

Compte rendu du colloque sur l'ingénierie numérique organisé, le 25 novembre 2011, par l'Académie des Technologies, le Conseil Économique, Social et Environnemental et le Conseil général de l'Industrie, de l'Énergie et des Technologies

Le 25 novembre dernier, s'est tenu dans l'hémicycle du Conseil Economique, Social et Environnemental (CESE) un colloque portant sur l'ingénierie numérique organisé conjointement par l'Académie des Technologies, le Conseil Economique, Social et Environnemental (CESE) et le Conseil Général de l'Industrie, de l'Energie et des Technologies (CGIET).

Le sous-titre *Entre ruptures technologiques et progrès économique et sociétal* donné à cet événement attirait d'emblée l'attention des participants sur l'ambition de cette journée de réflexion et sur l'ampleur des enjeux soulevés par ce qui aurait pu être perçu comme une discipline d'ingénieur parmi d'autres.

Par Romain BORDIER*, Laurent GUÉRIN** et Jonathan NUSSBAUMER***

* Ingénieur des Mines et membre d'un groupe de travail sur l'Avenir de la radio en France (romain.bordier@mines.org).

** Ingénieur des Mines et rapporteur général au Conseil National du Numérique (laurent.guerin.2009@mines.org).

*** Ingénieur des Mines et membre d'un groupe de travail sur l'Avenir de la radio en France (jonathan.nussbaumer@mines.org).

A la lecture du programme, on ne pouvait qu'être frappé par la diversité des secteurs abordés, allant de l'aéronautique à l'automobile, en passant par la chimie, la santé et le tourisme. Comme pour parachever la démonstration de l'ubiquité du numérique, la journée était clôturée par une table ronde d'acteurs de l'agro-alimentaire, fermant la boucle entre le vieux secteur primaire et l'« économie du quaternaire », pour reprendre, comme l'ont fait plusieurs intervenants, le concept créé par Michèle Debonneuil.

Le numérique n'est pas seulement transversal, il est aussi « très structurant », rappelait en introduction Bruno Revellin-Falcoz, président de l'Académie des Technologies, tandis que Pascal Faure, Vice-président du CGIET, le situait « au cœur de la transformation de l'industrie ». Difficile de ne pas penser à une nouvelle Révolution industrielle : on imagine sans peine d'illustres prédécesseurs menant, sur la vapeur ou sur la fée électricité, des discussions similaires, rassemblant fervents enthousiastes, pragmatiques, cassandres et sceptiques, mais tous s'évertuant à en digérer, à en mesurer et à en prévoir les implications.

Si les présentations faites durant toute cette journée ont principalement porté sur l'ingénierie numérique en elle-même, les conséquences sociétales de la diffusion du numérique ont été elles aussi largement abordées. Et non seulement les conséquences, mais aussi les causes : comme le soulignait Bruno Révellin-Falcoz, « l'innovation est un peu technologique, et pour le reste, [elle est] liée à des questions sociales et environnementales ».

LE NUMÉRIQUE, À LA FOIS FAMILIER ET INCONNU

Comme son cousin anglais « *digital* », le numérique fait simplement référence aux nombres 0 et 1 du système binaire. Ce terme est donc bien connu des ingénieurs et des scientifiques : un signal numérique est une version quantifiée et échantillonnée d'une information analogique brute. La combinaison de l'analyse numérique et de la puissance de calcul des ordinateurs permet donc de résoudre avec des calculs discrets ces problèmes mathématiques complexes que sont les modélisations et les simulations.

Mais l'irruption du terme « numérique » dans le discours médiatique et les débats politiques révèle autre chose. On parlait jusque dans les années 1990 de calcul, et un peu plus tard d'informatique, puis, au plus fort de la bulle Internet, des « nouvelles technologies de l'information et des communications », les NTIC. Il s'agissait alors d'en capturer la nouveauté et le caractère foisonnant. Mais, les années passant, le N (correspondant à « nouveau ») de cet acronyme est très logiquement tombé en désuétude, et on parle donc, de nos jours, des TIC.

Le concept générique et englobant de « numérique » a balayé ces termes et acronymes, son utilisation étant démocratisée par la popularisation des concepts de « fracture numérique », « d'aménagement numérique » ou encore de « natifs numériques », et par son institutionnalisation (de la création d'un Secrétariat à l'Economie Numérique jusqu'à la récente installation du Conseil National du Numérique).

Selon Gérard Berry (un membre de l'Académie des Technologies), le numérique, c'est l'unification de toutes les formes d'information par les nombres, alors que les échanges d'information étaient autrefois interdits par l'hétérogénéité de leurs supports (photo argentique, disque gravé, texte écrit, etc.). Il n'y aura bientôt plus lieu d'évoquer les modalités techniques de cette grande unification, qui superpose au monde physique un double numérisé, homogène et fluide. Comme le soulignait en introduction Christian Saguez, membre de l'Académie des Technologies : « Toute l'information est désormais numérique ». De là découle le fait que le numérique s'est imposé au travers des fameux « usages », dans notre société, dans notre culture, dans nos objets, dans nos corps, parfois, et, même, dans notre façon de penser.

On est donc passé du numérique en tant qu'outil utilisé par les ingénieurs pour des applications bien délimitées, en silo, à un numérique « distribué, interconnecté, parallèle », comme l'a caractérisé Pascal Faure, un numérique qui affecte tous les champs de l'activité humaine. Une question latente, durant ce colloque, était celle du rapport entre ces deux utilisations du même terme : y a-t-il un malentendu, ou véritablement une continuité ?

QUE FAIRE AVEC LE NUMÉRIQUE ?

Quoi qu'il en soit, la réponse à cette question nous est d'abord venue des exemples de produits, d'outils ou de services utilisant ces prouesses technologiques. L'auditoire de l'hémicycle du Palais d'Iéna aura pu apprécier, tout au long des débats et des présentations qui ont jalonné cette journée, de nombreux cas concrets d'utilisation du numérique, souvent époustouflants. Que de travail accompli, depuis le Sensorama de 1962 !

En nous signalant que « le calcul devient de plus en plus accessible », notamment grâce à l'essor du *cloud-computing* (voir l'encadré 2), Pierre Leca, chef de département au CEA, nous a rappelé quel est l'intérêt premier du numérique. Ses capacités de calcul sans cesse croissantes sont massivement exploitées dans les industries traditionnelles, telles que les transports (comme nous l'a présenté Gérard Poirier, directeur scientifique adjoint chez Dassault Aviation), ou encore pour la simulation des matériaux (une application exposée par Nicolas de Warren, directeur des relations industrielles chez Arkéma). Dans la plupart des cas, le

Encadré 1**ET PENDANT CE TEMPS-LÀ, SUR TWITTER...**

Suiviez-vous la conférence parallèle ? Pendant que les intervenants se succédaient au perchoir, les plus bavards, dans l'assistance, se livraient en *live* à un véritable commentaire de la conférence. Cela se passait sur Twitter. Nous avons sélectionné pour vous quelques extraits (en 140 caractères, pas plus !) :

@matthieusoule : un #hashtag pour aujourd'hui ? Pourquoi pas #RupturesTechno ?

@ChristianLeRoux : ouverture du grand débat sur l'ingénierie numérique de l'Académie des Technologies au @lecese

@HenriVerdier : *la biologie de synthèse vie* par Dassault Systèmes, l'm faut dire que ça a de la gueule.

@matthieusoule : #DassaultSystemes est notre #Pixar industriel à nous. Fascinant sur la 3D & une vision du #numérique incroyable.

@HenriVerdier : l'intelligentsia française est paternaliste pour les PME. Elle confond *startup* et sous-traitant.

@matthieusoule : c'est touchant de leur part mais ac filières industrielles le carcan empêche une sortie par le haut pour #PME.

@MaximeLegendre : le métier de data scientist est à créer !

@MaximeLegendre : « 2 données c'est bien, 2 données reliées c'est 10 fois mieux »

@pdewest : @HenriVerdier enfin un intervenant sachant utiliser son *slideware*

@pdewest : chapeau à Pierre Marchadier de @3dsfrance qui a relevé avec brio le défi de remplacer au pied levé Bernard Charlès! #noshow

numérique permet de concevoir avec plus d'agilité des *process* industriels innovants. Il s'agit par exemple, pour François Mudry, directeur scientifique d'ArcelorMittal, de modéliser avec une finesse exceptionnelle une coulée d'acier afin d'optimiser la production. Des modèles dynamiques similaires permettent de prévoir le comportement des matériaux, comme celui de la tôle d'une voiture lors d'un *crash-test*. La génomique, les biotechnologies et la chimie tirent également profit des progrès du numérique. Dans tous ces cas, l'ingénierie numérique apporte des gains de compétitivité essentiels en tirant profit de tests virtuels. Ainsi, comme le souligne Daniel Zamparini, directeur des services informatiques chez PSA Peugeot Citroën, la modélisation numérique permet « l'accélération du rythme » des cycles industriels. Les entreprises utilisent aussi de plus en plus souvent le numérique pour relever des défis organisationnels. L'immersion 3D et la virtualisation permettent une véritable fusion des corps de métier. Partant du principe que « le numérique est l'esperanto du XXI^e siècle » (Pierre Marchadier, directeur de l'innovation chez Dassault Systèmes), ces entreprises utilisent le numérique pour faire dialoguer leurs équipes. Chez Airbus, c'est sur une maquette 3D de l'A380 que les équipes travaillent et échangent. Le numérique est

l'antichambre de la réalité. Ainsi, les militaires sont friands de visualisations en 3D : Dassault Systèmes est, par exemple, capable de produire en moins d'une heure un modèle 3D de n'importe quel bateau à partir de données récupérées sur le Web, ce qui permet à des troupes de prévisualiser le lieu d'une mission imminente périlleuse. De manière générale, le *serious-gaming*, également appelé « déjà-vu », donne aux militaires la possibilité d'aborder une mission avec plus de confiance, du fait qu'ils ont pu en reconnaître virtuellement le terrain.

Alors que la production des données augmente exponentiellement, le numérique apporte également des solutions pour l'analyse et la compréhension de notre environnement. Il permet ainsi de construire des systèmes de transport intelligents, qui fluidifient le trafic en modifiant de façon globale le comportement des véhicules. Autre exemple, dans le domaine de l'énergie, on peut, grâce au numérique, connaître et analyser avec précision la consommation des utilisateurs, ce qui permet de mettre en œuvre des stratégies d'économies d'énergie adaptées à l'utilisation du réseau. Des métiers traditionnels, comme celui de la cartographie, ne sont pas en reste : des entreprises comme Archividéo, qui nous a été présentée par son directeur général François Gruson, réalisent des repré-

Encadré 2**LE NUMÉRIQUE, KESAKO ?*****L'API (Application Programming Interface)***

Tout programme informatique voulu interopérable, c'est-à-dire utilisable par d'autres programmes ou d'autres applications informatiques (éventuellement développées par d'autres entités), doit être doté d'une API, c'est-à-dire d'une bibliothèque de fonctions et de briques logicielles publiques et donc utilisables à l'extérieur du programme principal. A titre d'exemple, Google fournit à l'adresse <http://code.google.com/> de nombreux outils pour développer des applications sur la base du code source Google.

L'Open Data

Le mouvement *Open Data* est né de l'idée que, pour la libre concurrence et le bien-être global, certaines données devraient être non seulement accessibles à tous, de préférence gratuitement, mais aussi librement réutilisables. Dans les domaines scientifiques, c'est le partage sans limite de toutes les connaissances actuellement disponibles (publications, résultats de recherche), notamment *via* l'Internet. Plus récemment, cela concerne des grands jeux de données publiques, à commencer par celles des administrations et, si la tendance se poursuit, celles des délégataires de service public : dépenses publiques, statistiques diverses, consommation d'électricité, données sur la santé ou l'agriculture, trafic routier, etc. La France a lancé en décembre 2011 son site d'*Open Data* : www.data.gouv.fr, à la fois par souci de transparence (loi CADA de 1978) et par espoir de voir des entreprises développer de nouveaux services à partir de ces données. Les données personnelles ou confidentielles (touchant, par exemple, à la sécurité nationale) sont naturellement exclues.

La Loi de Moore

Enoncée en 1965 par Gordon Moore, co-fondateur de la société Intel (premier fabricant mondial de semi-conducteurs, en particulier de microprocesseurs), cette loi, à la fois empirique et autoréalisatrice, stipule (dans sa version vulgarisée) que la puissance de calcul des ordinateurs double tous les 18 mois, à coût constant. Cependant, Moore lui-même a prédit une obsolescence de cette loi, sans doute aux alentours de 2015-2020, en raison notamment d'effets quantiques parasites (la taille des transistors présents sur les microprocesseurs se rapprochant de celle de l'atome). Thierry Coupez, directeur du Centre de mise en forme des matériaux de Mines ParisTech, n'a d'ailleurs pas manqué de le rappeler : désormais, on ne pourra plus compter sur les progrès continus des microprocesseurs ; les évolutions se feront dès lors par sauts technologiques (comme, par exemple, l'apparition des appareils-photo numériques).

Le cloud-computing (en français : « l'informatique en nuage »)

Il s'agit d'une forme de gérance de l'informatique qui consiste essentiellement à délocaliser les traitements informatiques sur des serveurs distants. Lorsqu'une entreprise loue du temps de calcul sur les serveurs d'un prestataire, lorsqu'un utilisateur consulte ses courriels *via* un *webmail*, lorsqu'une société stocke ses documents sur des serveurs sans en connaître la localisation exacte, c'est du *cloud-computing*. Le *cloud-computing* nécessite une excellente bande passante pour pouvoir expédier à la volée les contenus nécessaires de façon aussi satisfaisante que si ceux-ci étaient stockés localement.

sentations graphiques très réalistes de zones géographiques étendues.

Depuis plus récemment, le numérique permet d'appréhender les quantités impressionnantes « d'empreintes numériques » que nous laissons derrière nous chaque jour - et il en est de plus en plus de même pour nos objets. C'est tout le challenge du *Big Data*, qui, sur de grands ensembles de données, tolère un nouveau ratio signal/bruit et permet, de ce fait, d'accéder à une richesse d'information incroyable, notamment grâce à des interfaces API (voir l'encadré 2). Aujourd'hui, 60 % des vidéos du célèbre site légal de streaming vidéo Netflix, aux Etats-Unis, sont visionnées sur recommandation du *Big Data*, c'est-à-dire suivant une suggestion générée automatiquement par une analyse fine des préférences du consommateur, en fonction non seulement de l'historique de ses requêtes et de celui des autres utilisateurs, mais aussi d'autres informations croisées.

Les gouvernements entrevoient également dans ce mouvement une opportunité de stimuler la vie démocratique et de moderniser le fonctionnement des administrations en mettant à disposition les quantités de données dont ils disposent sous des formes aisément exploitables : c'est l'*Open Data* (voir l'encadré 2). La France vient d'ailleurs de rentrer dans le club toujours plus large des pays *Open Data* en créant son propre portail. Cette facilitation de la réutilisation des données publiques dope aussi l'innovation et ouvre un nouveau marché pour les acteurs du numérique : l'entreprise Greenext, de Caroline Alazard, donne ainsi accès, *via* une application iPhone, à une mesure de l'impact environnemental de 300 000 produits alimentaires de consommation courante.

On ne peut que s'émerveiller devant ces exploits technologiques qui repoussent les limites du possible et l'on prend alors toute la mesure de la formule de Francis Jutand, directeur scientifique de l'Institut Télécom, qui définit le numérique comme « une étape dans la métamorphose du projet humain ». Hélas, comme souvent, c'est moins la technologie elle-même que son utilisation qui représente la limite.

S'APPROPRIER LE NUMÉRIQUE

Si le numérique fascine, est-ce que « l'essayer, c'est l'adopter » ? Pas vraiment, si l'on compte le nombre de projets numériques désormais répertoriés au panthéon des flops ! L'une des interrogations les plus partagées, dans ce séminaire, portait sur l'acceptabilité de ces technologies.

Tous s'accordent à voir dans l'utilisateur lui-même, et aussi dans sa créativité, le véritable facteur limitant l'expansion de la technologie. En effet, l'utilisateur éprouve généralement de la difficulté à saisir toute la mesure de la révolution en marche et à oser deman-

der des choses qui sont souvent d'ores et déjà possibles.

L'adoption du numérique comporte souvent un risque, lié au bouleversement des habitudes de travail. Les gains peuvent être réels, mais des entreprises familiales traditionnelles ne sont pas toujours prêtes pour cette révolution ou, du moins, leurs directions peuvent le supposer. Le basculement au numérique peut générer des incertitudes angoissantes : vais-je conserver ma marge de manœuvre, dans ces grands systèmes informatiques ? Comment vais-je être formé à ces nouveaux produits ? Vais-je garder la maîtrise de mes données ? Les collaborateurs d'une entreprise ou d'une administration se posent bien souvent ces questions, surtout lorsqu'ils n'ont pas baigné dans le numérique depuis leur naissance. Les dispositifs numériques apparaissent souvent comme opaques et incontrôlables, et leur utilisateur est submergé de possibilités dont l'utilité n'est pas immédiatement évidente. Comme le rappelait Serge Catoire, membre du CGIET, citant George Bernanos, nous nous trouvons souvent, face au numérique, « informés de tout, et condamnés ainsi à ne rien comprendre ».

De fait, nous ne sommes pas préparés à gérer ce foisonnement, nous assure Francis Jutand. Eric Duceau, directeur scientifique chez EADS, précise : « Il faut dix ans pour digérer une rupture technologique, vingt ans, si elle touche à l'organisation ». Et pour répondre à ces problématiques d'acceptabilité, différents exemples peuvent nous inspirer. Citons le cas de Jean-Louis Dautin, directeur de la société Clarté qui conçoit des postes de travail en atelier. Il a choisi de réaliser ses produits en collaboration directe avec l'utilisateur final, une méthode en apparence fastidieuse, mais payante : inclure l'opérateur dans la phase de conception en filmant et en analysant ses gestes permet de s'assurer de la cohérence du produit.

DES RISQUES INDUSTRIELS D'UN TYPE NOUVEAU

Le numérique suscite un certain nombre de préoccupations légitimes. L'acceptabilité en est une, nous l'avons vu, mais la sécurité numérique en est une autre. Ce thème est revenu en filigrane, tout au long de la journée, comme un enjeu majeur (en particulier, au travers des interventions de la salle). Il nous vient à l'esprit cette citation du général d'armée Keith Alexander, commandant de l'US Cyber Command et directeur de la NSA, en septembre 2011 : *"Massive losses of private and public data in recent years to computer criminals and spies represent the largest theft in history"*. [« Le fait que des quantités massives de données tant privées que publiques soient tombées ces dernières années entre les mains de criminels informatiques et d'espions représente le vol le plus important de toute l'Histoire »].

Dans ce domaine, les menaces sont colossales et souvent sous-estimées, car moins palpables que les risques industriels conventionnels. L'attrait et la fascination qu'exercent les nouvelles technologies sur un public souvent profane rendent ces menaces d'autant plus grandes. En premier lieu, il s'agit de protéger le secret industriel, et donc le patrimoine des entreprises : cyberespionnage, intelligence économique, cybercriminalité, prédation informationnelle... Les risques de voir du capital de connaissance s'échapper de nos entreprises sont très réels.

Les PME, en particulier, sont désarmées, car elles sont mal formées sur ces questions et elles sont peu assistées, alors qu'un réel accompagnement est nécessaire pour les aider à développer leur politique de sécurité. Comme l'a rappelé Marie-Christine Oghly, présidente du MEDEF Île-de-France, lors de la première table ronde : « 90 % des entreprises [françaises] sont des TPE/PME, auxquelles le numérique fait peur ».

Mais le vol de données n'est pas le seul risque informatique encouru : on doit aussi redouter le sabotage informatique et la pénétration dans les systèmes de contrôle d'industries ou d'infrastructures de plus en plus interconnectées. Ainsi, lors de la première table ronde de l'après-midi, Gérard Segarra, pilote innovation au niveau de l'ingénierie-amont des systèmes télématiques, chez Renault, nous a présenté un futur « système de transports intelligents » appelé Système Coopératif Routier, qui prévoit à (long) terme la cession d'une partie des commandes du véhicule à un système d'information central prenant en compte de multiples paramètres, comme l'intensité du trafic et la signalisation.

Sans dramatiser l'enjeu, il est indispensable d'envisager dès aujourd'hui les risques de prise de contrôle du système par un agent malveillant : les ravages du « ver » informatique Stuxnet (qui a causé en Iran un ralentissement des centrifugeuses pour l'enrichissement du combustible nucléaire) et, plus récemment, ceux du virus Duqu, doivent nous alerter sur les vulnérabilités des systèmes, y compris de ceux fonctionnant en boucle fermée (c'est-à-dire non connectés à Internet).

Sécurité numérique, appropriation... : autant de freins, qui n'ont néanmoins pas empêché le grand public de se prendre à rêver.

« NOUS SOMMES SEULEMENT AU DÉBUT DE LA MAGIE NUMÉRIQUE » (FRANCIS JUTAND)

« Magie », c'est bien le mot que le grand public a en tête en découvrant, émerveillé, les innombrables applications du numérique, et surtout les miracles qu'il promet. On ne peut alors s'empêcher de penser à la Renaissance et à ce sentiment qu'avaient alors les scientifiques, les artistes et les puissants d'œuvrer au futur de l'humanité. On retrouve aujourd'hui le

même foisonnement d'innovations et cette idée que l'on n'en est encore qu'à l'aube d'une ère nouvelle. Comme si le scientifique, l'entrepreneur et le citoyen étaient encore étourdis par les formidables capacités d'échange et de traitement dont ils disposent désormais, alimentées par un déluge de données sans précédent. Et l'on se prit soudainement, durant ce colloque, à rêver de mettre enfin un terme à la « faim dans le monde », cet archétype du problème en apparence insoluble, en éliminant grâce à la magie du numérique les gaspillages « entre le champ et l'assiette ». La société Agro Edi Europe, représentée par son directeur général Bruno Prépin, travaille notamment à l'échange de données informatisées et à la standardisation des données agricoles et agro-industrielles pour mieux comprendre l'origine et la destination des flux de nourriture. Cet exemple illustre bien la conclusion de Jean-Paul Delevoye, président du CESE : « Le progrès doit être le moteur des espérances ».

Comment ne pas ressentir une certaine impatience, face à l'immensité des possibilités offertes par le numérique ? Dès lors, toutes les barrières à « l'irrésistible fluidité » (1) doivent être abattues. Les partisans de l'*Open Data*, dont la Commission européenne estime à plusieurs dizaines de milliards d'euros les retombées potentielles, trépigent devant la lenteur avec laquelle les pouvoirs publics libèrent leurs données ; les claviers (et autres interfaces imparfaites) doivent s'effacer pour laisser place à une ergonomie plus sensorielle basée sur la voix, les gestes (et, demain, la pensée ?) ; l'interopérabilité et la transparence des dispositifs sont dans toutes les bouches ; le concept de propriété intellectuelle se voit lui-même remis en cause. Même si des appels à la prudence se font entendre (« le libéralisme pur et dur des données serait aussi idiot que le libéralisme pur et dur », nous avertit Henri Verdier, président du Pôle de compétitivité Cap Digital et directeur de MFG Labs), la mise en oeuvre du projet numérique semble inévitable.

Mais la pierre d'achoppement de ce développement fantastique demeure la formation et l'émergence des talents. Et cette course vers la maîtrise de ces nouvelles technologies est aussi celle de nos économies tout entières : comme le souligne Pierre Leca, « le cœur de métier n'est pas le numérique, c'est de pouvoir utiliser efficacement le numérique ». De la maîtrise du numérique, qui « catalyse l'innovation dans tous les domaines » (Pierre Marchadier), dépend le futur de notre pays. Maîtrise, et non simple utilisation, comme on a trop souvent pu le penser par le passé : « En France, on ne doit pas oublier qu'il ne faut pas seulement accompagner la métamorphose, mais aussi la développer » (Francis Jutand). Ainsi, les cartes du jeu économique mondial seront rebattues par le numé-

(1) Titre d'un mémoire consacré à l'économie numérique, rédigé par Franck Lirzin et Stéphane Reiche dans le cadre de leur formation pour le corps des Mines.

rique, et l'issue sera directement liée au degré de préparation de nos écoles, de nos universités et de nos laboratoires.

DESCARTES EST-IL TOUJOURS D'ACTUALITÉ ?

Les paradigmes de la formation, notamment en France, sont donc largement remis en cause par cette révolution.

Dans le monde propre et lisse du raisonnement cartésien, la démarche scientifique consiste généralement à formuler des hypothèses, énoncer des axiomes et en déduire, par un raisonnement logique, des résultats. Dans ce cadre, le raisonnement est rarement contesté, au contraire des axiomes qui sont le plus souvent formulés arbitrairement ou à l'instinct, ce qui revient à peu près au même. Afin de confronter ces hypothèses au monde réel et ainsi les confirmer ou les infirmer, il est d'usage, depuis que la Science existe, de faire des expériences. En 1856, Michel-Eugène Chevreul expliquait : « Un phénomène frappe vos sens ; vous l'observez avec l'intention d'en découvrir la cause et, pour cela, vous en supposez une, dont vous cherchez la vérification en instituant une expérience ».

Parfois même, le calcul sous-tendant le raisonnement est si complexe qu'il n'est pas réalisable et l'on se contente de conduire des expériences afin de valider un modèle.

Dans le monde industriel, cela a des conséquences matérielles et financières colossales, car de nombreux essais (en particulier des essais destructifs préalablement à l'obtention de l'autorisation de mise sur le marché d'un produit) sont indispensables. Dans l'aéronautique, une industrie fortement capitaliste produisant un faible nombre d'unités, c'est un souci majeur.

Que ce soit le projet Manhattan qui ait, le premier, fait usage de la simulation numérique en lieu et place de l'expérimentation n'est pas étonnant ! Que l'usage de la simulation numérique se soit développé au rythme de la loi de Moore et qu'il ait permis de réaliser des économies d'échelle l'est encore moins. La simulation numérique a également connu un succès fulgurant dans les processus de *design*, comme l'énonce Eric Duceau, coordinateur de la recherche sur la virtualisation chez EADS : « Il est possible [non seulement] de supprimer des essais, mais aussi de réaliser des maquettes numériques, et donc de gagner des marges ! », et d'ajouter : « Avant, la contractualisation se faisait sur la base d'un produit. De plus en plus, elle se fera sur des simulations ».

On peut en revanche regretter que, dans l'industrie, la simulation numérique et l'ingénierie numérique en général soient restées jusqu'à récemment cantonnées au rôle de substituts à l'expérimentation.

Fort heureusement (les intervenants des différentes tables rondes nous l'ont montré), de nouvelles initia-

tives viennent bouleverser nos modes de raisonnement usuels. Ainsi, Jean-Louis Dautin fait ni plus ni moins du *mind mapping* : la reproduction des gestes des opérateurs et l'identification de leurs zones d'inconfort ou de frein leur permet de repenser leur poste de travail en 3D, avec des résultats surprenants.

Henri Verdier a lui aussi évoqué un changement de paradigme : partant du principe que le nombre de données accessibles *via* le Web explose (*Big Data*), il devient contreproductif de commencer par construire un modèle théorique et d'essayer de le valider grâce aux données disponibles. Il est préférable au contraire de commencer par analyser ces données et de les regarder sous de multiples angles afin d'en tirer de la structure.

Les technologies associées au traitement des *Big Data* reposent souvent sur des méthodes telles que la réduction en composantes principales. Des résultats récents ont démontré qu'à des dimensions suffisamment grandes (c'est le cas des *Big Data*), il était possible de donner du sens à des données en apparence éparées. Dans un futur très proche, les nouveaux systèmes d'analyse comportementale ou de *business intelligence* verront leur performances ainsi démultipliées : la simple recommandation laissera la place à l'anticipation des événements et des désirs.

On n'oubliera pas cependant que tous ces outils de prétraitement s'appuient sur une solide base de résultats mathématiques et algorithmiques, et qu'ils n'auraient pas vu le jour sans un minimum de raisonnement. Descartes a donc encore de beaux jours devant lui !

LA NON RÉVOLUTION NUMÉRIQUE

Mais qu'est-ce qui a fondamentalement changé, avec le numérique ? Les défenseurs de la cause du numérique ne s'extasient-ils pas un peu trop vite devant les mérites de la révolution en marche ? Et si rien n'avait réellement changé ?

« Le numérique n'est pas une révolution ! », s'exclame Jean-Luc Placet, président de Syntec Conseil en Management et membre du Conseil Exécutif du Medef.

A contre-courant du mythe selon lequel le numérique aurait profondément modifié nos modes de vie, Jean-Luc Placet se fait provocateur en affirmant que le numérique n'est pas la transformation sociétale attendue.

Ce n'est pas parce que l'on peut désormais *linker* une information, tout pré-calculer en 3D, presser « contrôle-Z » à la moindre fausse manœuvre, regarder ses *e-mails* et bientôt la télévision sur son smartphone, que la civilisation s'en trouve pour autant profondément bouleversée. Des intervenants ayant une longue expérience ont d'ailleurs relevé que « cela fait

trente ans qu'on nous promet la révolution » (et que celle-ci n'a toujours pas eu lieu).

Les nouvelles technologies changent-elles la manière de manager ? Non, répondent-ils en chœur. Le numérique n'est que l'écume. Selon eux, les préoccupations des employés sont restées imperméables aux bouleversements de la numérisation de la société : quelle est ma place dans l'entreprise ? Quel *feedback* puis-je obtenir de la part de mes collègues ? Quelles compétences et quelles responsabilités vais-je pouvoir acquérir ? Les jeunes actifs arrivant sur le marché du travail ont ces interrogations, et ce sont les mêmes qu'il y a trente ans. Ils veulent se faire une place dans l'entreprise et être managés. Ils ont peut-être seulement perdu le dévouement envers l'entreprise de leurs parents et ils ne comprennent plus pourquoi il faudrait donner son corps à l'entreprise, alors que celle-ci peut arbitrairement décider de se séparer de vous d'un clic de souris.

Certaines entreprises ne fonctionnent plus qu'au BlackBerry. L'image des entreprises est devenue extrêmement poreuse, ce qui pose, en creux, la question de leur frontière.

Le numérique remet-il en cause le *business model* des entreprises ? Il semble à certains que ce serait une erreur de le penser. Créer un compte Twitter n'a jamais fait décoller un avion.

Pourtant, même les plus réfractaires l'admettent : en profondeur, le numérique n'a peut-être pas modifié les comportements, mais il les a au moins transformés et accélérés. On ne doit plus être au contact, on doit être à l'hyper-contact. On ne doit plus répondre rapidement aux demandes, on doit y répondre hyper-rapidement. On ne doit plus écouter son marché, on doit l'hyper-écouter. La transformation des entreprises s'effectue d'autant plus autour du numérique qu'« auprès de la tribu des jeunes, l'acceptabilité se passe plutôt bien » (selon l'expression de Pierre Marchadier). Mais gardons-nous de nous précipiter : l'accélération pourrait fort bien nous faire perdre la tête, et nos partisans de la non révolution se moquent allègrement de tous ces penseurs de pacotille qui *tweetent* déjà le Grand Soir.

CONCLUSION

Du reste, le numérique n'est plus une économie naissante. De nombreuses études (rapport McKinsey, étude du COE-REXODE « L'économie numérique et la croissance ») s'accordent à attribuer au numérique un quart de la croissance française de ces vingt dernières années. Cela représente 0,52 point de croissance par an, ce qui est déjà très significatif, mais encore loin du 1,08 point de croissance par an américain, pour le même secteur économique. Et encore, on ne parle pas ici de l'emploi, pour lequel la filière numérique fournit déjà plus de 3% des actifs.

Ces chiffres très encourageants nous font néanmoins prendre conscience du chemin à parcourir et de la masse des investissements à réaliser afin de rattraper notre retard, notamment sur les Etats-Unis - rappelons que 6 des 10 premières entreprises de services Internet sont américaines. L'accélération des cycles de développement et l'effondrement des frontières entre les disciplines bouleversent notre conception traditionnelle, linéaire, de l'innovation et remettent à l'honneur l'esprit entrepreneurial. Parmi les investissements d'avenir, citons, par ailleurs, les 20 à 30 milliards d'euros d'investissement nécessaires au déploiement de la fibre optique sur tout le territoire pour favoriser l'accès au très haut débit.

Ce développement extrêmement rapide fait craindre (à juste titre) une nouvelle fracture numérique entre, d'un côté, des entreprises très agiles numériquement et, de l'autre, des entreprises plus poussives, peinant à prendre le train en marche et à organiser leurs processus d'innovation autour du numérique.

Les premières font déjà leur communication pour « 0 euro » sur Twitter, Facebook et LinkedIn, et elles ont créé des postes de *community manager*, quand les secondes viennent à peine de mettre à jour leur page Web.

Les premières, conscientes des risques numériques, engagent un directeur de la sécurité des systèmes d'information chargé de définir la politique de sécurité de l'entreprise, alors que les secondes sont, sans même le savoir, à la merci du cyberespionnage, véritable pillage numérique sans effraction.

Les premières sont « excitées » par le numérique, qui leur a permis, depuis dix ans, de réduire leurs coûts, de se différencier et d'augmenter leurs marges. Les secondes « ont peur », elles ont du mal à se départir du papier, à comprendre l'anglais et à utiliser à bon escient la simulation numérique.

Oui, le numérique est bel et bien une révolution ! A tel point, d'ailleurs, qu'il est urgent d'accompagner les entreprises (notamment les PME) qui sont en difficulté numérique, et d'investir dans la formation aux technologies du numérique et aux méthodes de management associées, la sécurisation des données et l'apprentissage de l'anglais, dont la maîtrise est indispensable pour évoluer dans le monde numérique d'aujourd'hui.

BIBLIOGRAPHIE

George Bernanos, *La France contre les robots*, 1947 (LGF - Livre de Poche, 1999).

David L. Donoho, *High-Dimensional Data Analysis: The Curses and Blessings of Dimensionality*, Department of Statistics Stanford University, août 2000.

<http://www-stat.stanford.edu/~donoho/Lectures/AMS2000/Curses.pdf>

McKinsey, *Impact d'Internet sur l'économie française*, mars 2011.

<http://www.economie.gouv.fr/files/rapport-mckinsey-company.pdf>

Centre d'Observation Economique et de Recherche pour l'Expansion de l'Economie et le Développement

des Entreprises, *L'économie numérique et la croissance. Poids, impact et enjeux d'un secteur stratégique*, Document de travail Rexecode n°24, mai 2011.

<http://blog.images-et-reseaux.com/wp-content/uploads/2011/09/5-economie-numerique-et-croissance-REXECODE.pdf>