

Pour une politique industrielle du numérique

par

■ **Gérard Roucairol** ■

Président honoraire de l'Académie des technologies

■ **Pierre Bitard** ■

Directeur de projet à l'ANRT

En bref

La transformation numérique se joue dans trois “mondes” différents : le monde réel, où il s'agit d'intégrer des capteurs, des processeurs, des calculateurs, aux produits, aux machines, aux individus, aux organisations... ; le monde de la connectivité et des télécommunications ; le monde de l'intermédiation. Dans le premier monde, la France et l'Europe tiennent leur place ; dans le deuxième, elles sont très peu représentées ; le troisième est dominé par les GAFAs, qui s'appuient sur des infrastructures colossales. Or, c'est dans ce troisième monde qu'est réalisé l'essentiel de la création de valeur. Les pistes proposées par Gérard Roucairol et Pierre Bitard consistent, notamment, à jouer de la régulation pour ménager une place à l'industrie européenne dans la transformation numérique, que ce soit par l'évolution de l'environnement réglementaire (commercial, fiscal et social) pour les marchés bifaces et multifaces de type Uber, par l'émergence de certifications pour l'informatique prédictive, ou encore par la création d'un label européen de sécurité *by design* pour les logiciels.

Compte rendu rédigé par Élisabeth Bourguinat

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

Le séminaire Management de l'innovation est organisé avec le soutien de la Direction générale des entreprises (ministère de l'Économie et des Finances) et grâce aux parrains de l'École de Paris (liste au 1^{er} novembre 2018) :

Algoé¹ • Caisse des dépôts et consignations • Carewan¹ • Conseil régional d'Île-de-France • Danone • EDF • Else & Bang • ENGIE • FABERNOVEL • Fondation Roger Godino • Groupe BPCE • Groupe OCP • GRTgaz • HRA Pharma² • IdVectoR² • IPAG Business School • La Fabrique de l'industrie • Mairie de Paris • MINES ParisTech • Ministère de l'Économie et des Finances – DGE • Renault-Nissan Consulting • RATP • SNCF • Thales • UIMM • Ylios¹

1. pour le séminaire Vie des affaires
2. pour le séminaire Management de l'innovation

Gérard ROUCAIROL : Je vais vous présenter les réflexions d'un groupe de travail qui s'est réuni tout au long de l'année 2017 et a publié en mars 2018 un livre blanc intitulé *Pour une politique industrielle du numérique*. Ce groupe comprenait de grandes entreprises françaises et internationales, mais aussi des ETI, des start-up ainsi que des représentants du monde de la recherche publique.

Une approche globale et centrée sur les infrastructures

La plupart de ceux qui se sont intéressés avant nous à la *transformation numérique* – terme que je préfère à celui de *transition numérique* – ont eu tendance à aborder le phénomène de façon partielle. Ils se sont centrés sur une technologie (par exemple l'intelligence artificielle ou l'internet des objets) ou sur l'évolution d'un secteur d'activité (l'industrie manufacturière, la santé, la mobilité...), mais ont rarement adopté une approche vraiment globale de cette transformation. Pour notre part, nous avons eu l'ambition de développer une approche systémique couvrant l'ensemble des technologies et des secteurs d'activité, et d'essayer de comprendre ce qui fait l'essence de cette transformation numérique.

Ceci nous a conduit à aborder, dans un premier temps, une question qui paraît décisive si nous voulons que notre pays soit bien positionné dans la compétition mondiale, à savoir celle des infrastructures qui sont générées par la transformation numérique et qui peuvent à leur tour orienter celle-ci.

Qu'est-ce que la transformation numérique ?

La transformation numérique repose sur l'imbrication et l'intégration de plusieurs ruptures technologiques fondamentales, à la fois dans les composants, les télécommunications et les logiciels. Ces ruptures façonnent les infrastructures qui provoquent et accompagnent cette transformation.

Les composants

Pendant trente à quarante ans, le développement de l'informatique a suivi la loi de Moore, c'est-à-dire le doublement du nombre de transistors par centimètre carré de silicium tous les dix-huit mois. Cette miniaturisation croissante s'accompagnait d'une vitesse accrue de traitement des informations et d'une diminution de la consommation énergétique.

Depuis 2006, on observe un ralentissement : désormais, la multiplication du nombre de transistors par deux ne se fait plus en dix-huit mois, mais peut prendre jusqu'à trois ou quatre ans. De plus, la miniaturisation a atteint de telles proportions (la finesse de gravure est actuellement de 14 nanomètres en production industrielle et descendra bientôt à 7 nanomètres) qu'apparaissent désormais des phénomènes de courants de fuite, dont la quantité augmente avec le nombre de transistors sur une même puce. Ces phénomènes provoquent une stagnation, voire une augmentation de la consommation énergétique qui accompagne la miniaturisation, à surface constante de silicium. Enfin, la progression de la performance des processeurs ralentit également, car on ne peut guère aller au-delà des fréquences actuelles, qui sont de 3 à 4 gigahertz. L'époque où, tous les dix-huit mois et pour le même prix, les nouveaux processeurs travaillaient deux fois plus vite que les précédents, est révolue. Si l'on atteignait une fréquence de 10 gigahertz, la chaleur dissipée sur 1 centimètre carré de silicium serait la même que sur 1 centimètre carré de soleil...

Faute de pouvoir franchir ce "mur de la performance" au niveau d'un processeur et afin de continuer à proposer des équipements toujours plus puissants, la parade consiste à multiplier le nombre de microprocesseurs sur la même puce de silicium. Ces puces "multicœurs" vont permettre de "paralléliser" certaines opérations réalisées

par l'ordinateur et ainsi de gagner considérablement en performance, ce qui représentera une rupture majeure dans cette industrie. Toutefois, 98 % des logiciels actuellement utilisés sur la planète sont conçus pour un fonctionnement séquentiel sur monoprocesseur et incapables de tirer parti du parallélisme offert par les puces multicœurs. Pour qu'ils en bénéficient réellement, il faudra entièrement les reconcevoir.

Par ailleurs, la sophistication des technologies utilisées rend la fabrication de circuits intégrés très onéreuse. Une usine de circuits intégrés coûte désormais 20 milliards de dollars et elle est très difficile à rentabiliser. Ceci explique les bouleversements qu'a connus l'industrie des semi-conducteurs, la concentration du nombre d'acteurs et la domination que se sont assurée les États-Unis et l'Asie en la matière.

Les télécommunications

La deuxième grande rupture technologique est celle qu'a connue l'industrie des télécommunications, grâce à une standardisation mondiale autour de l'IP (*Internet Protocol*) et à l'accroissement spectaculaire de la vitesse de transmission. Demain, avec la 5G, on pourra transférer sur son téléphone mobile 10 gigaoctets d'informations par seconde, soit l'équivalent de 2 500 livres de 200 pages. Avec un ordinateur fixe, on pourra envoyer jusqu'à 1 téraoctet par seconde, soit 250 000 livres de 200 pages, c'est-à-dire l'équivalent de la totalité du contenu de la Bibliothèque nationale de France en moins d'une minute et avec une couverture planétaire.

Les logiciels

La troisième grande rupture concerne les logiciels et la notion de *programmabilité* généralisée du Net. À partir de 2007, l'industrie s'est organisée pour considérer Internet comme une machine globale programmable, tous les ordinateurs connectés jouant le rôle de processeurs de cette gigantesque machine.

Un autre aspect de cette rupture est la généralisation de l'*open source*, c'est-à-dire la mutualisation du développement des logiciels, qui permet de faire toujours plus à moindre coût. Aujourd'hui, par exemple, tous les serveurs Web du monde utilisent le logiciel Apache, qui a été conçu en *open source*.

Un double mouvement "tectonique"

L'imbrication de ces trois grandes ruptures se traduit par un double mouvement "tectonique" dans les infrastructures.

Le premier mouvement est un phénomène de dissémination des capacités de calcul partout dans le monde et dans tous les objets : il ne s'agit plus seulement des téléphones et des ordinateurs, mais de tous les objets de la vie courante ou industriels, qui peuvent désormais être dotés de capteurs et de processeurs.

Le deuxième mouvement est un phénomène de concentration du traitement des données dans des lieux de type *cloud* ou *data centers*, qui peuvent comprendre des millions de cœurs de processeurs. L'un des enjeux actuels de la recherche est de mettre au point une nouvelle génération de supercalculateurs capables de réaliser une performance de l'ordre de l'*exaflop*, soit un milliard de milliards d'opérations par seconde. La puissance de cette machine équivaldrait à celle de 120 millions de PC monoprocesseurs.

Ces deux mouvements de dissémination et de concentration semblent s'opposer, mais ils s'alimentent mutuellement.

Un modèle d'analyse de la transformation numérique

Notre modèle d'analyse de la transformation numérique part de l'idée que nous avons affaire à trois mondes différents. Le premier est le monde réel, avec des individus, des machines, des organisations, des objets physiques de toute sorte. Le deuxième est celui de la connectivité, qui communique avec le monde réel à travers le standard IP. Le troisième est un nouveau monde, celui des intermédiaires : c'est dans ce monde qu'émergent des plateformes telles que Google, Amazon ou Facebook, qui concentrent des volumes de données et des puissances de calcul

fantastiques. C'est là un aspect majeur de ce modèle : pour exercer une activité dans le troisième monde, celui des intermédiaires, il faut disposer d'infrastructures colossales, avec des dizaines de milliers de serveurs répartis à travers la planète.

Le phénomène de transformation numérique s'articule en deux phases. La première consiste à ajouter de l'électronique partout, ce qui permet d'augmenter les fonctionnalités des objets – celles des machines à café, par exemple –, mais aussi des êtres humains : on peut considérer qu'un individu est "augmenté" par son smartphone ou son ordinateur. À cette augmentation des fonctionnalités s'ajoute la possibilité de communiquer les données que ces machines recueillent sur le monde réel.

La deuxième phase consiste, à partir des connaissances accumulées sur le monde réel, à créer des services intelligents pour transformer le monde réel et à monétiser les données recueillies. Au passage, émergent de nouveaux modèles d'affaires qui permettent de poursuivre la "réintermédiation" des structures du monde réel en ajoutant toujours plus d'électronique et de logiciel, et en accumulant toujours plus de nouvelles données et connaissances. Ceci provoque une véritable transformation de la société.

Quelques transformations remarquables

Dans notre livre blanc, nous proposons plusieurs exemples de transformations s'inscrivant dans ce modèle. Je vais en évoquer quatre.

*Expansion des marchés bi- et multiface*s

La première est l'expansion des marchés bi- et multiface, tels que ceux créés par Uber ou Airbnb. Tous les grands industriels de la planète (General Electric, Schneider Electric, Siemens, etc.) sont en train d'essayer de se doter de plateformes de ce type. Naturellement, cette transformation devra s'accompagner d'une évolution de la législation en matière commerciale, fiscale et sociale. Il n'y a pas de raison, par exemple, pour qu'un exploitant de VTC (voiture de transport avec chauffeur) soit moins bien traité sur le plan fiscal qu'un travailleur indépendant, ou subisse des contraintes sociales inacceptables.

En contrepartie, ce nouveau modèle commercial permet d'instaurer des circuits courts entre producteurs et consommateurs, et peut offrir des opportunités intéressantes pour les territoires.

Généralisation de l'informatique prédictive

Une deuxième transformation remarquable est la généralisation de l'informatique prédictive et la valorisation des données qui en sont issues. Il existe depuis longtemps des techniques de prévision météorologique reposant sur des modèles mathématiques, ou encore des techniques de prédiction du comportement d'un objet technique (par exemple une aile d'avion) en fonction de telle ou telle condition d'utilisation. Il ne s'agissait cependant que de raisonnements déductifs. La capacité d'Internet à collecter d'énormes volumes de données permet de mener des raisonnements inductifs à base de modèles statistiques, de prévisions probabilistes, mais aussi de modèles construits automatiquement par les machines grâce à l'augmentation de la puissance de calcul combinée avec des techniques d'apprentissage artificiel.

Pour le moment, toutefois, les technologies d'informatique prédictive fondées sur des principes d'apprentissage artificiel qui fonctionnent le mieux sont celles qui relèvent de ce que Yann Le Cun appelle l'*apprentissage supervisé*. Par exemple, si l'on veut construire un réseau de neurones capable de reconnaître des photos de vaches, il faut commencer par indexer un grand nombre de photos dans une base de données en précisant celles qui représentent une vache et celles qui ne représentent pas une vache, ce qui demande un investissement non négligeable. Il est important d'insister sur ce point, car certains se font des illusions sur la capacité de notre industrie à concurrencer Google grâce à l'excellence de nos mathématiciens. Pour ce genre d'application, les mathématiques ne suffisent pas. Il faut y associer tout un travail d'ingénierie des données et disposer des infrastructures correspondantes.

Doublures numériques et interopérabilité sémantique

Un troisième aspect de la transformation numérique est la possibilité de doubler le monde réel par un monde virtuel et de faire en sorte que les deux puissent interagir. Cette technologie est déjà utilisée dans l'industrie à travers les jumeaux numériques. Il s'agit de créer un double numérique d'une machine-outil et de l'alimenter avec les données recueillies par la machine réelle, ce qui permet au jumeau numérique de prédire les éventuels incidents et ainsi d'optimiser le fonctionnement de la machine.

Au-delà de cette application à l'industrie, on peut généraliser le concept et parler de doublure numérique à propos d'un patient, par exemple. Le dossier médical partagé pourrait être considéré comme la doublure numérique de ce patient et servir à faire de l'informatique prédictive pour anticiper les problèmes de santé qu'il pourrait rencontrer.

Changement de modèle de l'industrie informatique

Une quatrième transformation remarquable est le changement de modèle de l'industrie informatique lié aux ruptures technologiques que représentent le parallélisme massif et, bientôt, le recours au calcul quantique. Ces ruptures pourraient remettre en cause les positions acquises et ouvrir de nouvelles opportunités dans l'industrie des processeurs et des architectures de serveurs. Elles vont probablement conduire aussi à l'abandon de la partition des industriels entre *hard* et *soft* et à une réintégration verticale de la chaîne de valeur. Google, par exemple, conçoit ses propres serveurs.

Un peu de théorie économique

Avant d'en venir à nos recommandations à propos de ces quatre grandes transformations, Pierre Bitard va évoquer les présupposés, en termes de théorie économique, sur lesquels ces recommandations s'appuient.

Pierre BITARD : Pour passer de la description de l'état actuel des techniques et des infrastructures à des recommandations sur les politiques à mettre en œuvre, nous avons besoin de nous appuyer sur une doctrine économique. Celle que nous avons retenue repose sur deux éléments.

Le premier est l'idée que la compétitivité des entreprises dépend de la qualité de leurs écosystèmes et, en particulier, de leurs écosystèmes de RDI (recherche, développement, innovation). Régions et pays sont en concurrence pour attirer les entreprises, et la fragmentation des chaînes de valeur permet une localisation multinationale qui perturbe le jeu des politiques nationales, mais dont elles peuvent, en même temps, tirer parti.

Le deuxième élément de cette doctrine économique est la théorie de l'*évolutionnisme économique* développée, en particulier, par le chercheur italien Giovanni Dosi. Cette théorie établit une analogie entre les systèmes biologiques et les systèmes économiques, à travers, notamment, les notions d'hérédité, de variation et de sélection. Dans le monde économique, la notion d'hérédité renvoie, par exemple, aux routines organisationnelles, tandis que celle de sélection peut s'appliquer à la disparition des entreprises les moins adaptées à leur environnement.

Selon cette théorie, il n'existe pas de déterminisme et l'on peut définir des politiques industrielles qui modifient et structurent l'environnement des entreprises pour le faire évoluer dans le sens qui paraît souhaitable.

Cela dit, il existe des freins à l'évolution des entreprises, notamment les "trajectoires technologiques", dont elles ont souvent du mal à s'extraire, ou encore les "contraintes de sentier", c'est-à-dire, par exemple, la difficulté à changer de marché, comme lorsque le groupe Mercedes s'est lancé dans la fabrication de voitures de plus petite taille que celles qu'il avait l'habitude de construire et s'est heurté à de grandes difficultés.

Une politique industrielle qui viserait à faire émerger et à structurer des écosystèmes performants de RDI peut aussi se heurter au paradoxe de la concurrence, c'est-à-dire au fait que chaque entreprise cherche activement à échapper à la concurrence et, notamment par l'innovation et la différenciation, à s'assurer une position dominante. L'entreprise peut alors utiliser les bénéfices qu'elle retire d'un marché monopolistique pour se renforcer sur

des marchés concurrentiels. Non seulement ce comportement est naturel, mais, dans certains cas, une entreprise peut se retrouver en situation de monopole avec une certaine forme de légitimité. Ainsi, un comportement dominant peut parfois favoriser des prix plus avantageux pour les consommateurs et donner la possibilité à de nouveaux acteurs d'entrer sur le marché.

La situation de l'industrie française et européenne

Gérard ROUCAIROL : La position de la France et de l'Europe paraît assez contrastée vis-à-vis du modèle de la transformation numérique que je vous ai proposé, avec sa triple articulation (monde réel, monde de la connectivité, monde des intermédiaires).

En ce qui concerne le monde réel et son "augmentation" par les équipements électroniques, même si la France n'est pas ou plus présente dans les terminaux, qu'il s'agisse des téléphones ou des PC, elle apparaît relativement bien placée, par exemple, en ce qui concerne la voiture autonome ou dans d'autres secteurs qui ont bénéficié de la démarche French Tech. Nous ne jugeons pas qu'il soit utile de rajouter des incitations dans ce domaine. Le problème est que beaucoup de responsables et de décideurs croient que la transformation numérique se réduit à l'ajout d'automatismes, de robots et de capteurs un peu partout. Or, c'est loin d'être suffisant.

Quand on aborde le deuxième monde, celui de la connectivité, les choses se gâtent. Il n'existe plus que deux équipementiers européens dans ce domaine, Ericsson et Nokia, bien que nous disposions encore de nombreux opérateurs téléphoniques. Notre position face à des entreprises comme Huawei et Cisco est donc fragile.

Enfin, dans le monde des intermédiaires, on ne trouve plus aucun acteur européen d'importance. Atos Bull est en bonne position dans la course au supercalculateur exaflop et Jean-Claude Juncker a lancé une initiative pour développer à la fois un nouveau processeur, mais aussi des supercalculateurs de classe "exaflopiques", l'EuroHPC (*European High-Performance Computing*). Cependant, pour ce qui est d'opérer ces gros systèmes, il n'existe en Europe aucun équivalent des GAFAs. C'est très inquiétant si l'on considère que c'est sur ce troisième monde que reposent la création de valeur et la transformation de la société. Il y a quinze ans déjà, Didier Lombard sonnait l'alarme : « *Nous fabriquons en Europe les autoroutes sur lesquelles roulent les Cadillac américaines.* »

C'est pourquoi nos recommandations portent essentiellement sur le monde des intermédiaires. Elles s'articulent autour de deux axes : d'une part, la nécessité de créer et de développer en France les marchés et acteurs de ce "troisième monde"; d'autre part, celle de favoriser l'appropriation de la transformation numérique par le plus grand nombre. On peut craindre, en effet, qu'il ne se produise pour le numérique la même chose que pour les OGM, c'est-à-dire que des peurs infondées se développent et deviennent non maîtrisables.

Créer et développer les marchés et acteurs du troisième monde

Pour le premier axe, nous avons formulé cinq recommandations.

Un nouvel environnement réglementaire

La première recommandation porte sur le développement de nouveaux marchés (marchés bifaces, multifaces) grâce à l'évolution de l'environnement réglementaire (commercial, fiscal et social) et au soutien apporté aux initiatives locales de type circuits courts. L'ubérisation fait parfois peur, mais elle présente de nombreux avantages. Il faut la développer au lieu d'essayer de la freiner.

Des labels et certifications pour l'informatique prédictive

La deuxième recommandation est de favoriser l'émergence de standards de certification et de validation des données, ainsi que des algorithmes de l'informatique prédictive, domaine par domaine, avec, par exemple, des centres d'essais pour la mobilité, pour la santé, pour le commerce, pour l'agriculture, pour la défense, etc. Cela permettrait de créer des marchés à haute valeur ajoutée pour ces différents secteurs. Nous ne pensons

pas qu'il revienne à la puissance publique d'imposer ces normes : elles doivent venir de l'industrie elle-même. Cependant, la puissance publique peut encourager ce processus *bottom-up*.

En matière d'informatique prédictive, les GAFAs se sont sans doute définitivement imposés sur les marchés grand public, mais les entreprises européennes ont probablement une carte à jouer dans le *B to B*, qui relève du haut de gamme et s'appuie sur les savoir-faire métier. Dans le domaine des systèmes électriques, par exemple, on ne peut pas attendre d'un réseau de neurones qu'il réinvente la loi des mailles ou celle de nœuds. Les difficultés actuelles de General Electric avec sa plateforme Predix sont probablement liées à une insuffisante prise en compte des dimensions métier. C'est pourquoi nous insistons sur la nécessité de procéder secteur par secteur.

Cette recommandation concernant la certification des données et des algorithmes vise aussi à protéger le futur marché. Aux États-Unis, on trouve à peu près normal que les essais de voitures autonomes aient déjà provoqué plusieurs morts. Il n'est pas certain que cela soit jugé aussi acceptable en Europe et l'on peut craindre que le premier accident grave conduise à abandonner les projets. C'est pourquoi il faut veiller à apporter suffisamment de garanties sur les différents marchés de l'automobile, de la santé, des *smart cities*, etc. On peut rappeler à ce sujet l'exemple du passage de la commande mécanique à la commande numérique dans l'aéronautique. À l'époque, tous les acteurs de cette industrie (Boeing, Airbus, Bombardier, ATR...) s'étaient mis d'accord sur la certification et la compatibilité des logiciels embarqués, et c'est ce qui a permis l'émergence du nouveau marché. Il en va de même avec le numérique : le marché naîtra de la certification des algorithmes et des données métier par métier.

Cette démarche présenterait un autre intérêt, celui de permettre de "bloquer" les GAFAs. C'est une leçon que j'ai retirée de mes quarante ans d'expérience dans l'informatique. À l'époque où IBM dominait le marché des ordinateurs, nous avons imposé des standards de communication qui étaient différents des siens, ce qui a permis de contenir son extension et de laisser un peu d'air à ses concurrents.

Il en va de même aujourd'hui face à Google, qui menace de balayer les constructeurs européens avec sa Google Car. On ne choisit pas de monter dans un Boeing plutôt que dans un Airbus au prétexte que les algorithmes des commandes automatiques seraient meilleurs chez l'un que chez l'autre : on fait l'hypothèse qu'ils répondent aux mêmes normes et sont de qualité équivalente. De même, il faut faire en sorte que les algorithmes de toutes les voitures autonomes soient obligatoirement certifiés et, dans ce cas, le marché optera vraisemblablement pour des voitures fabriquées par de vrais spécialistes de l'automobile...

Créer des écosystèmes autour des doublures numériques

Une troisième recommandation concerne la création d'écosystèmes autour d'une représentation standardisée des objets du monde virtuel et des architectures de référence : jumeaux numériques, assistants personnels, doublures numériques d'un bâtiment, d'un patient, etc. En Europe, nous ne disposons que de trois grands éditeurs de logiciels, Dassault Systèmes, ESI Group et SAP. La standardisation de la représentation des objets virtuels pourrait faire naître, dans plusieurs secteurs d'activité, des écosystèmes favorables au développement de nombreux industriels du logiciel.

Créer un label européen de sécurité by design pour les logiciels

Pour que la transformation numérique se déroule dans de bonnes conditions, il est indispensable d'assurer la sécurité des systèmes avec une double exigence : cette sécurité ne doit pas être abordée au niveau de chaque composante, mais être transversale aux trois niveaux du système; elle doit être prise en compte dès la conception du produit et non ajoutée ultérieurement. Là encore, nous pourrions imposer un label qui nous permettrait de garantir une vraie sécurité tout en évitant de passer sous les fourches caudines des GAFAs.

Profiter des ruptures technologiques et d'usages pour rebondir

Notre cinquième recommandation en matière de développement des marchés et des acteurs consiste à profiter des ruptures technologiques et d'usages qui s'amorcent pour reprendre position sur les plateformes matérielles de haut de gamme à haute valeur ajoutée, telles que les supercalculateurs et les processeurs multicœurs. Il ne suffit pas de former des mathématiciens, il faut aussi se doter des infrastructures qui porteront la transformation numérique...

Un environnement compétitif appropriable par le plus grand nombre

Pierre BITARD : Pour le deuxième axe que nous avons identifié, nous formulons quatre grandes recommandations.

La promotion d'une recherche intégrative

Nous préconisons l'adaptation du dispositif national de recherche publique à une approche plus intégrée de l'innovation, afin de mieux anticiper les grandes ruptures futures. Cette approche intégrative consisterait, par exemple, à faire travailler ensemble des biologistes, des physiciens et des spécialistes des mathématiques appliquées sur des problèmes de calcul de haute puissance.

Ce mouvement d'intégration devrait jouer aussi sur la distinction traditionnelle entre le *hard* et le *soft*. Longtemps, les éditeurs se sont efforcés de concevoir des logiciels sophistiqués permettant d'exploiter au mieux les possibilités des ordinateurs standards. On se rend compte aujourd'hui qu'il est bien plus efficace de travailler à la fois sur les logiciels et sur l'architecture du système. Il faudrait financer des programmes pour inciter les chercheurs à collaborer sur ce type de projets.

La protection et l'ouverture des données

Le RGPD (Régime général de protection des données), entré en vigueur récemment, vise à protéger les libertés individuelles sans toutefois priver les entreprises de la possibilité d'exploiter les données. Les acteurs privés que nous avons rencontrés préféreraient une approche inspirée de la directive DSP 2 (Directive européenne sur les services de paiement – 2^{ème} version), initiée par les Anglais il y a quelques années, qui fait porter la réglementation sur l'usage et non sur la collecte. Selon cette directive, une fois que les banques ont demandé à leurs clients l'autorisation d'utiliser leurs données, elles ont l'obligation de mettre ces données à la disposition des tiers qui souhaiteraient s'en servir, par exemple, pour proposer aux clients des outils de gestion de leur budget. Pour ce faire, elles doivent se doter d'API (*Application programming interfaces*) leur permettant d'ouvrir leurs mines de données à d'autres acteurs, et même à leurs concurrents.

De même, on pourrait imaginer, par exemple, qu'une partie des données recueillies par les fournisseurs d'énergie soit mise à la disposition des producteurs, distributeurs et vendeurs de services pour certains types d'usages.

Mesurer et promouvoir

On ne fait pas de bonne politique sans mesurer ce que l'on fait. Une de nos recommandations concerne la définition paritaire d'indicateurs appropriés pour évaluer la maturité et la progression de l'industrie du numérique, à l'instar de ce qu'a fait l'ARCEP (Autorité de régulation des communications électroniques et des Postes) pour les télécommunications.

Nous préconisons aussi la création d'une mission permanente de représentation des intérêts de l'industrie française du numérique (*hard* et *soft*) à Bruxelles. Trop souvent, les acteurs publics et privés français s'expriment de façon non coordonnée. Il serait beaucoup plus efficace qu'ils parlent d'une seule voix...

La formation

L'une de nos recommandations porte sur la formation. Il s'agit aussi bien de l'enseignement de l'informatique dans les collèges et lycées que de la formation d'experts de haut niveau, avec un label de qualité pour s'assurer notamment que ces enseignements comportent le bagage de responsabilisation et d'éthique nécessaire.

Agir au niveau de la France ou de l'Europe ?

Un intervenant : *Créer des standards au niveau de la France serait plus facile mais moins efficace qu'au niveau de l'Europe. Est-il envisageable de lancer une politique européenne sur ces sujets ?*

Gérard Roucairol : Nous cherchons à fédérer les acteurs français tout en essayant, en même temps, de voir ce qui est possible au niveau de l'Europe. Mais nous n'allons pas attendre que quelque chose se passe au niveau européen pour agir en France.

Les constructeurs automobiles allemands ont déjà commencé à se regrouper autour d'un système de GPS et continuent désormais à travailler ensemble sur la conduite autonome. Il faut suivre leur exemple.

Les GAFAs essaient d'imposer chacun leur standard, mais je ne crois pas que les marchés du numérique se créeront sur des approches singulières. Nous avons d'ailleurs déjà des exemples de réussite. Les voitures sont désormais dotées d'un réseau local informatique auquel sont connectés l'ensemble des microprocesseurs, capteurs et actionneurs ; ce système a fait l'objet d'un standard qui est né en Europe et s'est imposé dans le monde entier. Nous ne sommes pas sans ressources ; à nous de les mettre en œuvre.

La perméabilité de l'Europe à la concurrence

Int. : *La Chine commence à imposer ses matériels ferroviaires dans l'est de l'Europe via les nouvelles routes de la soie, alors que l'Europe était a priori bien placée dans cette industrie. Comment réduire la perméabilité de l'Europe à la concurrence ?*

Pierre Bitard : Nous avons effectivement affaire à un système qui se veut très ouvert dans tous les domaines : *open science, open innovation*, etc. À mes yeux, un système est bien conçu lorsqu'il intègre la notion de réciprocité.

Dans le domaine de la santé, les projets de recherche collaboratifs financés par Horizon 2020¹ incluent par défaut une clause selon laquelle la connaissance créée doit impérativement être exploitée, où que ce soit. Aux États-Unis, lorsque des sociétés européennes reçoivent des financements, c'est à la condition expresse que la première exploitation industrielle se fasse sur le sol américain.

En partant de ce constat, la direction générale européenne RTD (*Research and technological development*) a enquêté auprès des grands acteurs du numérique tels Huawei, Facebook, etc. pour savoir si la mise en œuvre d'une règle équivalente en France serait de nature à les dissuader de s'implanter dans notre pays. Tous ont répondu qu'ils s'adapteraient à la réglementation. Malheureusement, l'idée a été abandonnée sous prétexte que le suivi de l'application de cette règle serait très complexe à organiser...

Les sottises à éviter

Int. : *Vous avez formulé une dizaine de recommandations. Pourriez-vous, inversement, nous citer les dix sottises à éviter ?*

G. R. : La première consisterait à considérer que la transformation numérique peut se borner à ajouter de l'électronique au monde réel. C'est déjà ce qui était arrivé au moment du passage des télécommunications analogiques aux télécommunications numériques : une grande difficulté à comprendre le poids réel du numérique et ses diverses facettes.

Une autre sottise, déjà citée, serait de croire qu'il suffit de continuer à former de brillants mathématiciens et que l'on peut se passer de maîtriser les technologies d'infrastructures et les infrastructures elles-mêmes.

1. Programme de recherche et d'innovation de l'Union européenne pour la période 2014-2020.

Une troisième sottise consisterait à ce que les pouvoirs publics soutiennent à fond l'internet des objets, l'Usine du futur, les automatisations, etc., et se désintéressent de l'exploitation des données générées par tous ces outils. Une entreprise qui ne sait pas exploiter les informations qu'elle recueille finira par disparaître de son propre marché.

P. B. : Je pourrais en citer plusieurs autres... Par exemple : continuer à raisonner en filières au lieu d'adopter la notion d'écosystème, qui est très différente; considérer que, pour développer une industrie de l'intelligence artificielle, il faut attirer à tout prix des industriels multinationaux qui, de toute façon, sont déjà présents; croire que les start-up sont l'alpha et l'oméga de toute politique industrielle, alors que la notion même d'écosystème nécessite la présence d'acteurs de tailles différentes, et que seules de grandes entreprises sont capables de développer des technologies ou des infrastructures exigeant de gros investissements; mettre à l'index toutes les plateformes au lieu d'adapter le droit de la concurrence; en matière de formation, estimer qu'il faut privilégier l'apprentissage par la pratique – c'est-à-dire la culture des *hackers* –, en méconnaissant le fait que l'informatique prédictive nécessite des formations de très haut niveau sur le plan technique et éthique....

Google et les infrastructures

Int. : *Aujourd'hui, Google représente une énorme infrastructure, mais quand cette entreprise a été créée en 1998, elle était tout sauf une infrastructure. Il est donc très difficile de savoir à l'avance qui portera les infrastructures de demain.*

G. R. : Larry Page et Sergueï Brin, fondateurs de Google, ont été formés à l'informatique à l'université Stanford, ce qui signifie qu'ils ont été très tôt initiés à l'importance majeure des infrastructures. D'ailleurs, le secret de leur réussite ne réside pas dans leur algorithme, mais dans le système de fichiers parallèles qu'ils ont eux-mêmes développé. Il est par ailleurs remarquable que les systèmes de fichier parallèles qui équipent à peu près tous les supercalculateurs du monde aient une architecture très similaire. Vous aurez beau avoir le meilleur moteur de recherche du monde, si la réponse ne s'affiche pas dès que l'internaute appuie sur *Enter*, vous n'aurez aucun succès. Or, ce sont les infrastructures qui permettent d'obtenir des résultats de recherche et de les envoyer en une fraction de seconde à un ordinateur situé 10 000 kilomètres plus loin...

Le rôle des IRT

Int. : *Avez-vous identifié des acteurs prêts à jouer un rôle dans l'écosystème que vous appelez de vos vœux?*

G. R. : Les IRT (instituts de recherche technologique), notamment, semblent de bons candidats, car ils ont l'avantage d'être spécialisés dans différents secteurs concernés par la transformation numérique et d'avoir déjà réuni des écosystèmes nécessaires : Railenium dans le transport ferroviaire, b<>com dans le multimédia, SystemX dans l'ingénierie numérique, etc.

P. B. : Au départ, nous n'avions pas vraiment identifié les IRT comme des partenaires potentiels. Nous appelions de nos vœux la création de centres d'essais pour l'informatique prédictive comme il existe des centres d'essais pour l'aéronautique, par exemple, mais nous n'avions pas réfléchi à la façon de les structurer. Puis, nous avons rencontré les IRT et nous avons compris le rôle qu'ils pourraient jouer dans le futur écosystème.

Nous préparons, en ce moment, le descriptif d'un appel à manifestation d'intérêt pour la réalisation de nos centres d'essais, appel auquel les IRT pourront répondre. Parmi les critères de sélection, nous demandons que les candidats se focalisent sur les questions de certification et de validation d'algorithmes liés à un usage spécifique, et qu'ils associent à leur projet des laboratoires publics et des entreprises privées. Ces deux éléments nous paraissent indispensables pour générer une dynamique d'écosystème.

■ Présentation des orateurs ■

Gérard Roucairol : docteur d'État en informatique, pionnier de l'informatique parallèle et distribuée, il a été successivement professeur à l'Université Pierre et Marie Curie, à l'Université Paris-Sud dont il a dirigé le laboratoire de recherche en informatique, ainsi qu'à l'École normale supérieure. Il rejoint ensuite le groupe Bull dont il devient directeur de la Recherche et membre de son comité exécutif. À ce titre, il est à l'origine du positionnement de Bull sur les supercalculateurs. Il est président honoraire de l'Académie des Technologies.

Pierre Bitard : docteur en économie, il contribue aux activités Europe et FutuRIS de l'ANRT depuis 2007. Au Technocentre de Renault, de 1998 à 2000, il a collaboré avec le groupe de recherche en socio-économie de la direction de la Recherche. Avant de rejoindre l'ANRT, il a notamment coordonné les travaux quantitatifs du projet de comparaison internationale des systèmes nationaux d'innovation (cinq pays d'Europe, cinq pays d'Asie) à la division de l'innovation de l'université de Lund en Suède (*National Systems of Innovation in a Globalising, Knowledge-based Economy : A Comparative Study of Small Countries in Europe and Asia*, Edward Elgar Publishing, London, 2011). Il a aussi travaillé comme consultant en évaluation des politiques publiques de recherche et d'innovation.

Diffusion novembre 2018
