

■ L E S A M I S D E ■
l'École de Paris

<http://www.ecole.org>

"Les Invités"

*organisée grâce aux parrains
de l'École de Paris :*

Algoé²
Alstom
ANRT
AREVA²
CEA
Chaire "management de l'innovation"
de l'École polytechnique
Chaire "management multiculturel
et performances de l'entreprise"
(Renault-X-HEC)
Chambre de Commerce
et d'Industrie de Paris
CNES
Conseil Supérieur de l'Ordre
des Experts Comptables
Crédit Agricole SA
Danone
Deloitte
École des mines de Paris
ESCP Europe
Fondation Charles Léopold Mayer
pour le Progrès de l'Homme
Fondation Crédit Coopératif
Fondation Roger Godino
France Télécom
FVA Management
Groupe ESSEC
HRA Pharma
IBM
IDRH
IdVectoR¹
La Poste
Lafarge
Ministère de l'Industrie,
direction générale de la compétitivité,
de l'industrie et des services
OCP SA
Paris-Ile de France Capitale
Economique
PSA Peugeot Citroën
Reims Management School
Renault
Saint-Gobain
Schneider Electric Industries
SNCF
Thales
Total
Ylios

¹ pour le séminaire
Ressources technologiques et innovation
² pour le séminaire Vie des affaires

(Liste au 1^{er} septembre 2011)

**LES INVERSIONS MENTALES
DE L'INFORMATIQUE**

par

Gérard BERRY

Ingénieur général des Mines
Directeur de recherche à l'INRIA
Professeur au Collège de France
(2007-2008, chaire d'innovation technologique
et 2009-2010, chaire informatique et sciences numériques)

Christophe DESHAYES

Président de Documental

débat animé par

Michel BERRY

École de Paris du management

Séance du 7 juin 2011

Compte rendu rédigé par Pascal Lefebvre

En bref

Si notre génération a été celle des enfants de la télé, celle qui s'apprête à nous succéder sera incontestablement celle de l'Internet et de tous les outils digitaux que notre société met à sa disposition, celle donc des *digital natives*. Mais qui sont nos enfants ou nos petits enfants ? Communautaires et indépendants tout à la fois, pétris de valeurs collectives mais naturellement rétifs à celles qui furent les nôtres, habiles à surfer sur le Net pour y glaner leur savoir mais réfractaires à nos modèles d'enseignement, créatifs et mobiles mais peu soucieux de planification stratégique ou de profitabilité ? Sont-ils des mutants maîtrisant des technologies inaccessibles ou des enfants joueurs dans un monde peuplé d'artefacts qui leurs paraissent aussi naturels que l'air et l'eau ? Gérard Berry, entre Collège de France et jardins d'enfants, les observe et nous pose quelques questions simples. Mais sommes nous prêts à leur confier ce monde qui n'est déjà plus tout à fait le nôtre et déjà le leur ?

*L'Association des Amis de l'École de Paris du management organise des débats et en diffuse
des comptes rendus ; les idées restant de la seule responsabilité de leurs auteurs.
Elle peut également diffuser les commentaires que suscitent ces documents.*

© École de Paris du management – 94, boulevard du Montparnasse - 75014 Paris
Tél : 01 42 79 40 80 - Fax : 01 43 21 56 84 - email : ecopar@paris.ensmp.fr - <http://www.ecole.org>

EXPOSÉ de Gérard BERRY

Cela fait quarante ans que je fais de l'informatique et quarante ans que j'entends dire que l'informatique est un outil. Évidemment ! Mais c'est aussi beaucoup plus que cela : c'est un changement extrêmement profond de nos façons de voir les plus élémentaires quant à notre rapport au temps, à l'espace, etc. Ce n'est pas le premier outil qui provoque une révolution fondamentale dans notre façon de penser le monde : l'invention de l'écriture, celle de l'imprimerie l'ont précédée sans toutefois l'égaliser, ainsi que l'a montré Michel Serres¹.

L'apparition de l'informatique a été source de grands bouleversements : cela a commencé par l'industrie, les transports ont suivi, puis l'audiovisuel, le commerce... Ce qui m'a toujours frappé, c'est que les gens, les adultes en fait, soient en permanence surpris par des changements qui sont largement programmés. Cette perpétuelle surprise indique un déficit de compréhension qui m'interroge.

Nous assistons aujourd'hui à une révolution absolue : dans les sciences, avec la modélisation et l'expérimentation numérique ; en médecine, avec l'imagerie numérique, la chirurgie robotique... ; dans l'enseignement avec, entre autres, l'apparition des tableaux électroniques ou celle des réseaux. En fait, l'informatique est une grande science et une grande industrie qui irriguent toutes les autres.

L'informatique n'est pas une science naturelle

Essentiellement, l'informatique repose sur quatre points. En premier lieu, il y a nous. Il y a ensuite des interfaces qui nous permettent de fabriquer de l'information sous forme numérique. Cette information va ensuite être traitée par des algorithmes, méthodes de calcul totalement spécifiques à l'informatique, bien que connues depuis fort longtemps, en particulier grâce au Persan Al Khawarizmi (783 – 850) qui leur donna son nom. Des langages servent à écrire ces algorithmes et des machines électroniques à les exécuter pour nous donner des résultats, via les différentes interfaces, ou encore faire fonctionner des objets quelconques. L'informatique passe beaucoup de temps à s'occuper d'elle-même : un circuit informatique étant aujourd'hui constitué de deux milliards de transistors, il est évident qu'il ne peut être conçu que par le biais de l'informatique !

Ce qui est très sous-estimé, c'est que l'informatique n'est pas une science naturelle. Elle est très proche des mathématiques. Si ces dernières sont un jeu de constructions mentales, l'informatique est un jeu de constructions à la fois mentales et pratiques. En biologie, science naturelle par excellence, si l'on veut progresser, il faut travailler dix ans durant sur des molécules avant de trouver, avec un peu de chance, un fonctionnement qui donnera cinq ans plus tard un médicament éventuellement efficace. En informatique, on construit tout : on n'étudie pas la nature, on la fabrique ! Quand ils ont inventé AltaVista, le premier moteur de recherche, cela a pris deux mois et demi à ses concepteurs pour aboutir et changer ainsi le monde. En informatique, on n'a pas l'obstacle de l'étude de la nature et c'est pour cela que ça va vite. Aujourd'hui, dans les dix premières capitalisations boursières, quatre sont des sociétés informatiques (Apple, Microsoft, IBM, Google), dont deux sont presque entièrement dématérialisées.

Convergence et algorithmes

La première constatation que nous pouvons faire est la brisure d'une liaison plusieurs fois millénaire entre un type d'information et le support de cette même information. La langue s'écrivait avec de l'encre sur du papier. Le son se trouvait dans des disques : demandez à un

¹ Se reporter sur ce point au texte de Michel Serres, « Petite Poucette », discours prononcé le 1er mars 2011, en séance solennelle de l'Académie Française, sur le thème Les nouveaux défis de l'éducation - <http://www.institut-de-france.fr/education/serres.pdf> (NdR).

enfant de cinq ans à quoi peut bien servir un vinyle, il n'a aucune chance de trouver ! La photo argentique était de la chimie. Quant aux forces, elles se géraient avec des ressorts et des engrenages. Tout cela relevait de quatre métiers bien différents, aboutissements d'études elles-mêmes bien différenciées.

Aujourd'hui, l'ensemble de ces informations est transformé en nombres : désormais, les techniques pour faire de la musique, fabriquer des textes, faire de la photo ou gérer des forces (par exemple dans un avion) font partie du même métier, mobilisant la même connaissance des mêmes algorithmes. Cette unification, que l'on appelle la convergence, est un énorme changement dont on ne comprend généralement pas à quel point il modifie nos façons de penser. Quiconque de compétent naguère en technique de photo argentique n'a désormais que peu de compétence en technique de photo numérique !

Cette convergence simplifie tout : les nombres peuvent être stockés sur des supports totalement indifférenciés, ils peuvent être dupliqués à l'infini, transmis par Internet, etc. Ces nouveaux objets sont aussi infiniment plus souples que les anciens, à l'image des servomoteurs qui remplacent aujourd'hui les cames et ressorts d'antan. Et, désormais, on peut dématérialiser quasi complètement certains objets comme la musique ou les textes.

Mais surtout, on peut appliquer des algorithmes qui sont des manipulations automatiques de l'information par des machines. Il en existe deux sortes. La première est celle des algorithmes génériques qui s'appliquent de façon indifférenciée à toute information, quelle qu'elle soit. Que vous envoyiez de la musique, une photo ou un texte par Internet, celui-ci ne fait aucune distinction et c'est pour cela qu'il fonctionne (le Minitel, qui faisait cette distinction, en est mort). Grâce à ces algorithmes, on peut stocker, diffuser, comprimer, crypter, cette information et surtout la copier à l'infini, sans aucune modification et à coût quasiment nul. Cela pose des problèmes majeurs, d'ordre économique ou de propriété intellectuelle auxquels nous n'avons pas encore été confrontés puisque c'est la première fois que cela est possible.

Il y a ensuite des algorithmes spécifiques, tels les moteurs de recherche qui, pour l'instant, ne fonctionnent que sur du texte, que ce soit pour la recherche ou la correction orthographique, mais qui permettront bientôt de faire aussi des recherches sur du son et de la vidéo. Les sons et les images peuvent également être fortement comprimés, ce qui a permis de passer des trois chaînes de télévision analogique de piètre qualité aux quinze de la TNT (télévision numérique terrestre), de très bonne qualité numérique, et ce sur les mêmes canaux. Plus que d'une évolution, il s'agit là d'une mutation profonde.

Les inversions mentales

Prenons l'exemple simple du traitement de texte : un enfant de dix ans, devant une machine à écrire, n'y verra qu'un ordinateur étonnant capable d'imprimer au fur et à mesure de la frappe. Cessons de parler de nouvelles technologies ! Nos enfants ne peuvent plus trouver de machines à écrire dans le commerce, les ordinateurs ne sont donc pas pour eux de "nouvelles technologies", ce sont les outils de leur quotidien, des technologies bien établies, et les machines à écrire doivent être expliquées en cours d'histoire !

Alors, pour nos enfants, pourquoi copier de la musique serait-il un vol ? Quand ils passent un fichier MP3 à leurs copains, ils l'ont toujours, alors que, pour le parlementaire qui vote la loi Hadopi et qui ne connaît que le CD, si on lui vole ce CD, il ne l'a plus ! Le fait de pouvoir copier à l'infini est un phénomène très nouveau pour nous, car il induit une notion de propriété qui n'est plus directement attachée à l'objet. Pour un gamin de dix ans, la notion de propriété intellectuelle n'est pas un concept évident. Il n'est donc pas étonnant que l'on rencontre de grandes difficultés à lui faire accepter Hadopi !

L'exemple de la téléphonie est également intéressant. À ses débuts largement décrié en France, le téléphone portable est devenu extrêmement important. La téléphonie des années 1950 exigeait de tirer un fil en cuivre entre deux personnes souhaitant communiquer. Or, ce fil

servait principalement à transmettre des silences et des parasites par les circuits des PTT (postes, télégraphes et téléphones). Avec l'informatique, les choses ont changé : la parole a été numérisée, comprimée et groupée en paquets adressés et routés par le même fil, simultanément avec d'autres conversations. Ce sont Internet et Cisco qui s'en sont chargés et l'industrie des centraux téléphoniques a alors proprement sombré. Enfin, les fils aussi ont en partie disparu et presque tout passe désormais par les ondes. Voyant un téléphone avec un fil allant dans le mur, un enfant demande ainsi à son grand-père : « *Papy, pourquoi as-tu mis un antivol à ton téléphone ?* »

De fait, on a aboli le lien spatial, ce qui n'est pas anodin. Auparavant, quand vous téléphoniez à quelqu'un, en règle générale, il n'était pas chez lui. Aujourd'hui, la seule question que l'on pose à son interlocuteur est : « *Où es-tu ?* » Notre perception de l'espace en a été totalement changée : désormais, on sait que l'on va pouvoir joindre la personne. Et là, les comportements des adultes et des enfants sont complètement différents : vous n'entendrez jamais un enfant, dans le train, crier dans un téléphone portable, il n'y a que les adultes qui font cela. Vous voyez de plus en plus rarement des enfants se téléphoner directement : ils s'envoient préalablement un SMS pour savoir s'ils peuvent le faire, car le SMS est discret et les enfants sont très discrets avec leur "téléphone-prothèse".

La perception même de l'objet a totalement changé. Quand vous demandez à votre enfant, qui est en train de passer un *coup de fil* sur son portable, de *raccrocher*, comment peut-il comprendre cela ? Le portable est devenu une partie de lui-même, ce n'est plus un objet artificiel. Comme la mer, les montagnes ou son vélo, le portable existait avant lui, on le trouve partout, c'est donc pour lui un objet de la nature.

Expliquez-lui que pour organiser une soirée, il vous fallait passer des heures au téléphone, alors qu'aujourd'hui, pour lui, un message sur Facebook se fait en un instant. La chose facile est désormais de convoquer tout le monde, la chose difficile étant de sélectionner les bons destinataires.

Autre exemple caractéristique : la photo numérique. Prise avec un objectif grand angle en photo argentique, un monument apparaît déformé, les lois de l'optique transformant les droites en courbes. À l'instant du déclic, tout est joué et le tirage n'y pourra plus grand-chose. En photo numérique, c'est très différent : tout commence au moment du déclic ! Un appareil photo, ce n'est plus une lentille devant une pellicule, ce sont désormais des algorithmes et des logiciels qui, par le biais de calculs très sophistiqués mais totalement automatiques, corrigent les distorsions et redressent les perspectives. En conséquence, l'intégralité du travail que les opticiens ont réalisé, depuis plus d'un siècle, sur les objectifs afin de minimiser leurs distorsions est désormais partiellement caduc. Et ces objectifs sophistiqués pourront devenir inutiles car les distorsions résiduelles qu'ils créent sont très difficiles à corriger par les algorithmes alors que les distorsions d'objectifs plus simples, donc moins chers, le sont beaucoup plus facilement. Toute l'imagerie médicale est fondée sur ces principes. Il y a là une inversion totale : un appareil photo est désormais avant tout un ensemble d'algorithmes devant lesquels on met un objectif.

Il en va de même en ce qui concerne le son et vous pouvez aujourd'hui écouter un concert de Duke Ellington avec un son d'origine, débarrassé de toutes les distorsions liées aux technologies de l'époque. La cartographie est un autre exemple. Pour s'orienter, il nous fallait une carte, choisie en fonction de son échelle, que l'on ouvrait ensuite afin d'y chercher sa position. Il n'est plus possible d'expliquer cela à un enfant : sur son téléphone, il a à sa disposition – ou il l'aura sous peu – l'intégralité des cartes de France à toutes les résolutions et, aussitôt qu'il ouvre son GPS (Global Positioning System), il sait où il est ! S'il veut changer de résolution, il le fait d'un simple geste des doigts, totalement intuitif. D'ailleurs, lorsque ma petite fille de deux ans fait spontanément ce geste, évident pour elle, sur une photo papier qu'elle veut agrandir, elle s'étonne que ça ne marche pas ! Un de mes amis s'enthousiasme en contemplant sa maison sur Google Street View ; son jeune fils,

aucunement impressionné, s'étonne en revanche de ne pas s'y voir en direct... Pour nous, c'est une prouesse ; pour eux, c'est juste la nature !

Cela implique qu'il nous faut réfléchir à des enseignements d'histoire pour nos enfants sur la façon dont nous vivions en 1999, alors qu'ils n'étaient pas encore nés. Voir une image apparaître sur l'écran de télévision n'impressionne plus personne aujourd'hui et ceux qui s'en émouvaient dans les années 1950 ne sont plus guère nombreux. Aujourd'hui, il en va de même pour les nouvelles générations : elles sont sans a priori face à ces technologies qui étonnent encore leurs parents. N'oublions donc pas que les raisonnements que nous devons faire pour préparer l'avenir s'appliqueront à ceux qui ont douze ans aujourd'hui. Le monde que nous créons sera celui de nos enfants, c'est la loi de la démographie !

Moi (et le reste du monde...)

L'inversion la plus importante, selon moi, est la suivante. Elle découle d'une phrase très souvent entendue, y compris dans les grandes écoles, selon laquelle un ordinateur n'est guère plus qu'un outil et « *qu'on n'en sort que ce qu'on y a mis.* » Cette phrase est profondément vraie, mais doit cependant être considérée avec précaution. Cette répétition du *on* dans la même phrase fait implicitement référence à *moi*, homme du XX^e siècle. Le changement fondamental est qu'aujourd'hui, cette phrase est devenue : « *D'Internet, je sors ce que le reste du monde y a mis.* » Les deux *on* se sont dissociés. Ce n'est pas un détail, car ce « *reste du monde* » nous fait changer d'échelle : nous avons désormais tous à notre disposition la même information que ce « *reste du monde* ».

C'est un phénomène massif qui transforme la notion même de mémoire. Avant l'écriture, il fallait apprendre les choses par cœur. Lors de l'invention de l'écriture, beaucoup de philosophes s'y sont opposés, arguant que l'écriture détruisait la connaissance en la figeant. Lors de l'invention de l'imprimerie, l'Église, qui y était favorable tant qu'il s'agissait de diffuser les Écritures, a rapidement changé d'avis en voyant que cette invention pouvait aussi propager les schismes. Pour l'Internet, il en va de même : les gens qui tenaient en leurs mains le savoir avant l'Internet n'aiment pas forcément le savoir de l'époque Internet, où plus personne ne tient rien. Désormais, ce qui importe n'est pas tant de se rappeler des choses que de se rappeler des liens entre les choses. Et là, on voit la facilité que les enfants ont – et la difficulté qu'ont les adultes – à se promener dans cet univers de liens qu'est l'Internet.

J'ai également été très étonné par le fait que mes enfants s'offraient en cadeau 250 Go de musique sur un disque dur, sans avoir la moindre idée du contenu précis. Ils m'ont expliqué qu'ils écoutent au hasard et que, lorsqu'un titre leur plaît, ils appellent avec leur portable, Shazam, un site Internet de reconnaissance musicale, qui l'identifie en quinze secondes. C'est cela l'univers normal des enfants : on n'a pas besoin de savoir les choses, on a juste besoin de savoir comment savoir les choses.

Pour la production de musique en ligne, de nombreux sites offrent des fonctionnalités très intéressantes. On propose en ligne des musiciens, tous de qualité, sur lesquels on demande aux internautes de miser une certaine somme. Quand un montant donné est atteint, cela permet au musicien choisi de faire un disque et des concerts dont il partage les bénéfices avec ceux qui ont misé sur lui. Chacun prend sa part de risque alors qu'avec les majors, la notion de prise de risque est quelque peu lointaine...

Le travail collaboratif à grande échelle est également une nouveauté : Linux est, de loin, le meilleur logiciel jamais réalisé, et il l'a été entièrement par des bénévoles. Cette collaboration couvre le monde entier, est parfaitement structurée, extrêmement professionnelle et se fait uniquement par courrier électronique. Il en va de même pour Open Street Map pour lequel chacun peut apporter sa contribution en signalant tel ou tel point d'intérêt dans la rue. En revanche, les forums sont de qualité très inégale. Tout cela pose, bien sûr, d'énormes problèmes d'autorité centrale ou dispersée.

Certaines découvertes, très fondamentales, sont étonnantes. Les médecins surveillent les épidémies par le biais de systèmes parfois peu performants, comme le montre la crise sanitaire de l'Escherichia Coli en Allemagne où il n'existe pas de centralisation des informations sur les intoxications. Le suivi des épidémies de grippe se fait par le biais des médecins qui signalent les cas à un institut qui collecte et traite ces données statistiques, région par région. C'est compliqué et cher. Qu'a fait Google ? Une chose extrêmement simple et peu coûteuse, mais que seul Google peut faire : compter les questions sur la grippe que posent les internautes à son moteur de recherche. Les résultats sont parfaitement identiques à ceux du lourd système des médecins. Google, qui détient deux informations clés, la publicité et les clics des internautes, nous espionne vraiment et prend peu à peu sur nous un pouvoir considérable.

Désorganiser l'information

Dans les entreprises ou les journaux, il fallait organiser l'information. Ce que dit Google, c'est que ça peut marcher encore mieux quand c'est désorganisé. C'est une inversion complète de ce qui a été fait auparavant. Ce n'est certes pas toujours vrai, mais ça l'est pour tous les moteurs de recherche qui travaillent sur des archives. En effet, quand vous organisez l'information, c'est en prévision de questions que savez devoir être posées. Or, vous ne pouvez pas savoir quelles questions des gamins de douze ans vont poser.

La propagation des rumeurs sur Internet est un réel problème ; la sauvegarde des données, également ; la maîtrise des nouvelles dépendances et de la gratuité financée par la publicité aussi, tout comme le pouvoir des moteurs, celui des réseaux sociaux, les surveillances et autres analyses de comportements... Mais tout cela n'est problématique que pour nous qui ne sommes pas nés avec ; pour les jeunes, c'est juste le monde qui est comme cela.

Aujourd'hui, il y a dix fois plus d'ordinateurs dans les objets que d'ordinateurs proprement dits. Une voiture moderne est quasiment davantage constituée d'algorithmes que de tôle ! La question qui va alors se poser est : « *Est-ce que c'est encore intéressant de conduire une voiture ?* » Les pilotes d'Airbus, sur lesquels j'ai développé certains outils, se divisent en deux catégories : ceux qui ont « *piloté de vrais avions* », comme ils disent, et qui se plaignent de ne pas « *sentir* » l'avion par le biais du joystick, et les jeunes pilotes pour qui le pilotage est une activité plutôt ennuyeuse et qui sont ravis des aides que leur apportent les outils informatiques. Pour les automobiles, il en va de même. Il est aberrant que deux voitures se percutent à un carrefour. Il n'y a nul besoin de conducteurs car en 2011, pour savoir si une voiture arrive à droite, les voitures peuvent le savoir toutes seules. De même, il faut être pilote de course pour savoir freiner aussi bien qu'un servofrein. Ce qui est idiot dans la voiture, c'est donc peut-être le conducteur ! Ce genre d'évolution s'impose pourtant lentement, du fait de l'ego des automobilistes, mais il est évident que les futurs véhicules, tôt ou tard, iront en ce sens.

Faisons un peu de science...

Dans les années 1960, Eugène Wigner² avait constaté la réussite insolente, depuis Galilée, des mathématiques en physique. On met le monde en équations et le monde suit les équations. Aujourd'hui, grâce à l'informatique, on peut aller dans toutes les disciplines, y compris celles qui n'étaient à ce jour pas mathématisées. On peut désormais fabriquer des instruments numériques complexes, mais aussi mettre en calculs des phénomènes de toutes sortes et plus seulement en équations. L'Homme seul ne pouvait traiter qu'un système à quelques équations ; aujourd'hui, on traite, quotidiennement et sans difficulté, vingt millions d'équations... On peut faire du raisonnement logique à très grande échelle, avec trois millions de variables logiques là où l'humain peine avec trois. On peut aussi faire des expériences

² Eugène Paul Wigner est un physicien théoricien hongrois naturalisé américain, prix Nobel de physique en 1963.

virtuelles : les astrophysiciens peuvent faire exploser virtuellement une super nova, étudier le processus de création de matière qui en résulte et ainsi valider les observations du réel. On peut aussi visualiser la réplication de l'ADN en temps réel et bientôt représenter la forme exacte d'une molécule.

En médecine, l'action Cardiosense 3D de l'INRIA (Institut national en informatique et en automatique) vise à réaliser une modélisation complète du cœur, tant au plan de l'anatomie que de la physiologie, de la mécanique des solides ou des fluides,..., afin de réaliser au final un patient numérique dynamique, modèle qui sera ensuite confronté au cœur du patient réel dans tous les actes diagnostiques ou thérapeutiques. En chirurgie, il devient normal de travailler avec une imagerie virtuelle de l'organe qui se superpose à l'organe réel et permet au praticien de savoir précisément où aller dans le corps en dépit des obstacles visuels directs comme le sang.

En botanique, domaine où l'on n'attend pas vraiment l'informatique, elle permet de simuler la croissance d'un arbre et de comprendre ce qu'est la plante en tant que système d'information. Par exemple, il ne faut que vingt variables principales et quelques dizaines de variables accessoires pour caractériser, en les faisant bouger, toutes les familles de pommiers.

Quelques grandes questions

La sécurité

C'est une question qui fait appel à des mathématiques très complexes pour la mise en place de protocoles de sécurité et d'outils de cryptographie. Les microbugs, comme des erreurs sur la longueur d'un formulaire dans Internet Explorer, sont des portes d'entrées pour les pirates qui peuvent ensuite prendre la main, sans que vous en sachiez rien, sur votre machine qui est alors utilisée comme robot qui servira éventuellement à attaquer le Pentagone !

La sûreté

Il est très dur de faire une informatique qui marche : des bugs anodins deviennent centraux, l'utilisateur ne peut avoir aucune action correctrice et tout cela pose la question du design et de la vérification formelle des programmes.

La gestion du passé

Il subsiste dans les programmes énormément de vieux codes, dont on ne sait pas comment ils interfèrent avec un environnement moderne complètement modifié, mais qui sont plus ou moins incompréhensibles et difficilement remplaçables. C'est l'un des problèmes du contrôle aérien aux États-Unis.

L'absence d'enseignement secondaire

En France, l'enseignement de l'informatique est glorieusement absent du secondaire, ce qui constitue une situation sans équivalent au monde. Bien que le numérique soit le monde des enfants, ils ne font que le consommer sans avoir aucune idée de ce qu'il est vraiment, alors que le comprendre est passionnant et formateur.

Les inversions mentales sont un problème particulièrement profond pour le système éducatif et les enseignants. On a attendu trente ans en France pour voir si le sujet allait vraiment exister et s'il convenait de former les enseignants. Les professeurs sont quelquefois moins à l'aise devant leur ordinateur que la plupart de leurs élèves, ce qui ne favorise guère un enseignement qui, dans l'état actuel, se limite souvent à l'apprentissage de tâches techniques de base en traitement de textes ou de nombres. Un enseignement de spécialité apparaîtra toutefois en terminale en 2012, avec une formation des professeurs qui se met maintenant en place.

La non-reconnaissance de la discipline reste problématique, même dans le monde scientifique qui reste conservateur : l'Académie des Sciences ne compte que sept informaticiens sur deux cent trente académiciens alors que l'informatique représente quelque 30 % de la R&D mondiale. Mais les choses frémissent, et l'avenir apparaît moins bouché.

Si le XX^e siècle a été celui de l'énergie facile et de l'informatique difficile, le XXI^e siècle sera celui de l'informatique facile et de l'énergie difficile. Il faut s'y habituer et les pays qui sauront concilier les deux seront dans une situation favorable ; mais il n'est pas encore clair que ce sera le cas de la France.

Des questions nouvelles se posent donc à nous. La plus importante sera de savoir choisir son camp : ferons-nous de nos enfants simplement des consommateurs de technologies développées ailleurs, en Amérique ou en Asie, ou bien des créateurs du monde de demain ?

EXPOSÉ DE Christophe DESHAYES

L'idée d'inversion est extrêmement féconde. Gérard Berry nous dit ainsi que ce qui est essentiel, ce sont nos constructions mentales avec lesquelles nous percevons ce monde nouveau. Un monde nouveau pour nous, ce qui nous conduit à nous interroger sur la pertinence de nos constructions mentales héritées et nos préférences avant/maintenant. Pour les jeunes qui n'ont connu que ce monde, il n'y a pas de place au doute. Cette révolution numérique, car il s'agit bien d'une révolution, pourrait ainsi déboucher sur une incompréhension profonde et potentiellement conflictuelle entre les *digital natives* et les "vieux". C'est en tout cas ce que redoutent les Américains depuis plusieurs années, notamment dans le monde de l'entreprise.

À chaque fois que l'interaction jeune/vieux ne peut être esquivée, la question du conflit causé par une inversion des schémas mentaux se pose. Je veux parler de la relation parent/enfant, de la vie en entreprise et enfin de la sphère politique. Je n'aborderai pas ce dernier aspect puisque tout le monde pèse désormais le caractère subversif des inversions apportées par le numérique dans le Printemps arabe.

Dans la relation parent/enfant

Aux États-Unis, dans les thérapies familiales, l'un des sujets les plus importants est l'usage excessif du *smartphone* par les parents. Les enfants se disent mal aimés et voient dans l'addiction au *smartphone* la preuve de ce désamour ! Les parents ne respectant que rarement leurs engagements d'un usage plus raisonnable, les enfants les pourchassent jusque dans les salles de bain pour les prendre en flagrant délit de promesse non tenue ce qui témoigne d'une inversion magistrale de la relation enfants/parents !

Autre inversion : nous nous inquiétons tous du risque que nos enfants passent à côté de leur vie en étant aspirés par ce que leur offrent les ordinateurs. Pour les plus touchés, on parle de *no life*. Mais il me semble que nos parents réagissaient de même à propos de notre consommation télévisuelle. Ce risque est très exagéré. La preuve en est que, quand un enfant veut discréditer un camarade, il le traite de *no life* ! S'ils y passent autant de temps, c'est sans doute parce que la vie sur Internet est beaucoup plus intéressante et plus active qu'on ne le pense. Et si notre existence numérique était plus riche, plus vaste que la vie dite réelle ?

Aujourd'hui, près de la moitié des photos des bébés à naître, obtenues par l'imagerie médicale, s'échangent sur Facebook. Notre vie numérique commence avant même d'être né ! De même, notre existence numérique ne s'arrête pas avec notre décès. Nos divers comptes peuvent en effet continuer à générer des données et prolonger notre vie sociale numérique bien après notre mort. D'ailleurs, de plus en plus de gens réclament désormais devant les tribunaux la restitution des données numériques d'un défunt.

Je note que ce sont bien sûr les parents et non les enfants qui procèdent à cette inversion de l'ordre des choses, à cette extension de la vie ! Alors, quand les adultes prennent une posture morale pour juger ces jeunes qui oublieraient ce qu'est la "vraie vie", c'est surtout parce qu'ils ont envie de les juger, ce qui ne date pas d'hier !

Les inversions mentales ne concernent pas que les jeunes. Nous sommes également touchés.

Dans le monde de l'entreprise : la montée du péril jeune ?

C'est Marc Prensky³ qui a inventé l'expression *digital natives*, il y a une dizaine d'années déjà. Il nous explique que les jeunes sont très différents de nous : ils ont une confiance limitée dans l'officiel et l'institutionnel ; ils opposent un refus, voire une inaptitude, à fonctionner sous relation d'autorité ou contrainte de règles ; ils ont une exigence d'alignement entre attentes, valeurs et culture de l'entreprise. On comprend alors mieux que, dans le discours de clôture des G8 et e-G8 de Deauville, la proclamation solennelle par les politiques de leur volonté de faire se rencontrer régulièrement « *les chefs d'État et les chefs de l'Internet* » ait déclenché une vague d'hilarité dans la blogosphère ! Comme si les internautes se reconnaissaient dans un chef... Les mondes numériques ne sont pas des mondes rationnels et froids mais au contraire des mondes communautaires. Dans cet univers, ce qui compte, par exemple quand on reçoit une information, c'est de savoir qui vous la donne, ami ou étranger, ce qui déterminera si on l'écoute ou pas, si on la croit ou pas, presque indépendamment des arguments.

Selon Marc Prensky, les jeunes auraient : « *une orientation action, avec des objectifs explicites et une exigence de résultats rapides.* » Ils seraient habitués à un contexte de changements flous et étendus, auraient une capacité au zapping et au multitâche, une appétence au surf, etc. Si tel est le cas, cela risque donc de créer une inversion considérable dans l'entreprise. L'une des obsessions des entreprises est aujourd'hui la conduite de la transformation avec en ligne de mire la fameuse résistance au changement des collaborateurs. Pour ces nouveaux collaborateurs toujours en mouvement, il faudrait se dépêcher d'inventer des prestations de conseil en stabilisation pour remplacer celles en accompagnement du changement devenues sans objet. La question est plus sérieuse qu'il n'y paraît.

Troisième caractéristique : les jeunes seraient centrés, simultanément, sur le *je* et sur le *nous* : écologie, commerce équitable, ..., tout en se préservant par ailleurs de l'autre, dans une bulle de sauvegarde individuelle. Quand on va leur demander de s'intéresser à la profitabilité de l'entreprise, cela risque d'être compliqué ! Comment s'en sortir ? Pour l'instant, personne ne le sait ! Certains supposent que le jeu pourrait être une manière de régler ce grand écart : on consacrerait plus de temps, dans l'entreprise, à des activités menées sous des formes ludiques plus ou moins variées. Or, dans nos schémas mentaux, travail et jeux étaient antinomiques...

Quatrième constat : la porosité entre vie réelle et vie en ligne. Certains d'entre nous en souffrent, mais pas les jeunes, pour la simple raison qu'ils ont mis en place énormément de barrières. Quand ils sont dans l'entreprise, puisqu'ils font en dehors des choses pour elle, ils s'autorisent en retour pas mal de choses personnelles. De plus, comme ils peuvent en faire quatre en même temps, ils ne volent pas le patron ! Ils ont quantité de codes auxquels nous n'accédons pas forcément : ainsi, quand on envoie un SMS, on est tenu de répondre par SMS.

Cinquième orientation : toujours selon Marc Prensky, ils ont un besoin de visibilité important de ce que font les autres. C'est un point très intéressant : il faut absolument qu'ils sachent ce que font les autres, quand bien même ils ne les voient pas. Même en *open space*, ils communiquent par e-mail. Pourquoi ? Dans des organisations de plus en plus versées dans le travail collaboratif, il est assez intéressant, au sein d'une communauté, de pouvoir voir les autres. Cela semble déclencher des phénomènes d'entraide spontanée et de reconfiguration

³ Marc Prensky, *Digital Natives, Digital Immigrants*, essai publié en ligne en 2001.

dynamique d'un groupe. De quoi envisager ces pratiques comme une proposition d'organisation efficace mais totalement alternative : les gens, entre eux, s'auto-organisent. Si vous voulez passer pour un extra-terrestre, demandez donc à vos enfants, quand ils sortent le soir, où ils vont, ce qu'ils vont faire et avec qui :

- « *Je ne sais pas !* »

- « *Tu ne sais pas ?* »

- « *Ce n'est pas grave, de toute façon, on va changer cinq fois d'avis d'ici la fin de la soirée !* »

En permanence, ils vont communiquer et ajuster leurs intentions. La planification, l'ordonnancement, l'anticipation, sont des choses qui leur sont totalement étrangères. Le pire, pour nous, c'est que ça marche ! On pourrait craindre que cela ne désorganise complètement nos entreprises mais en même temps, elles ne cessent aujourd'hui d'invoquer le mot d'agilité.

La question est sûrement de savoir quelles représentations il y a dans la tête des chefs !

Sont-ils sincères lorsqu'ils réclament des organisations agiles ? Ont-ils compris que de telles organisations sont désormais envisageables notamment grâce au numérique mais avec des collaborateurs aux schémas mentaux nouveaux, aux motivations et aux aspirations différentes ? Plus qu'un conflit entre "vieux" et *digital natives*, c'est un conflit de valeurs et de schémas mentaux qu'il faut, selon moi, redouter. Quand on regarde les entreprises qui créent le plus de valeur boursière aujourd'hui, on constate que ce sont surtout des entreprises du secteur informatique, dirigées essentiellement par des jeunes aux schémas mentaux plutôt nouveaux. La planification est le cadet de leurs soucis, même le ROI (*Return On Investment*) ne les intéresse guère : aucune de ces grandes réussites n'a eu un modèle économique qui aurait été esquissé au préalable et ce modèle a déjà changé à plusieurs reprises depuis. Cela nous interpelle. Ne vivons-nous pas une fracture entrepreneuriale ?

Gérard Berry a mille fois raison d'insister sur la modification profonde de nos représentations, désormais à 180° de nos anciennes certitudes. Quant à savoir si c'est le numérique qui, mécaniquement, provoque cette mutation ou si c'est l'évolution de la société qui la rend possible, le débat reste ouvert. Les jeunes sont-ils les seuls à vivre ces inversions ? Cela ne me semble pas certain. Cela suscitera-t-il des conflits dans les entreprises, mais faut-il s'en inquiéter ? Il me semble surtout que c'est du côté des schémas mentaux de nos dirigeants qu'il faut porter le regard. Faut-il coacher les chefs sur le numérique ? Cependant, la question de fond reste de savoir comment changer ces schémas. L'enseignement de l'informatique est une réponse possible, mais le monde du numérique est beaucoup plus vaste et ne s'y résout pas. Y a-t-il des savoirs avérés en la matière ? Comment les transmettre ? Y a-t-il un débat sociétal sur ce point ? Ces questions restent posées.

DÉBAT

Un intervenant : *Quel est le profil de ces nouveaux créateurs du Net ?*

Gérard Berry : On ne peut pas être créateur dans le numérique sans comprendre l'informatique. Les créateurs d'entreprise que vous évoquez sont tous des PhD d'universités majeures américaines, sauf ceux qui l'ont arrêté, comme les fondateurs de Google, parce qu'ils n'en avaient plus besoin. Et je sais qu'ils étaient pourtant très bons parce que je connais leurs professeurs ! Les fondateurs de Google ont fait ceci d'intéressant qu'ils ont engagé un manager standard parce qu'ils étaient conscients de ne pas avoir les compétences pour ce travail-là.

Mais le travail dans une société comme celle-là est extrêmement différent : dans cette entreprise d'environ vingt mille personnes, le salarié type est un(e) asiatique âgé(e) de vingt-six ans et dont on ne sait combien de temps il restera. Le management y est également très différent. À l'occasion d'un recrutement, en France, la première demande faite à Google par les postulants était : « *Combien de personnes vais-je manager ?* », question sans objet pour cette société en quête de talents créatifs, mais récurrente en France où les élèves ingénieurs entrent dans les grandes écoles sans avoir fait une heure d'informatique ! Ceci étant, aujourd'hui, il faut quitter Google, considéré comme ringard, pour aller chez Facebook et on se trouve ainsi dans des zones de bulles d'où la rationalité est parfois absente.

Christophe Deshayes : Larry Page, un des trois fondateurs, a récemment pris le pouvoir avec pour objectif de lutter contre la bureaucratie rampante au sein de Google ! C'est dire la vitesse à laquelle les choses évoluent dans ce monde-là !

Int. : *Les Asiatiques, qui ont une autre approche de pensée et d'action que les Occidentaux, ont-ils une manière particulière d'appréhender cette nouvelle ère ?*

C. D. : Partout dans le monde, les filières scientifiques sont désertées, sauf en Inde et en Chine, pays où les mathématiques et l'informatique sont les clés de la réussite. De ce point de vue, la différence est absolument astronomique !

G. B. : J'ai beaucoup travaillé avec Tata Consulting Services (TCS). Dans les années 1990, ils étaient cinq mille ; en 2004, ils étaient soixante-quinze mille et cent trente-cinq mille en 2009. En Chine, à la Beijing Tsinghua University, l'université la plus réputée du pays, l'un des plus grands professeurs d'informatique est Andrew Yao⁴, qui était à Stanford auparavant et qui est revenu dans son pays parce qu'on lui y offrait de meilleures conditions de travail et un meilleur salaire. En Inde, c'est le premier débouché de travail, tous les enfants veulent travailler dans le domaine de l'informatique et l'enseignement les y prépare. Ce sont des mouvements de fond, très puissants.

L'entreprise 2.0

Int. : *On lit beaucoup de choses sur ce que sera l'entreprise 2.0, qui semble caractérisée par une vitesse de changement extraordinaire. En trois semaines, la capitalisation virtuelle de Facebook, s'est récemment accrue de deux milliards de dollars. Comment les entreprises dans leur ensemble vont-elles pouvoir suivre ?*

G. B. : Les *digital natives* ne sont pas encore vraiment présents dans les entreprises. Mais laissez-moi vous conter une expérience que j'aime beaucoup. Nous avons été contactés par le ministère de la Recherche et de l'Enseignement supérieur afin de l'aider à traiter le problème suivant : beaucoup d'argent a été dépensé pour créer des sites d'information mettant à disposition des étudiants tout ce qu'il leur faut savoir sur les universités, les études, les

⁴ Andrew Chi-Chih Yao, Director, Institute for Interdisciplinary Information Sciences, Tsinghua University, Beijing, P.R.China.

carrières, ... Or, ces sites sont superbement ignorés par les intéressés, alors que l'information sur les logements étudiants à Strasbourg, mise sur Facebook, est un succès. Ma réponse a été que le ministère avait fabriqué un nouveau Minitel !

Dans les entreprises, très souvent, les gens ont des logiciels d'un autre monde et d'un autre temps ! En arrivant sur la page d'accueil d'Air France, on a cinq façons différentes d'entrer sur le site ! Ce n'est pas cela, le monde de demain ! Ces outils sont dépassés : vieux ou jeune, personne n'a de mal avec Google ! Il faut donc apprendre à faire des Google, et arrêter de faire des Minitel ! Mais c'est aussi plus difficile.

C. D. : Selon une étude récente, 95 % des salariés reconnaissent utiliser dans l'entreprise des logiciels qu'ils y ont introduits. De plus en plus d'entreprises américaines développent un nouveau modèle, BYOD (*Bring your own device*) : pourquoi acheter très cher des logiciels qui ne sont pas utilisés ? Achetez donc vous-mêmes ceux qui vous conviennent, l'entreprise vous les rembourse ! Voilà une inversion radicale ! Le temps qu'un état-major étudie l'appareil dont on veut doter quarante mille personnes, celui-ci est déjà obsolète !

Le concept d'alignement de l'informatique sur la stratégie, outre le fait qu'il fallait qu'il y ait une stratégie, est désormais vide de sens : les clients imposent leurs choix et les collaborateurs que l'on désire recruter ne viennent que s'ils ont les outils qu'ils souhaitent. Tôt ou tard, le marché commande et les entreprises suivent. Le concept d'alignement stratégique est à son tour totalement inversé.

Maintenant, est-ce que ça change si vite que ça, et est-ce que, lorsque les trains sont passés, on ne peut plus monter dedans ? Il est très difficile d'en juger : les exemples de précurseurs qui se sont effondrés abondent tout autant que ceux de retardataires qui ont réussi à revenir.

Le pouvoir et le Net

Int. : *Il faut qu'à un moment le pouvoir et l'informatique se rencontrent. On applaudit les révolutions arabes quand elles renversent des dictateurs, mais il se peut qu'un jour, avec exactement les mêmes moyens, on veuille renverser un gouvernement démocratique. Et un effet de rencontre lors d'un G8 ne peut suffire...*

C. D. : Ce n'est pas d'un effet de rencontre dont il est question dans ce sommet G8/eG8, mais de la légitimité de la représentation. On a tendance, lorsque l'on parle de numérique, à ne voir que les gens qui vendent du numérique. En France, on vient d'installer un Conseil national du numérique or, il n'y a dans ses membres, ni chercheur, ni acteur public, mais uniquement des représentants du lobby des fabricants. Ce qui a provoqué cette "e-larité" générale sur la Toile, c'est que l'on ait pu penser qu'il y avait des chefs de l'Internet à mettre en face des chefs d'État, et que ces chefs puissent être des industriels de l'informatique ou du Net, alors qu'aucun internaute ne se reconnaît en eux !

G. B. : Les parlementaires ignorent totalement ces sujets. La première urgence serait de faire en sorte que les responsables politiques comprennent de quoi il en retourne. Par exemple, avant de rédiger la loi Hadopi, a-t-on interrogé des jeunes pour comprendre leur comportement ? J'en doute franchement parce que l'on a interdit le téléchargement au moment même où les jeunes s'en désintéressaient ! Désormais, ils écoutent de la musique en *streaming* et c'est complètement différent. Le temps que les politiques en discutent, l'objet a disparu !

Il y a là un problème d'accès à la culture scientifique de base très profond : les responsables ne peuvent pas continuer à prendre des décisions sans savoir de quoi il s'agit et sans tenir compte des études faites par les chercheurs, par exemple sur les comportements réels des usagers ou sur les risques réels d'Internet, et non pas décider sur des présupposés ou des fantasmes. Il faut savoir qu'en Chine, 80 % des dirigeants sont des ingénieurs, ce qui n'est plus vrai en France depuis bien longtemps. C'est pourtant un Français qui a fait, en grande partie, l'interface de l'iPhone. Mais il ne l'a pas fait en France ! Nous avons un problème de déni de l'existence de ce sujet, qui risque de nous coûter très cher en nous laissant à la merci des lobbys.

Il faut réaliser que nous ne sommes qu'au début de l'informatique et que tout reste à venir. Le prochain objet à disparaître sera l'ordinateur. Par quoi sera-t-il remplacé ? On ne sait pas, on verra... Il nous faut donc comprendre les lignes de force, voir dans quelles directions vont les choses, cesser d'avoir peur des machines et ne pas être sans cesse surpris par ces évolutions. Pour les gens qui comprennent comment l'informatique marche, il n'y a pas de surprise : il n'y a qu'un mouvement continu, rapide et plutôt organisé.

Int. : *La réflexion sur les pratiques prend toujours beaucoup plus de temps que le développement des pratiques. La manière d'apprendre est profondément changée par la mise à disposition des systèmes informatiques. Y a-t-il des gens qui travaillent sur ce thème ?*

G. B. : Énormément de gens travaillent sur la modification des manières d'apprendre, en Finlande, aux USA ou ailleurs. En France, fidèles à notre tradition d'uniformisation, nous considérons que rien n'a d'intérêt s'il ne peut être appliqué à plusieurs millions de personnes d'un seul coup ! Alors, je suis sceptique sur bien des démarches d'enseignement. Certaines collectivités locales ont donné un ordinateur à chaque collégien. Mais ils s'en sont tenus là : en conséquence, les jeunes ne s'en servent que pour aller sur Facebook ou Twitter, mais les politiques se sentent dédouanés ! Les choses commencent lentement à changer, avec des enseignements expérimentaux en seconde, grâce aux efforts de beaucoup d'enseignants mais cela reste très compliqué.

C'est une illusion de croire que l'on peut utiliser correctement un ordinateur et créer des contenus corrects si on ne comprend pas ce qu'il y a derrière. En France, on s'en tient à cette illusion depuis quarante ans ! Et cela laisse les mains libres à Google, Facebook et consorts qui, eux, savent parfaitement ce que permet l'informatique et ne se privent pas pour nous imposer leurs choix.

Présentation des orateurs :

Gérard Berry : ingénieur à l'École polytechnique (1970), ingénieur des Mines (1973), thèse de doctorat d'État en mathématiques (1979) ; chercheur puis directeur de recherches à l'École des mines de Paris de 1970 à 2001 ; directeur scientifique d'Esterel Technologies de 2001 à 2009 ; directeur de recherches à l'INRIA (Institut national en informatique et en automatique) depuis 2009 ; membre du conseil d'administration de l'Agence nationale de la recherche ; prix Montpetit de l'Académie des sciences 1990 ; prix Science et Défense 1999 ; grand prix informatique de la fondation EADS 2005 ; membre de l'Academia Europaea en 1993 ; membre de l'Académie des sciences en 2002 ; membre de l'Académie des technologies en 2005.

Christophe Deshayes : diplômé de l'INSEEC, PDG fondateur en 1996 de Documental (l'observatoire impertinent des systèmes d'information et de communication), il intervient comme conférencier d'entreprise sur les sujets des technologies de l'information et de la communication (TIC), leurs usages, leur impact sur les métiers et les rapports sociaux ; il a occupé précédemment diverses responsabilités au sein de plusieurs sociétés de services et d'ingénierie informatiques (SSII) ; co-auteur avec Michel Berry du livre *Les vrais révolutionnaires du numérique* (Éditions Autrement, 2010).

Diffusion septembre 2011