut se dérouler en continu, dans la douceur et la sérénité. » Et il est vrai que les veilleurs de nuit dégagent une plénitude et un bien-être inhabituel. Enfin, tous conviennent que ce refus d'œil électronique est un choix qu'ils ont fait et qu'ils comprennent aisément que d'autres ne partagent pas leur conviction.

A. Quelle émotion !

Imaginez qu'une personne vous répète inlassablement qu'elle ne comprend pas ce que vous voulez lui dire. Vous commenceriez probablement à vous échauffer...

Dans une conversation normale, seul 10 à 40 % du message passe par les mots exprimés. Le reste (le son de la voix, la gestuelle et la posture) représente ce que l'on appelle la communication non-verbale⁴⁰. Pour que le dialogue avec les ordinateurs soit le plus naturel possible, il faut donc prendre en compte les émotions qui percent dans cette partie souvent inconsciente du dialogue.

Des travaux existent pour extraire l'état de l'interlocuteur à partir de diverses sources :

- L'analyse de la voix ;
- Les traits du visage ;
- Et la façon de taper sur le clavier.

Outre les possibilités offertes dans l'authentification des personnes (nous en reparlerons plus loin), ces analyses permettent d'adapter la réponse de la machine à l'homme avec lequel elle dialogue.

Loin d'être des travaux débouchant dans un futur lointain, la prise en compte des émotions pourrait entrer dans le quotidien des machines très rapidement, à l'image du Notification Manager de Microsoft qui doit sortir en 2002⁴¹. Ce programme est prévu pour ceux qui ont une connexion permanente et qui voient leur stress augmenter avec le déferlement ininterrompu de messages électroniques. Il choisit le moment et la façon la plus adéquate de vous faire parvenir l'information. Autre exemple en Allemagne, où l'atelier d'innovation c-lab développe un ordinateur émotionnel capable d'exprimer des mimiques grâce à sa face calquée sur le visage humain⁴².

EN DIRECT DES LABOS**DÉVELOPPER L'ATTENTION**

La société américaine East3 Ltd a développé un casque qui permet à l'enfant de contrôler, d'entraîner et de faire progresser son niveau d'attention de façon ludique⁴³. Ce casque – baptisé Attention Trainer – est muni de capteurs qui mesurent l'attention et transmettent les informations recueillies à un logiciel de jeu en ligne conçu pour l'occasion.

Ainsi par exemple, dans un jeu de course de voitures, la mesure de l'attention de l'enfant va influencer sur le logiciel en modifiant le téléguidage de la voiture, son système de direction, son accélération et son freinage. Plus l'attention augmente, plus les commandes deviennent sensibles et plus la voiture accélère. En s'entraînant fréquemment sur le logiciel, l'enfant progresse petit à petit par le biais d'un système de scores identique à celui d'un jeu traditionnel. Prévu pour des enfants de 7 à 14 ans, le casque sera disponible dès l'hiver 2001 et d'autres applications sont envisagées, notamment en ce qui concerne les études et l'apprentissage à distance.

B. Des interfaces avec le biologique

L'interface avec la machine peut aller encore plus loin pour se rapprocher toujours plus de l'homme.

Ainsi à l'université de Berkeley en Californie, une équipe dirigée par le professeur Boris Rubinsky intègre des cellules vivantes à des puces électroniques (mars 2000)⁴⁴. Au centre médical de l'université de Duke, des singes contrôlent à distance des bras de robot grâce à des implants dans le cerveau (novembre 2000)⁴⁵. L'institut Dobbelle a annoncé pouvoir redonner 0,5/10^e de vue à un aveugle total grâce à un implant également situé dans le cerveau (janvier 2000)⁴⁶.

EN DIRECT DES LABOS**L'HOMME BIONIQUE**

Il en fallait un, ce fut Kevin Warwick⁴⁷, le premier homme à se faire greffer une puce dans le corps (plus précisément dans le bras). L'opération a eu lieu en août 1998. Au début, la puce permettait aux ordinateurs de l'université de Reading – où il est professeur de cybernétique – de le reconnaître.

Puis l'objectif est devenu de transmettre un signal depuis le système nerveux vers les machines et même de prévoir qu'un ordinateur pourrait actionner certains muscles.

Kevin Warwick a convaincu sa femme de se faire également greffer une puce pour tenter des échanges de... signaux émotionnels !

Scénario – Un tatouage vraiment communiquant

L'intégration de l'homme et de la machine inspire. Hubert Guillaud propose, pour la Fabrique des possibles de la FING, un scénario imaginant un tatouage qui change de fonction.

Au départ, c'était un simple tatouage. Un écran et un clavier d'ordinateur que je souhaitais me faire graver sur la peau. Vingt ans d'informatique, ça vous bouscule un peu les neurones pour sûr. Je me le suis fait graver sur toute la poitrine. Il était superbe. Un PowerCube dernier cri, au design sobre et futuriste.

Sur l'écran, le tatoueur – un artiste formidable – avait redessiné ma page perso. C'était super. Vraiment, j'étais très content. Mais quand j'ai fait quelques modifications sur ma vraie page perso, je me suis rendu compte que le dessin sur mon torse, lui aussi s'était modifié. Ma page perso s'était réactualisée en même temps. C'était incroyable. Le mieux, c'est quand les gifs animés se sont mis également en mouvement. C'était formidable alors de voir ce petit Père Noël bondir dans son chariot pour envoyer des cadeaux en forme de cœur...

C'est un peu plus tard que je me suis rendu compte que je pouvais aussi me servir de mon clavier comme d'un clavier normal. Je pouvais m'écrire des mails, les envoyer, surfer sur le web... J'étais devenu complètement interactif, branché, connecté. Tout le monde voulait surfer avec moi. Communiquer avec le réseau à travers moi.

Je me suis mis à faire payer les connexions. J'étais devenu un vrai cybercafé ambulante. On palpitait le réseau à travers moi... Vraiment c'était formidable. Et puis un couillon a téléchargé Winflows 6000 et depuis "je suis planté". J'ai eu beau chercher, impossible de trouver un patch pour me rebooter. Je pense à me faire tatouer un PDA sur l'avant bras, mais bon, j'hésite encore entre les modèles.

C. Et l'homme devint télépathe...**La pensée**

Depuis quelque temps déjà, les chercheurs tentent de contrôler le déplacement d'une souris simplement par la pensée. Les premiers travaux, s'ils étaient intéressants, posaient une difficulté car le système ne marchait pas avec tout le monde.

Un grand pas en avant a été obtenu par des chercheurs européens. L'Adaptative Brain Interface utilise un électro-encéphalogramme et réussit à s'adapter à chaque personne après une longue phase d'apprentissage.

EN DIRECT DES LABOS**ADAPTATIVE BRAIN INTERFACE**

Des scientifiques européens de l'Institut des systèmes et de la sécurité informatique (Isis) à Ispra (Italie) mettent au point un ordinateur qui capte les signaux électro-encéphalographiques des sujets en fonction des tâches mentales sur lesquelles celui-ci se concentre.

En pratique, l'utilisateur est coiffé d'un bonnet hérissé d'électrodes, tartiné de gel (en guise de conducteur), et doit se concentrer en alternance sur trois tâches mentales parmi sept proposées. Les signaux sont traités par un réseau neuronal artificiel, spécialement conçu pour distinguer les signaux spontanés du cerveau de ceux qui correspondent aux tâches mentales choisies. Calé dans un fauteuil moelleux, les yeux dans le vide, le cobaye amorce plusieurs séances d'apprentissage, étalées sur plusieurs jours, durant lesquels le chercheur impose une intense gymnastique mentale. Après plusieurs heures, l'ABI repère les trois pensées quand l'individu les pense, et peut leur attribuer des fonctions.

Le système, testé par un journaliste de *Libération*, est encore complexe et nerveusement fatigant à utiliser, mais est riche de promesses : « nous pouvons agir mécaniquement et physiquement avec le seul pouvoir de notre pensée, voilà ce que nous montre l'ABI », se réjouit Jose del Millan, à l'origine de l'unité de recherche ABI.

Les applications directes concernent l'environnement quotidien : le contrôle d'un fauteuil roulant ou l'interaction directe avec les outils de la maison (interrupteurs, appareils ménagers, etc.). Ce système devrait aussi pouvoir s'appliquer à de nouvelles formes de divertissement, d'éducation, dès que la technologie sera mature ⁴⁹.

Les travaux des laboratoires

Les recherches actuelles montrent tous les progrès qu'on peut attendre de l'évolution de l'interface homme-machine. Après les seuils critiques franchis dans le domaine du traitement, des communications et prochainement de la mémoire, l'interface homme-machine pourrait amener une nouvelle révolution des usages. Les technologies de l'information et de la communication pourraient se faire oublier et devenir encore plus transparentes à mesure qu'elles deviennent puissantes.

3. QUAND LE RÉEL ET LE VIRTUEL FUSIONNENT

Scénario – Cyberboules de neige

Hubert Guillaud nous montre dans ce scénario imaginé pour la Fabrique des possibles de la FING que la réalité virtuelle peut offrir des expériences inédites là où on ne l'attend pas ⁵⁰.

Les enfants de Dakar se sont amusés comme jamais au dernier Lan Arena, la grande fête du jeu en réseau organisée dans la capitale du Sénégal. En ouverture de la manifestation, une distribution géante de moufles communicantes et de cagoules thermiques a été organisée. Dans la cour de l'école Oumou Sy, deux cent cinquante enfants ont pu faire une cyberbataille de boules de neige. Quand une boule de neige atteignait l'un d'entre eux, des senseurs thermiques à retour d'efforts rendaient l'effet de l'éclatement des boules de neige aux visages des enfants. Des visages visiblement heureux sous les cagoules haptiques.

Le virtuel

Les mondes virtuels sont à la mode, que ce soit dans les films ou dans les discussions. Certains craignent des dérives et une perte du sens de la réalité. Pourtant le concept est bien plus ancien qu'on ne le pense, comme l'explique Michel Serres : « Alors que ce mot (virtuel) semble créé par les nouvelles technologies, il est né avec Aristote. Le modernisme du terme n'est qu'apparent » ⁵¹.

POUR EN SAVOIR PLUS

LE VIRTUEL DES TROUBADOURS

Michel Serres interviewé par Michel Alberganti dans *Le Monde* ⁵² explique : « Tous les mots latins en "or" ont donné des mots français en "eur" : horreur, honneur... Sauf un ! Lequel ? Le mot amour. Amor a donné amour. Pourquoi ? Il semble qu'il ait été inventé par les troubadours de langue d'oc à l'occasion du départ pour les croisades. Il s'agissait alors de chanter les princesses lointaines. Ainsi, c'est comme si l'amour avait été inventé pour et par le virtuel. "L'absence est à l'amour ce qu'au feu est le vent, il éteint le petit, il allume le grand", écrivait Bussy-Rabutin. Nous sommes des bêtes à virtuel depuis que nous sommes des hommes. Pendant que je parle, une partie de mes pensées est à ce que je dois faire ensuite, une partie est à mes cours de Stanford, une autre se souvient de mon dernier voyage en Afrique du sud... Toutes nos technologies sont le plus souvent du virtuel. »

La réalité

Mais le véritable enjeu réside dans les liens et les complémentarités entre le virtuel et le réel. Ainsi, les pilotes d'avions disposent depuis plusieurs années de systèmes de « réalité augmentée » qui superposent à leur champ de vision des informations complémentaires synchronisées avec le réel. À l'inverse, la « virtualité augmentée par le réel » a été proposée dans un scénario de la Fabrique des possibles par Emmanuel Josse ⁵³ et quasiment simultanément par la société de jeu Kalisto alliée à Sportners ⁵⁴.

Scénario – Une F1 dans mon salon

Ce scénario d'Emmanuel Josse présente une application où le réel s'immisce dans les jeux virtuels. Il montre bien les liens subtils qui peuvent se tisser entre monde réels et mondes virtuels.

La saison de formule 1 bat son plein. Aujourd'hui est le jour du Grand Prix au Portugal. Je m'installe devant l'écran et m'informe sur les préparatifs de la course. Les caméras disséminées dans les stands permettent à des millions de passionnés de rendre visite aux différentes équipes. Les données techniques disponibles sont assez précises pour satisfaire la curiosité des spectateurs les plus experts. Caractéristiques des voitures, performances mesu-

rées lors des essais et même quelques choix stratégiques révélés par les équipes en compétition. Les pronostics iront bon train et je parierai peut-être cette fois, me sentant plus à l'aise pour évaluer les chances de chaque pilote. J'ai encore quelques minutes avant la course pour me décider. En quelques clics mon choix sera fait qui me conduira peut-être au Jack Pot, c'est-à-dire au classement dans l'ordre d'arrivée de tous les pilotes encore en course. Un exercice assez difficile, où le hasard échappe souvent aux pronostics les plus qualifiés. Difficile de prévoir l'accident, l'abandon, l'erreur fatale de pilotage ou les prouesses d'un outsider.

Qu'ils aient parié ou non, les millions de terriens (ainsi que la grosse centaine de spationautes) qui vont suivre la course ont également la possibilité d'y participer à des degrés divers. Tout d'abord, les caméras embarquées sur chaque voiture proposent une vision très dynamique du pilotage et des chauffourées entre les voitures. On peut ainsi naviguer entre une multitude de points de vue, en mode autonome ou guidé. Là encore, les informations techniques peuvent être à la demande très détaillées. Je choisis le plus souvent l'option complète, juste pour le plaisir de voir le tableau de bord de la voiture s'animer sous l'écran vidéo, surtout au moment où le pilote rétrograde ou accélère. Le son ajoute aussi beaucoup au réalisme. Certaines équipes ont même eu l'idée d'ouvrir à certains moments les micros de leur pilote. Un de ceux-ci s'est tellement pris au jeu qu'il parvient à créer un lien avec son public pendant la course. À la fois drôle, dramaturge né, il sait tenir le spectateur en haleine. Certaines fois, il parvient même à la victoire !

Mais qui ne sera pas tenté de prendre lui aussi le volant aux côtés des vrais pilotes ? Il suffit pour cela de s'inscrire sur la ligne de départ, en position définie par son classement personnel. Puisque je participe aux courses depuis peu, je suis plutôt loin de la pole position... J'espère quand même faire un peu mieux que la dernière fois. Impossible de terminer, la voiture ayant pris feu. J'ai même mis hors-jeu deux autres voitures. Pas grave pour un débutant. Mais pour celui qui est bien classé, c'est une catastrophe.

Le succès du jeu est immense. Pouvoir rejoindre la course dans les conditions les plus proches possibles de la réalité, c'est bien ce qui fascine tout le monde. Les interactions entre les déplacements réels et virtuels sont tellement perfectionnées que le pilote auquel vous allez vous frotter réagira selon son propre style de conduite. Les trajectoires, la vitesse des voitures ainsi que leurs positions sur le circuit sont reproduites en temps réel, jusqu'aux moindres détails du déroulement de la course. Lorsqu'elle se termine, on est presque surpris de ne pas figurer au tableau officiel ! Parmi les millions de concurren-

rents virtuels, il est arrivé que certains joueurs remportent la course devant les pilotes professionnels. Une victoire virtuelle très reconnue puisqu'elle a même permis à ces quelques surdoués d'accéder au pilotage d'une F1 qui, elle, n'avait plus rien de virtuel...

Traverser le cyberspace

Puisqu'il existe des portes qui permettent de relier le virtuel et le réel, pourquoi ne pas utiliser le cyberspace comme un simple passage pour relier deux endroits éloignés du monde réel ? C'est l'idée de base du PRoP (Personal Roving Presence)⁵⁵ développé à l'université de Berkeley. Il s'agit d'une sorte de robot télécommandé depuis l'Internet grâce à un réseau sans fil. Il ressemble à un simple manche à balai muni de roulettes, mais est doté d'un écran, d'une caméra et d'un micro avec des enceintes. Un étudiant malade peut par exemple « prendre possession » du PRoP et assister aux cours en pouvant intervenir presque comme n'importe quel autre élève. Par rapport à une simple visiophonie, le système permet une meilleure implication. L'étudiant éloigné peut même suivre ses camarades à la machine à café pour discuter... même s'il devra se faire le café lui-même.

Ce prototype ne comporte que des technologies simples et éprouvées préfigurant des interfaces bon marché pour la téléprésence.

EN DIRECT DES LABOS

UN GOUVERNEUR VIRTUEL

De la téléprésence à la téléportation il n'y a qu'un pas. Même si la téléportation d'objet reste de la science fiction, il est possible de projeter son image à distance.

Le 5 avril 2001, le gouverneur du Texas s'est présenté sous forme d'hologramme devant une assemblée de chefs d'entreprise à l'université de Dallas. Le gouverneur se trouvait physiquement à Austin. La société qui a réussi cette performance a choisi le nom ambitieux de « Teleportec. » Le signal a été transmis à travers le réseau à haut débit américain Internet2⁵⁶.

La complémentarité

Les interfaces entre mondes virtuel et réel permettront de nouveaux usages. Pour en saisir la potentialité, il faut comprendre les liens qui peuvent se tisser entre les deux types de mondes et les complémentarités qui existent entre eux.

Une des particularités des mondes virtuels est qu'ils ont un caractère intrinsèquement abondant⁵⁷. L'interpénétration des mondes virtuels avec le monde réel pourrait ainsi changer les règles du jeu.

NOTES DE LA SIXIÈME PARTIE

1. Il existe de nombreux projets de cadre à photos connectés comme le StoryBox développé par Kodak et Weave Innovations : <http://www.fing.org/index.php?num=1015,4>
2. Voir l'exemple de l'I-pot présenté au chapitre « Quand les objets usuels communiquent », p. 96.
3. Voir le prototype d'écharpe communicante, réalisé en collaboration avec le Studio créatif de France Télécom : <http://www.fing.org/index.php?num=949,4> et <http://www.electronicshadow.com/mediacol/veste/>
4. <http://www.fing.org/index.php?num=1174,4>
5. Ainsi, par exemple, le système MARS (Mobile Augmented Reality Systems) de l'université de Columbia est un système mobile qui permet d'avoir accès au Web en marchant. Grâce à des lunettes et à une tablette de saisie, ce prototype de réalité augmentée affiche sur des lunettes en 3D toutes les informations utiles lors du déplacement : <http://www.fing.org/index.php?num=1220,4>
6. Voir : http://fing.org/fabrique/labo_fr.php?id=6
7. Scénario disponible dans la Fabrique des possibles de la FING : http://fing.org/fabrique/mess_fr.php?n=45
8. Gyricon Media : <http://www.gyriconmedia.com>
9. Lettre de la FING du 11/6/2001 : <http://www.fing.org/index.php?num=1417,4> et communiqué de presse de Gyricon Media du 3/6/2001 : <http://www.gyriconmedia.com/press/20010603.asp>
10. Communiqué de presse de Lucent 20/11/2000 : <http://www.lucent.com/press/1100/001120.coa.html>
11. Wearable Internet Appliance : <http://www.hitachi.co.jp/Prod/vims/wia/eng/main.html>
12. Lettre de la FING du 3/5/2001 : <http://www.fing.org/index.php?num=1221,4>
13. Automates Intelligents de mars 2001 - http://www.automatesintelligents.com/actu/010308_actu2.html et http://www.nature.com/cgi-taf/DynaPage.taf?file=/nature/journal/v409/n6822/full/409794a0_fs.html
14. Lettre de la FING du 5/4/2001 : <http://www.fing.org/index.php?num=1037,4>
15. Monsieur@faltazi : <http://www.monsieurfaltazi.com>
16. Voir l'interview de Nicolas Demassieux dans la lettre de la FING du 24/9/2000 : <http://www.fing.org/index.php?num=535,4>
17. L'I-pot, une bouilloire électrique japonaise pour surveiller à distance les personnes âgées : <http://www.fing.org/index.php?num=881,4> et le site I-pot (en japonais avec animation flash) : <http://www.mimamori.net>
18. Lettre de la FING du 22/2/2001 : <http://www.fing.org/index.php?num=843,4>
19. Techno-bra : <http://www.wired.com/news/technology/0,1282,20517,00.html>
20. Smart-bra : <http://www.abc.net.au/science/news/stories/s131388.htm>
21. Compte rendu de la conférence Globecom 2000 : <http://www.fing.org/index.php?num=1914,4#13,2>, la page du Design Research Group : <http://www.deskin.com> et des explications sur Leo One : <http://www.leoone.com/system.htm>
22. Les sites d'Aibo : <http://www.aibo.com> et <http://www.eu.aibo.com/fr/> (Aibo est la transcription phonétique du mot « copain » en japonais). Voir aussi *Zdnet* du 6/9/2001 : <http://news.zdnet.fr/story/0,,t118-s2094701,00.html>
23. Dossier « Noël 2001, la ménagerie électronique est arrivée », Automates Intelligents du 27/12/2001 : <http://www.automatesintelligents.com/labo/2001/dec/labo2.html>
24. Projet MICRobES : <http://miriad.lip6.fr/microbes/>
25. Cf. Information Sciences Institute, University of Southern California : <http://www.isi.edu/conro/>
26. Images de la NASA : <http://amesnews.arc.nasa.gov/releases/2000/00images/snakebot/snakebot.html>
27. Automates Intelligents, FT Presse : <http://www.automatesintelligents.com>
28. Jean-Paul Baquiast et Christophe Jacquemin, la robotique autonome, l'état des lieux en France : <http://www.automatesintelligents.com/edito/2001/dec/edito2.html>
29. Adjectif venant du grec *hapesthai* (et popularisé par le philosophe Gilles Deleuze) qui signifie toucher et manipuler. Une technologie est dite haptique quand elle permet de toucher et de manipuler des objets virtuels ou distants pouvant être simultanément présentés sur un écran de contrôle. L'adjectif désigne plus largement les interfaces qui procurent des sensations « tactilo-kinesthésiques », c'est-à-dire une perception tactile permettant d'appréhender le poids, la forme, le volume et la force d'un objet. Proche des techniques de retour de force (ou *force feedback* en anglais) permettant de simuler l'application d'une force ou d'une direction à un objet, l'interface haptique implique un système capable de restituer la sensation du toucher par des capteurs et des effecteurs qui transforment des informations en provenance de l'ordinateur en phénomènes mécaniques. Notons que si pendant longtemps, en raison du rôle central que jouent les mouvements dans le toucher, on a cru que la main constituait le noeud de la perception haptique, de nombreux laboratoires travaillent sur d'autres membres du corps : jambes, langue...
30. <http://fing.org/index.php?num=1332,4> et <http://www.pi.titech.ac.jp>
31. Lettre de la FING du 24/10/2000 : <http://www.fing.org/index.php?num=693,4>
32. Alpha-Mos : <http://www.alpha-mos.com>
33. Voir par exemple la commande vocale pour naviguer sur le web d'Interactive Speech Technologies : <http://www.interactivespeech.com/fr/>
34. Cf. Bulletin de la mission scientifique et technologique de l'ambassade de France en Norvège (janvier 2001) : <http://www.France.no/science/ost0101.txt>
35. Lettre de la FING du 21/5/2001 : <http://www.fing.org/index.php?num=1291,4>. Voir aussi le site : <http://sound.media.mit.edu/~pompei/spotlight/>
36. Comme par exemple les lunettes Saint-Bernard du chercheur Japonais Masakatu Kourogi qui permettent à des visiteurs de s'orienter plus facilement dans un bâtiment. Au fil de la progression, une caméra logée dans les lunettes filme les couloirs. Un ordinateur cherche alors la localisation en comparant les prises de vue avec une base de données d'images du bâtiment. Pour finir, il affiche sur les verres la direction à suivre pour trouver le bureau recherché ou même la machine à café la plus proche. Voir : <http://fing.org/index.php?num=2229,4>
37. Le mur interactif consiste en la dématérialisation de l'écran pour une interface « totale » qui se projettera sur les murs de votre appartement un peu à la manière de ce que peut être le home-cinéma pour la télévision. Par un simple contact, les murs de votre appartement se transformeront en salle de vidéoconférence, en visiophone pour recevoir des nouvelles grandeur nature de vos enfants depuis l'autre bout du monde, en home-cinéma ou en écran de travail pour vos données. Des capteurs reconnaîtront vos déplacements et il sera possible de suivre par exemple des cours d'aérobic à distance tout en étant surveillé par un programme d'entraînement virtuel qui vous corrigera automatiquement... Bien plus qu'un simple projecteur géant, le mur interactif est un système immersif total et unique que les chercheurs du Massachusetts Institute of Technology (MIT) espèrent populariser d'ici une quinzaine d'années. Voir par exemple, le projet Kidsroom du MIT : <http://vismod.www.media.mit.edu/vismod/demos/kidsroom/>

38. Microvision : <http://www.mvis.com>
39. Fabrique des possibles de la FING : http://fing.org/fabrique/mess_fr.php?n=9
40. La communication non verbale a été introduite par l'anthropologue Ray Birdwhistell, *La Nouvelle communication*, éd. Points Seuil, 1981.
41. Remarks by Bill Gates – International Joint Conference on Artificial Intelligence – Seattle, Wash., August 7, 2001 : <http://www.microsoft.com/billgates/speeches/2001/08-07aiconference.asp>
42. Voir *l'Emotional Engine* : http://www.c-lab.de/home/en/news/2001/01-02-21_emotional_engine_lang.html et <http://fing.org/index.php?num=1056,3,1118,4>
43. Attention Trainer™ : <http://www.attention.com>
44. Université de Berkeley : <http://www.berkeley.edu/news/berkeleyan/2000/03/01/bionic.html>
45. Duke University Medical Center : <http://www.dukenews.duke.edu/Daily00-01/Daily1116.htm>
46. Dobbelle Institute : <http://www.dobbelle.com/vision/index.html>. Les trois exemples sont cités dans : Michel Berne, in Institut national des télécommunications, observatoire des stratégies et technologies de l'information et de la communication, *Télécom, Electronique, Informatique, Médias, Internet, L'année 2000*, Evry 2001, p. 75.
47. La page officielle de Kevin Warwick : <http://www.kevinwarwick.org>
48. Voir : http://fing.org/fabrique/mess_fr.php?n=93
49. Lettre de la FING du 22/3/2001 : <http://www.fing.org/index.php?num=989,4>. L'info : <http://www.liberation.fr/multi/actu/20010305/20010306marzd.html>. Le site de l'ABI : <http://sta.jrc.it/abi/>
50. Voir : http://fing.org/fabrique/mess_fr.php?n=90
51. Michel Alberganti, « Le virtuel est la chair même de l'homme », interview de Michel Serres in *Le Monde*, 18/6/2001 : <http://www.lemonde.fr/article/0,5987,3230—197697-,00.html>
52. *Ibid.*
53. *Une FI dans mon Salon*, scénario de la Fabrique des possibles 3/5/2000 : http://www.fing.org/fiesta/mess_fr.php3?n=37
54. Communiqué de presse de Kalisto (9/2/2000) : http://www.kalisto.com/data/press/KALISTO_PRUS_20000209_2.pdf
55. Personal Roving Presence : <http://www.prop.org>
56. L'article du *Dallas News* : http://www.dallasnews.com/technology/331368_hologram_06bus.html et le site de la société Teleportec : <http://www.teleportec.com>
57. Merci à Emmanuel Josse pour cette remarque sur l'abondance intrinsèque des mondes virtuels.

SEPTIÈME PARTIE

INVITATION AU VOYAGE

QUATRE GRANDS DOMAINES

Nous nous sommes promenés tout au long de cet ouvrage parmi les diverses technologies de l'information et de la communication. Nous avons parcouru les quatre grands domaines du système d'information qui deviennent progressivement plus transparents aux utilisateurs : traitement, communication, mémoire, interface avec le reste du monde. Nous avons également fait un détour dans le monde de l'énergie et des batteries. Ce voyage nous a permis de découvrir des situations contrastées.

Pourtant, nous avons rencontré des similitudes. Pour comprendre le domaine des technologies de l'information et de la communication, nous devons identifier pour chacune d'elles leur degré de maturité.

LES DEGRÉS DE MATURITÉ

- Les jeunes technologies innovantes sont imprévisibles, on ne peut que favoriser leur abondance.
- Les technologies en plein essor passent par des degrés d'ouverture variés. L'important est de savoir les situer. Si le passage d'une étape à l'autre est souvent imprévisible, on peut cependant définir des stratégies pour chacune d'elles.
- Les technologies matures présentent une évolution plus prévisible qui permet d'anticiper jusqu'à un certain point des seuils d'usages.

Les thèmes abordés ne sont pas exhaustifs et continuent d'évoluer chaque jour. Pour comprendre et décider, il nous semble fondamental de connaître certains des mécanismes à l'œuvre dans les évolutions technologiques. Comme nous l'avons vu plusieurs fois, ces changements ne sont pas toujours prévisibles. Il s'agit moins d'acquiescer des certitudes sur l'avenir que de disposer d'outils de décryptage pour faciliter les choix à chaque moment en fonction de ce qui arrive. Maintenant que vous disposez des cartes et des boussoles, continuez de parcourir les paysages toujours changeants et foisonnant des technologies.

APRÈS LES TECHNOLOGIES

Mais une approche par les technologies est insuffisante. Le deuxième tome de cet ouvrage partira d'un autre point de vue, celui de l'utilisateur, pour aborder le domaine des services et des usages. Comme nous l'avons vu avec les seuils d'usages, comprendre où en est une technologie n'a d'intérêt en soi que dans les nouvelles possibilités offertes aux utilisateurs. Au fur et à mesure que les technologies deviennent matures et donc transparentes, l'utilisateur reprend toute sa place. Nous aborderons de nouveaux territoires tels que l'économie, la gouvernance et l'appropriation des usages.

L'HOMME

Dans ce premier tome, nous avons dû introduire les notions d'imprévisibilité pour mieux comprendre l'innovation. Nous avons vu que, loin d'être une contrainte à simplement supprimer, l'imprévisibilité et la façon de la traiter par l'abondance de choix sont le fondement même du développement de l'innovation. Dans le deuxième tome, nous retrouverons ce concept. Cette fois le facteur imprévisible qui apportera toute sa richesse sera l'homme lui-même.

Nous retrouverons de nouveau les deux approches apparemment irréciliables :

- La démarche de planification pour gérer de façon efficace la rareté.
- La démarche basée sur l'abondance et le choix en continu pour s'adapter à l'imprévisible.

Nous avons vu de nombreux exemples où se heurtaient ces deux approches inverses lorsqu'il faut prendre en compte à la fois des contraintes de rareté et d'imprévisibilité.

LES DEUX APPROCHES

Parfois, l'une ou l'autre des contraintes est moins importante et peut être transformée en son contraire au prix de quelques concessions (la rareté devient abondance ou l'imprévisible redevient plus prévisible). Souvent, les deux solutions s'affrontent avec des acteurs ayant fait des choix différents (technologies pour la mobilité, propriété intellectuelle, développement logiciel, conflits de générations...) Beaucoup plus rarement, une savante alchimie se met en place et permet une synergie entre les contraires pour faire émerger de nouvelles solutions.

Ce livre s'insère dans un processus dynamique de réflexion sur la façon de réconcilier des approches contraires mais complémentaires. Un premier

ouvrage ¹ traitant des projets coopératifs (sur la base des méthodes appliquées dans le logiciel libre), a permis d'identifier quelques grandes règles des démarches basées sur l'abondance. De façon étonnante, ces règles ont souvent paru être l'inverse des règles habituelles de la gestion des projets contraints. Nous avons alors pris conscience à quel point les deux approches (par la planification ou par l'abondance) étaient fondamentales. Elles sont apparues non seulement différentes mais surtout opposées.

Même si cette opposition suscite de nombreux conflits, la cohabitation entre ces deux démarches contraires et apparemment incompatibles semble nécessaire. Dans ce monde où tout n'est pas abondant et où tout n'est pas prévisible, comment permettre à ces deux approches inverses de s'enrichir mutuellement ? Nous sommes, de nouveau, dans un domaine qui est peu familier à nos cultures manichéennes. Il semble que la solution ne puisse émerger que dans un brassage dynamique pour faire « prendre la mayonnaise ». Cela fera peut-être l'objet d'un prochain ouvrage... qui peut le prévoir ?

NOTES DE LA SEPTIÈME PARTIE

1. Jean-Michel Cornu, *La Coopération, nouvelles approches*, avril 2001, disponible en ligne : <http://www.cornu.eu.org/cooperation/>

QU'EST-CE QUE LA FING ?

LA FONDATION INTERNET NOUVELLE GÉNÉRATION

Fondée début 2000 par l'Internet Society, l'ACSEL et l'AFEM, rejointes depuis par plusieurs autres associations, la FING est un projet collectif et ouvert de veille, de recherche-développement et d'expérimentation, centré sur les services, les applications et les usages de l'Internet de demain.

Pour la FING, l'Internet nouvelle génération ne sera pas seulement « plus » rapide, mobile, fiable, facile d'utilisation – ce sera un autre Internet. Un Internet qui « disparaît » au profit de ses usages : où les hauts débits font oublier les débits, où mobilité et continuité des réseaux font oublier l'acte de connexion. Cette rupture technologique induira également une rupture dans les usages. L'ambition de la FING est que la France, dans l'Europe, soit un acteur de premier plan de l'innovation dans les services, applications et usages de ce nouvel Internet. Sa conviction est que face aux ruptures qui s'annoncent, une démarche collective d'échange et d'expérimentation est à la fois un vecteur d'innovation et un réducteur de risque.

Concrètement, la FING édite un « portail de l'innovation Internet » sur le Web, anime des groupes de travail, contribue à des expérimentations, organise des visites de laboratoires de recherche et d'entreprises innovantes et publie des articles et des synthèses qu'elle rassemblera dans un rapport annuel. La FING collabore avec les initiatives similaires dans le monde, ainsi qu'avec les réseaux de recherche publics (RNRT, RIAM, RNTL...).

La FING compte plus de 100 membres : opérateurs, médias, entreprises industrielles et de service, start-ups, laboratoires de recherche, établissements de formation, collectivités territoriales, associations, ministères... Elle a reçu en 2000 le soutien officiel du gouvernement français.

ASSOCIATIONS PARTENAIRES

ACSEL, AFA, AFEM, AFIM, AFORS, Aristote, Edifrance, FEVAD, GESTE, I3C, Internet Society, SELL, SNEP, Telecom Valley, UNAF.

ÉQUIPE DE PILOTAGE

Daniel Kaplan (délégué général), Jean-Michel Cornu, Jacques-François Marchandise, Cécile Plet, Hubert Guillaud, Guénaël Amieux, Charlotte Fajardo, Pierre Orsatelli, Philippe Parmantier, Denis Pansu.

CONSEIL D'ADMINISTRATION

Henri de Maublanc, Olivier Iteanu, Serge Bérard, Jean-Louis Bernard, Frédéric Desclos, Stéphane Lelux, Georges Passet, Serge Pilicer, Jean-Michel Planche (président).

TROUVER DE L'INFORMATION SUR LE SITE DE LA FING

Le site de la Fondation Internet nouvelle génération (<http://www.fing.org>) comprend de l'information sur les nouvelles technologies, les applications, les services et les usages. Il s'organise en trois grandes parties :

La FING en action – Les résultats des travaux de la Fondation

- les résultats des communautés (Collectivités territoriales, R&D), des groupes de travail (Identité numérique, éducation, commerce, Mutu-XML ainsi que sécurité et domotique) et des échanges internationaux ;
- Des contributions, des synthèses et des comptes rendus de congrès ;
- Les comptes rendus des réunions Test et scénarios dans les laboratoires et les lieux innovants ;
- Le suivi d'expérimentations en cours ;
- La Fabrique des possibles : des scénarios pour le futur inventé par chacun.

À la Une – La lettre de la FING

- Des actualités ;
- Des dossiers et des interviews ;
- La revue du Web : une base de liens sur les différents sujets.

Le portail de l'innovation – Des fiches classées par thème

- Généralités
 - Études générales et prospectives
- Programmes publics et infrastructures
 - Grands réseaux haut débit
 - Afrique
 - Asie
 - Amérique du Nord
 - Europe

France - Collectivités territoriales

France

- Usages et services
 - Vie quotidienne
 - En déplacement
 - Vie professionnelle
 - Services liés à la citoyenneté et au débat public
- Outils applicatifs
 - Émission automatique d'information
 - Production et diffusion d'information
 - Échanges interpersonnels
 - Collaboration
- Technologies
 - Interface homme-machine
 - Médias
 - Web et standards associés
 - Logiciels et développement
 - Protocoles de base
 - Matériels
 - Réseaux locaux et domestiques
 - Boucle locale et réseaux mobiles
 - Réseaux distants

Chaque page du site permet d'accéder aux autres rubriques traitant du même thème (actualités, liens, fiches pratiques...).

TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION

Jean-Michel Cornu présente un séminaire d'une journée traitant des thèmes de cet ouvrage. Le contenu de la journée et la fiche d'inscription sont disponibles sur <http://www.cornu.eu.org>

Dates prévues (premier semestre 2002)

Le jeudi 7 mars 2002

Le vendredi 5 avril 2002

De 9h00 à 17h45 à l'Atrium

3, Parvis Robert Schuman – 92370 Chaville

(accès par le RER et métro/bus)

Prix spéciaux pour les administrations, collectivités territoriales et particuliers, ainsi que pour les membres des associations partenaires de la FING :

- Fondation Internet nouvelle génération – FING
- Association pour le commerce et les services en ligne – ACSEL
- Association française du multimédia – AFEM
- Association Aristote
- Chapitre Français de l'Internet Society (ISOC)
- Association des fournisseurs d'accès et de services Internet – AFA
- EDIFRANCE
- Fédération des entreprises de vente à distance – FEVAD
- Groupement des éditeurs de services en ligne – GESTE
- Syndicat des éditeurs de logiciels de loisir – SELL
- Telecom Valley – Sophia Antipolis
- Union nationale des associations familiales – UNAF

Pour toute présentation intra-entreprise ou organisation dans une autre ville ou un autre pays, contactez Jean-Louis Bernard :

- Mel : jean-louisbernardconsultants@wanadoo.fr
- Tel : +33 (0) 1 60 19 26 08

Jean-Michel Cornu, consultant international, anime le GFSI, le Groupe français pour la participation à la standardisation de l'Internet, contribuant ainsi à l'effort international [Internet engineering task force] pour le développement de l'Internet sur le fondement de standards ouverts. Directeur scientifique de la FING, il est également un expert en matière de travail coopératif, toujours prêt à partager librement sa méthodologie. Du village global au « village local », sa passion des télévisions de proximité l'a conduit à animer Vidéon (<http://www.videontv.org>), une ressource collective à destination des producteurs et diffuseurs associatifs et locaux, et à franchir, parmi les premiers, le pas qui conduit des logiciels libres aux contenus libres. Cette position singulière lui a donné l'intuition et l'énergie d'un travail d'approfondissement, d'abord rassemblé sous la forme d'un séminaire, *TIC : l'indispensable pour comprendre et décider*, produit par Jean-Louis Bernard en partenariat avec la FING, dont la première partie sur les technologies est présentée dans ce premier numéro des Cahiers de l'Internet.

Créée en janvier 2000, la Fondation pour l'Internet nouvelle génération (FING) a pour objet de stimuler, de repérer et faire connaître l'innovation dans les services, les applications et les usages de l'internet de demain. La FING est un projet collectif et ouvert de veille, de recherche-développement et d'expérimentation. Son ambition consiste à aider la France, dans l'Europe, à être un acteur de premier plan de l'innovation dans les usages de l'internet nouvelle génération. Sa conviction est que face aux ruptures qui s'annoncent, une démarche collective d'échange et d'expérimentation est à la fois un vecteur d'innovation et un réducteur de risque.