

Série

« Révolution numérique »

Conséquences sur les acteurs du système français
de recherche et d'innovation

MAI / 2017
LES CAHIERS FUTURIS

Pierre Bitard, Jacques Lesourne, Gérard Roucairol

Série

« Révolution numérique »

Conséquences sur les acteurs du système français
de recherche et d'innovation

MAI / 2017
LES CAHIERS FUTURIS

Pierre Bitard, Jacques Lesourne, Gérard Roucairol¹

1. Ce texte a été rédigé à l'issue des réunions du groupe constitué par l'ANRT FutuRIS et présidé par Gérard Roucairol de l'Académie des technologies. Les réunions se sont tenues en 2016.



L'Association nationale de la recherche et de la technologie (ANRT) rassemble les acteurs publics et privés de la recherche et de l'innovation. Elle compte aujourd'hui plus de 300 membres. Son objectif est d'aider à améliorer l'efficacité du système français de recherche et d'innovation et en particulier les relations public-privé.



FutuRIS a pour mission d'analyser et de mettre en perspective les évolutions du système français de recherche et d'innovation, à partir de travaux collaboratifs impliquant des acteurs d'horizons divers. L'objectif est d'accompagner le changement en l'éclairant de regards prospectifs partagés, et d'aider à faire progresser les stratégies et les coopérations.

Remerciements

Nous tenons à remercier chaleureusement toutes les personnes que nous avons sollicitées tout au long de ce travail (entretiens, réunions, relecture)* et qui ont fait preuve d'une grande disponibilité.

* Cf. la liste des participants aux groupes de travail, annexes 2 et 3 de ce cahier FutuRIS.

Sommaire

01

Introduction
5

02

Les mondes de la recherche
7

03

Les relations au sein des chaînes de valeur
13

04

L'État acteur de la transformation numérique
19

05

Conclusions et suggestions
25

06

Annexes et table des matières
29

01

Introduction

Que devient la recherche-développement dans un monde numérique ? Quelle est sa place ? Quels sont ses rôles dans les processus de digitalisation ? À quel point les transformations accélérées des organisations et des produits et services dépendent-elles des activités de R&D ? Sous une apparente trivialité, la question recèle une grande complexité. Surtout si l'on veut dépasser le stade du concept-clé ou de l'exemple censés tout expliquer. Ainsi, la R&D n'est pas la source unique de l'innovation, pas plus dans le numérique qu'ailleurs. Mais l'économie numérique s'impose. Pour en comprendre les ressorts, il faut se pencher sur les logiques d'action des intervenants dans les processus de R&D. Dans les entreprises comme dans la recherche publique. C'est le défi auquel les experts mobilisés par l'ANRT FutuRIS se sont attaqués.

D'autant que la relation n'est pas univoque. Certes le numérique bouleverse la façon dont s'effectue la R&D. Mais en retour la R&D contribue à transformer le numérique, ses applications, et finalement ses usages. Et ce, le plus souvent, de manière assez silencieuse.

Notre synthèse entend fournir des points de repère, un « état de l'art », sur quatre aspects essentiels de cette révolution en marche :

- Les bouleversements des mondes de la recherche.
- Les mues que subissent les relations des entreprises avec les laboratoires de recherche, les entreprises de logiciel et les sociétés de service informatique.

- Les changements des rôles et places au sein des chaînes de valeur (grandes entreprises, start-up, intégrateurs-systémiers).
- Les influences de l'État sur les conditions d'usage des données que ses administrations, antennes, agences et organisations produisent, les programmes d'éducation et de formation, les règles de fiscalité qui s'appliquent sur son territoire, le fonctionnement du marché du travail.

Nous explorons ici les conséquences possibles de la révolution numérique sur les acteurs du système de recherche et d'innovation français. Cela nous conduit à envisager pistes d'actions et alertes pour les trois catégories d'acteurs principales : les entreprises, les centres de recherche publics ou privés et l'État. L'enjeu est clair : construire ensemble des capacités de développement de stratégies partagées, mutuellement bénéfiques au plan national. Ces « capacités à développer » reposent sur les grandes plateformes, les équipements de pointe, et les systémiers intégrateurs de demain. Autant de domaines prioritaires d'action où les membres de l'ANRT FutuRIS veulent faire œuvre utile.

02

Les mondes de la recherche

La révolution numérique se manifeste par des innovations, plus ou moins radicales, plus ou moins incrémentales. Le processus d'innovation fait appel à de nombreux porteurs de connaissances et d'enjeux, dont les chercheurs. Aussi est-il légitime de commencer par se demander si la révolution numérique a « besoin de la recherche ». Les acteurs économiques qui ont participé aux travaux de FutuRIS ont répondu par l'affirmative. Ils expriment toutefois deux interrogations : la première porte sur les « règles du jeu » de la recherche en partenariat ; la seconde, sur les capacités de la recherche à offrir des réponses assez matures et applicables.

Au-delà de cette question, le monde de la recherche se compose d'acteurs variés, qui ne sont pas tous impliqués de la même manière dans la révolution numérique. La nature et la structure des emplois en recherche s'en trouvent modifiées. Il y a à prendre en compte :

- Les chercheurs publics en informatique et dans les autres disciplines, les *data scientists*.
- Les chercheurs en entreprises :
 - chez les GAFAM (Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft) ;
 - chez les systémiers, en recherche, qui développent des logiciels ;
 - dans les start-up ;
 - dans les grandes entreprises de services informatiques.

Les éléments suivants nous paraissent les plus importants à souligner.

Les centres publics de recherche

Les sciences de l'information

Elles comprennent plusieurs spécialités : mathématiques appliquées et applications des mathématiques ; informatique ; génie informatique, automatique et traitement du signal. Au niveau national, une recherche du meilleur niveau et dotée des moyens suffisants est nécessaire dans l'ensemble de ces disciplines. Une attention trop exclusive à l'une d'entre elles pourrait avoir des conséquences négatives à moyen terme.

Dans un monde qui collecte et traite chaque jour plus de données, les équipements et infrastructures de stockage et de traitement prennent une importance grandissante. Pour mener à bien les recherches qui leur incombent, les centres publics de recherche doivent disposer de capacités à la pointe de la technologie. En avril dernier, le lancement sur le marché du nouveau supercalculateur Bull Sequana d'Atos a été un signal favorable. Le CEA a participé à sa conception et fait partie des tout premiers utilisateurs. Les besoins d'investissement en ce domaine sont nombreux. Les investissements doivent permettre les démarches d'expérimentation, sources de progrès scientifiques.

Bull Sequana peut effectuer un million de milliards d'opérations par seconde. Soit une puissance d'un petaflop, avec comme particularités d'être à la fois d'une taille plus modeste et d'être dix fois plus frugal en énergie que ses concurrents². Ce maillon indispensable de l'économie numérique est fabriqué

2. Un supercalculateur d'un petaflop de puissance standard consomme près de 5 mégawatts/heure, soit entre 25 et 30 fois plus qu'un ordinateur standard avec son écran.

en France, dans l'usine de Bull (Atos) d'Angers. Les ordinateurs de ce type remplissent des fonctions variées au service de nombreuses industries : prospection pétrolière, conception d'avions et d'automobiles, prévision météorologique, analyse de cohortes de patients médicalisés en temps réel, etc.

De nouvelles thématiques de recherche en informatique se développent à l'interface avec la société, comme la sécurité informatique, la confidentialité des données, la géolocalisation. Les disciplines scientifiques sous-jacentes ont cependant moins évolué que les méthodes du travail scientifique. Ainsi, les chercheurs académiques utilisent des plateformes en ligne comme GitHub³ pour développer des briques logicielles. La production de logiciels s'en trouve profondément transformée et a accompli des progrès qualitatifs notables (en matière de calcul matriciel par exemple). Grâce à la standardisation qui résulte de l'utilisation de ces plateformes, les relations entre les centres publics de recherche et les entreprises ont pu progresser. Parmi d'autres, l'Inria a mis en place une cellule spécifique pour le co-développement des produits proprement dits, métier différent de celui de la recherche en génie logiciel.

Les logiciels pour les scientifiques restent un domaine où coexistent, et parfois collaborent, deux « mondes de production ». D'un côté, les scientifiques développent en fonction de leurs besoins spécifiques les outils qui leur permettent d'effectuer leurs recherches. Ils bénéficient dans certains cas d'apports des communautés mondiales *open source*. Ces dernières sont très structurées. Alors,

certaines versions des logiciels ainsi créés peuvent être ensuite vendues et distribuées par des entreprises spécialisées. De l'autre côté, pour les traitements standards de certains métiers de la recherche, des sociétés informatiques éditrices de logiciels disposent de quasi-monopoles. Des collaborations entre les deux mondes existent, certains laboratoires publics étant « beta-testeurs » voire codéveloppeurs des logiciels.

Les data scientists... et les autres

L'équilibre actuel entre les spécialistes disciplinaires et les statisticiens apparaît déstabilisé par l'irruption des *data scientists*. Les sciences des données comprennent l'apprentissage automatique ou statistique (*machine learning*), l'informatique en nuage (*cloud computing*), la visualisation de données (*dataviz*), la compression de données, le calcul haute performance, etc. Autant de méthodes qui s'appliquent souvent de manière combinée.

« L'équilibre actuel entre les spécialistes disciplinaires et les statisticiens apparaît déstabilisé par l'irruption des *data scientists*. »

Aujourd'hui, la biologie suppose le traitement de gigantesques volumes de données. Ainsi en va-t-il par exemple en génomique ou en virologie. Impliquant la comparaison de dizaines de génomes, ou de virus et d'antivirus, la production scientifique

mobilise des dizaines d'étapes qui nécessitent à la fois la maîtrise des fondamentaux disciplinaires et des savoir-faire en science des données : de leur acquisition *via le cloud*, en passant par le traitement de masse en parallèle, jusqu'à la réécriture, voire l'écriture, des algorithmes permettant l'analyse. Ce travail se déroule souvent sans contact avec des matériaux biologiques : *in silicio*. La « vague du big data », ainsi que la représentait *Nature Neuroscience* dans son numéro spécial (« Focus on big data ») de novembre 2014⁴, bouleverse les organisations des centres de recherche et les hiérarchies en place.

En sciences humaines et sociales (SHS), une tension de même nature se fait jour. À la démarche hypothético-déductive, où la réflexion conceptuelle est associée à l'enquête de terrain et à l'emploi de la modélisation et des statistiques, tend à se substituer le traitement de données en masse par des *data scientists*. Ces derniers, issus de champs disciplinaires autres que SHS, deviennent les auteurs des articles dans les revues SHS. De même, de nombreux appels à projets européens et nationaux exigent une réponse de type *data science*. Les sociologues, économistes, anthropologues, etc. verraient leurs projets moins souvent financés.

La recherche en entreprise

Les évolutions que le numérique suscite dans la recherche en entreprise sont de plusieurs ordres. Certaines spécialités gagnent en importance au détriment d'autres ; les processus de R&D et d'innovation se transforment aussi. Les sciences

de l'information constituent des disciplines de recherche, y compris de recherche fondamentale. Tous les nouveaux développements informatiques ne sont toutefois pas de la recherche.

R&D et développement de logiciels

La dernière version en date du *Manuel de Frascati* de l'OCDE (2015), la référence internationale pour la délimitation de l'activité de recherche, alerte sur la difficulté qu'il y a à circonscrire le périmètre de la R&D dans le domaine du logiciel. Le Manuel propose une réflexion et des définitions pertinentes pour en évaluer le poids (nombre de chercheurs). « **A software development project is classified as R&D if its completion is dependent on a scientific and/or technological advance, and the aim of the project is the systematic resolution of a scientific and/or technological uncertainty. In addition to the software that is part of an overall R&D project, the R&D associated with software as an end product or software embedded in an end product could also be classified as R&D when the R&D criteria apply. Software development is an integral part of many projects that in themselves have no element of R&D. The software development component of such projects, however, may be classified as R&D if it leads to an advance in the area of computer software. An upgrade, addition or change to an existing program or system may be classified as R&D if it embodies scientific and/or technological advances that result in an increase in the stock of knowledge. Software related activities of a routine nature are not to be considered R&D.** » (p. 380) Cette définition,

3. Entreprise américaine qui propose des services web d'hébergement et de gestion de développement de logiciels, utilisant le logiciel de gestion de versions « Git ». Le développement sur le site en mode privé est payant, les dépôts et fonctionnements en *open source*, gratuits. Il existe d'autres plateformes comme celle d'Amazon ou celle de Google.

4. Volume 17, n°11.

extensive, n'élude cependant pas la difficulté qui demeure lors de l'identification des chercheurs concernés. Elle met l'accent sur les notions d'acquisition de connaissances et de levée des incertitudes techniques et/ou scientifiques que doit permettre le projet. *A contrario*, les activités routinières d'évolution des logiciels doivent être exclues.

Les emplois de R&D de nombreuses entreprises industrielles et de services sont aujourd'hui occupés par des développeurs de logiciels, sans que leur poids n'ait été pour le moment mesuré de manière fiable. En France, une analyse statistique fine des bénéficiaires du crédit d'impôt recherche (CIR) pourrait permettre une telle appréciation.

Les sciences informatiques appliquées dans les entreprises

Dans les entreprises, les besoins en applications informatiques sont croissants. Ils portent en particulier sur les domaines des *sciences des données*, dans les grandes comme dans les moins grandes sociétés. Mais ces compétences de pointe, parfois encore mal définies, restent rares. Aussi, la formation se fait-elle en grande partie « sur le tas », et les entreprises cherchent à tirer le maximum des projets collaboratifs avec des centres publics de recherche. Les universités commencent à former à ces nouveaux métiers fondamentaux pour la révolution numérique, avec le soutien public. De grands projets et plateformes cofinancés sur

fonds publics se développent pour favoriser les dynamiques d'apprentissage et accroître les capacités d'expérimentation.

En matière de développement de logiciels, les entreprises ont sensiblement amélioré leurs méthodes de développement et savent mieux intégrer les apports extérieurs comme ceux des chercheurs publics. Cette amélioration résulte du recours à l'*open source* et à l'emploi de contrats de collaboration bilatéraux simplifiés. Pour autant, tout n'est pas toujours aussi simple qu'on pourrait l'espérer. La tension demeure grande en matière de propriété intellectuelle du logiciel. Les droits sont fréquemment emmêlés et l'apport de la brique qui a fait l'objet du contrat au produit final est délicat à évaluer. On parle ainsi de *patent thicket* pour décrire l'enchevêtrement des droits de propriété intellectuelle à l'origine du fonctionnement de nombreux algorithmes. Il arrive que le vendeur ne puisse garantir être l'unique propriétaire des droits impliqués dans le fonctionnement de son produit.

Clarifier la nature des activités qui contribuent au développement de logiciels, en informatique, électronique et télécommunications demeure un enjeu important pour les entreprises. Lorsqu'il s'agit de recruter les compétences de pointe dont elles ont besoin sur des sujets émergents, vers quels types de profils se tourner ? La qualification de chercheur n'a pas toujours bonne presse en France. Les entreprises dites technologiques recrutent de préférence des ingénieurs issus d'une poignée d'écoles. Les tâches de conception « dans l'incertain », en disposant d'une connaissance experte de l'état de l'art mondial, ne sont pas au cœur du bouquet de compétences d'un jeune in-

génieur « sorti d'école ». Ce serait plutôt une compétence de docteur. En outre, les grilles salariales pour les ingénieurs sont établies et solides ne leur donnant que peu d'incitations à s'orienter vers les postes en R&D. Un double mouvement se fait jour qui tend à :

- favoriser le développement de compétences fondamentales et pointues, essentielles aux applications des sciences de l'information ;
- la reconnaissance des compétences spécifiques aux activités de recherche, y compris par l'instauration d'une double échelle salariale.

Encadré 1. Des multinationales de la R&D numérique ?

Les GAFAM sont des employeurs importants et une partie non négligeable de leurs effectifs travaillent en R&D. Ainsi, en 2015, Google employait 57 000 personnes, Apple, 115 000, Facebook, 10 000, Amazon, 230 000 et Microsoft 117 000. À elles cinq, ces sociétés emploient près de 530 000 personnes. Quant à Twitter, ETI transnationale, son effectif s'élève à 3900 salariés, avec des équipes de R&D en France.

Google fait face à son immense besoin de main-d'œuvre du plus haut niveau dans les domaines de pointe, du logiciel en particulier, en offrant des conditions de travail et une rémunération attractifs (le salaire moyen est à 100 000 dollars, sans les primes). L'entreprise reçoit plus de 3 millions de CV chaque année.

IBM reste toutefois un géant incontesté de l'informatique avec 378 000 salariés à lui seul. Cap Gemini emploie 180 000 personnes et Atos, 100 000. De nombreux chercheurs en ingénierie et sciences de l'information y participent au développement et à la mise au point des nouveaux produits et services. Soulignons toutefois que ces sociétés ont tendance à afficher les réalisations, les innovations, et non les efforts, entachés d'incertitude, de leurs équipes de R&D. Le poids de la population de chercheurs et les volumes de R&D engagés y sont mal connus.

Source : Informations collectées depuis les sites des entreprises citées. Traitement et mise en forme des auteurs.

03

Les relations au sein des chaînes de valeur

Une révolution dont les principaux acteurs sont les start-up et les intégrateurs-systèmeurs

Au sein du système français de recherche et d'innovation (SFRI), une connexion clé à considérer est celle entre les intégrateurs-systèmeurs et les start-up. Ces dernières sont nombreuses. Le développement d'entreprises fondées sur des applications des TIC passe le plus souvent par la voie *start-up*. Ceci conduit les intégrateurs-systèmeurs à accorder à cet « écosystème de start-up » une attention particulière. Ainsi, au-delà de la veille traditionnelle, les start-up ciblées par les intégrateurs-systèmeurs font l'objet d'actions élaborées. Tel intégrateur-systèmeur reconnaît près de 30 000 start-up susceptibles de proposer des technologies de pointe liées à son cœur de métier, qui sont autant de concurrents et/ou de cibles. On peut citer Atos, Bosch, Dassault Systèmes, Engie, General Electric, IBM, Siemens, Thales, etc.

Ces entreprises sont motrices en matière de révolution numérique. Les plans « Industrie du Futur » ou « Industrie 4.0 » mis en œuvre par l'État n'ont d'autre objet que d'encourager la mutation des sites de fabrication grâce à une utilisation plus intensive du numérique. Et ce, à un moment où l'impression 3D se développe en tant que production géographiquement distribuée et sans usine. Ces plans encouragent aussi la recherche publique à développer le transfert de connaissances, à l'instar du gouvernement allemand *via* les instituts Fraunhofer.

Blockchain, une technologie émergente qui pourrait perturber les chaînes de valeur

À l'ère du numérique, les relations entre entreprises se caractérisent par une certaine turbulence. Les relations oscillent entre concurrence exacerbée (start-up-grands groupes) et coopération renforcée (partage des coûts et risques de l'innovation, *open innovation*). L'émergence de la technologie *blockchain*, chaîne de blocs en français, englobe certains des enjeux actuels de ces relations. L'adoption de cette technologie a pour conséquence de réduire le besoin d'intermédiaires au sein des chaînes de relations. Cette désintermédiation implique des changements dans la façon dont se tissent les liens entre entreprises à l'ère du numérique.

La « chaîne de blocs », facilitatrice des relations commerciales

Blockchain est un protocole d'échange informatique. Il assure le stockage et la transmission d'informations entre plusieurs utilisateurs. Une chaîne de blocs peut être publique, et elle est alors ouverte à tout nouvel utilisateur qui souhaite en faire partie. Elle peut être privée, son accès est alors limité à un nombre donné d'acteurs. Les transactions qui se déroulent entre les participants s'effectuent en l'absence d'instance de contrôle, de manière sûre et transparente. *Blockchain* constitue un registre d'événements. La mise à jour du registre lors de l'inscription de nouveaux faits s'effectue grâce à un « algorithme de consensus ». En effet,

la difficulté majeure dans ces systèmes distribués est la résolution des conflits : l'ensemble du réseau doit être d'accord sur l'ordre et la nature des événements. L'algorithme de la chaîne de blocs procède en rangeant les événements dans des regroupements (des blocs) ordonnés selon une chaîne unique partout répliquée. L'établissement du consensus se réalise par l'application de règles programmées, sans intervention humaine.

Selon le nombre d'acteurs impliqués, et la complexité de la transaction, la durée du processus d'établissement du consensus est plus ou moins longue. Les services financiers sont précurseurs en matière d'emploi de *blockchain* pour le cryptage et la sécurisation de transactions en monnaie électronique, comme *bitcoin*. Dans ce dernier cas, achat et vente de monnaie *bitcoin*, il faut compter une dizaine de minutes pour que tous les livres de comptes soient actualisés. Les banques, et les services de paiement dont les cartes bancaires, ont fait parties des précurseurs.

Une des forces de cette technologie réside en ce qu'elle permet d'établir des contrats automatisés (*smart contracts*) : lorsqu'une certaine condition est remplie, une transaction s'exécute, sans intervention humaine, en tant que code informatique, entre deux utilisateurs ou plus. Un des exemples canoniques est le suivant. Un particulier loue un véhicule pour une certaine durée. S'il a des retards dans le paiement de l'une de ses échéances, un contrat automatisé pourrait rendre au loueur le contrôle de la voiture. Un autre exemple concerne les assurances de voyage. Constatant qu'une majorité de passagers assurés contre le retard de leur vol ne revendiquaient jamais le dédommagement qu'il leur était dû, un système d'assurance fonctionnant à partir de contrats automatisés *blockchain* a été

mis en place. La compensation financière est alors virée automatiquement sur les comptes des passagers ayant subi le préjudice prévu. Avec ce service, les passagers sont automatiquement indemnisés lorsque leur vol est en retard, sans avoir besoin de remplir un quelconque formulaire, et donc sans que l'entreprise ne doive traiter les demandes.

Divers secteurs commencent à l'adopter. Ainsi dans l'industrie musicale, les artistes font appel à des compagnies d'édition musicale (des « labels »), lesquelles vendent les morceaux ou achètent à des plateformes de vente en ligne un espace de vente pour leurs artistes. Dans un tel système, la quasi-totalité de la valeur ajoutée créée par l'artiste revient aux intermédiaires, l'éditeur et le diffuseur numérique. Une société a développé un service utilisant les contrats automatisés de *blockchain*. Les artistes vendent alors directement leurs titres et reçoivent leurs redevances. Les contrats de licence s'exécutent automatiquement et les artistes sont les premiers payés. Le système peut même se passer d'intermédiation bancaire. Les droits de propriété intellectuelle viennent automatiquement créditer le compte en monnaie numérique *bitcoin* de l'artiste.

« Les droits de propriété intellectuelle viennent automatiquement créditer le compte en monnaie numérique *bitcoin* de l'artiste. »

La logistique aussi pourrait bientôt voir son fonctionnement radicalement transformé par la chaîne de blocs. Les responsables des chaînes d'appro-

visionnement coordonnent l'acheminement des produits et des services vers les clients, et gèrent les aspects financiers des transactions. La complexité au sein de cet ensemble d'interactions engendre des coûts de transaction élevés.

« Dans les secteurs où les réglementations sont prégnantes, *blockchain* pourrait être mobilisé pour assurer la mise aux normes et la conformité des procédures qualité. »

Coûts qui devraient drastiquement se réduire si les contrats automatisés autorisés par *blockchain* étaient mis en œuvre, ainsi que l'illustre l'exemple suivant⁵. Un constructeur d'avions pourrait créer un système fondé sur *blockchain* pour gérer de manière holistique toutes ses relations avec ses fournisseurs. Ces derniers partageraient la même information sur le nouveau modèle d'avion, pour toutes ses étapes. De la planification à la maintenance, en passant par la conception, l'assemblage, et la livraison. L'avionneur emploierait en parallèle d'autres systèmes de *blockchain* pour gérer les transactions financières associées à chaque étape. Dans les secteurs où les réglementations sont prégnantes, *blockchain* pourrait être mobilisé pour assurer la mise aux normes et la conformité des procédures qualité. L'efficacité accrue s'accompagnerait d'un allègement de la paperasserie.

5. Exemple emprunté à M. Krishna, directeur d'IBM Recherche.

Entreprises transformées, relations interentreprises bouleversées ?

Selon Jeff Immelt, PDG de General Electric (GE), sa société de 124 ans d'âge doit accomplir une refonte radicale pour devenir une « entreprise industrielle numérique ».

Cette transformation suppose la mobilisation des avancées dans les capteurs, les communications et l'analyse de données pour améliorer sa propre performance et celle de ses clients. La plupart des produits et systèmes de GE, tels les moteurs d'avions, les équipements de production d'énergie, les locomotives ou les scanners médicaux font partie de « l'internet des objets » ; i.e. des dispositifs dits intelligents et connectés, capables de transmettre de l'information et de recevoir des instructions. GE développe de nouveaux logiciels et de nouvelles fonctionnalités dans ses logiciels pour gérer ces matériels.

Dans les secteurs principaux auxquels s'adresse GE, la puissance transformatrice de l'internet industriel des objets n'en est qu'à ses prémices. La production de biens, l'énergie ou encore le transport engendrent un volume considérable de données, largement collectées mais encore peu utilisées. GE développe une offre d'infrastructure logicielle afin d'améliorer sa position concurrentielle, vis-à-vis des Siemens, Mitsubishi, United Technologies et Rolls-Royce. Elle tend alors à entrer en concurrence directe avec les *pure players* de l'internet des objets, tels certains GAFAM,

IBM, Oracle ou SAP. Parmi les chemins suivis par GE pour établir sa position sur ce nouveau créneau de l'internet industriel, l'entreprise déploie une stratégie de plateforme à travers Predix⁶. Cette dernière fournit une trentaine de briques logicielles permettant le développement d'applications en informatique industrielle. Une entreprise cliente de GE-Predix peut combiner les composants qui lui sont nécessaires au niveau de standard requis par son activité : connectivité, intégration et gestion de données, analyse de données, informatique dans le nuage et mobilité.

Des nouveaux systémiers ?

Outre la transformation des relations interentreprises induite par la numérisation, des défis nouveaux, systémiques, émergent qui nécessitent de nouvelles combinaisons de compétences de la part des entreprises. Des problématiques complexes, comme celles caractérisant la ville, l'énergie ou le transport demandent la mobilisation d'acteurs capables de développer des solutions complètes à la bonne échelle. Les projets de réponse qui font appel au numérique seront-ils présentés par des nouveaux acteurs ou issus de reconfigurations d'acteurs déjà en place ?

Ces nouveaux systémiers auront à soulever des défis de conception, de réalisation et d'exploitation. Pour ce faire, développeront-ils des filiales dédiées ? Noueront-ils des alliances ? Lesquelles ? Atos, Bosch, Dassault Systèmes, Engie, IBM, Siemens, Thales ou Veolia développent déjà des réponses ciblées à de telles problématiques sys-

témiques en faisant appel aux technologies du numérique. On voit que s'ouvre ici une option de politique industrielle à ne pas négliger pour l'État français.



6. Opération de GE dont le slogan est « Big Iron Experience. Big Data Expertise ».

04

L'État acteur de la transformation numérique

Au-delà de sa fonction de gestionnaire des laboratoires publics de recherche et de sa politique de RDI, l'État intervient en tant qu'acteur de la transformation numérique sur les domaines d'intérêt général :

- il fixe les conditions d'usage des données que produisent ses administrations, antennes, agences et organisations ;
- il définit les programmes d'éducation et de formation ;
- il formule les règles de fiscalité qui s'appliquent sur son territoire ;
- il encadre le fonctionnement du marché du travail, sur lequel la révolution numérique modifiera les offres et les demandes de compétences.

À l'issue du travail collectif, quelques commentaires s'imposent sur ces différents domaines.

L'État et les données

Les États manifestent des attitudes diverses à l'égard de la mise à disposition des données dites publiques. Certains tendent plutôt à en revendiquer la propriété, d'autres à les libérer et à les mettre à disposition gratuitement sur des plateformes ouvertes. Les États qui « ouvrent » ainsi leurs données sont sélectifs et peuvent en vendre des fractions.

En France, le rapport Trojette (2013)⁷ fixe le cap de la doctrine de l'État en matière d'ouverture des données publiques ; l'ouverture doit prévaloir, afin de favoriser la diffusion dans toute la société des externalités positives associées à ces données. Le rapport suggère la mise en œuvre d'une stratégie de plateforme publique.

Depuis 2011, la mission Etalab accompagne l'ouverture des données publiques. Elle met en œuvre le portail des données ouvertes du gouvernement français *data.gouv.fr*. Différentes agences et organismes (Commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL), Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information (ANSSI), etc.) encadrent ce processus. À noter, l'inauguration le 7 juin 2016 de l'Agence du numérique qui soutient des projets de transformation d'entreprises, d'associations et de collectivités territoriales. Agence de moyens rattachée au ministère de l'Économie, de l'Industrie et du Numérique, ses actions visent à favoriser l'appropriation des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans tous les écosystèmes et secteurs de la société.

Certains domaines d'action étatique posent toutefois des problèmes spécifiques et la doctrine n'y est pas facile à établir. L'*open access* pour les données des travaux de recherche financés par le denier public fait partie des domaines compliqués. Selon les pays et en fonction du financeur, l'ouverture des données peut être recommandée ou obligatoire. La zone grise concerne « les données de recherche » –

7. M. Trojette, 2013, « Ouverture des données publiques. Les exceptions au principe de gratuité sont-elles toutes légitimes ? », Rapport au Premier Ministre, Juillet.

par opposition aux données qui sont des résultats de la recherche, comme les publications. Les règles pour le libre accès aux publications issues des projets de recherche financés sont assez stables. Pour les données scientifiques brutes produites durant le projet de recherche, l'homogénéité n'est pas encore de mise. Pourtant, à partir de 2017, tous les projets financés par le programme-cadre européen Horizon 2020 feront l'objet de l'injonction *open research data* par défaut⁸.

« À partir de 2017, tous les projets financés par le programme-cadre européen Horizon 2020 feront l'objet de l'injonction *open research data* par défaut. »

À côté d'une ouverture contrôlée, les entreprises insistent sur le développement de « protocoles d'expérimentation » pour renforcer les collaborations avec la recherche publique. Un tel protocole, qui devrait préserver les conditions de non-divulgation et de non-désanonymisation des données, permettrait en toute sécurité de confier un jeu de données sensibles à un partenaire de recherche. Les pouvoirs publics devraient établir ce protocole d'expérimentation qui s'accompagnerait d'un système de sanctions en cas de non-respect. Les entreprises, dans de telles conditions, seraient incitées à lancer des concours d'algorithmes à partir de jeux de données d'usage.

L'appartenance et les droits afférents aux données individuelles posent une nouvelle série de questions.

Les entreprises en utilisent. Pour les individus, les frontières qui démarquent l'espace privé de l'espace public deviennent perméables. L'approche des GAFAM à cet égard relève d'une pratique en évolution constante et au fil de l'eau. La perception qu'ont les citoyens de cette société du numérique est hétérogène. À cette diversité au sein des populations concernées répondent des réglementations étatiques qui manquent de cohérence.

Le numérique, l'éducation et la formation

De toute évidence, le numérique bouleverse aussi bien la façon dont se construisent les connaissances tout au long de la vie, au niveau individuel, que les besoins de compétences des organisations.

En matière d'éducation, dans le primaire, dans le secondaire et jusqu'au supérieur se mettent progressivement en place des méthodes pédagogiques qui utilisent au mieux les apports du numérique. En améliorant la façon dont les appropriations se jouent dès le plus jeune âge, l'Éducation nationale favorise la compréhension par la pratique et l'expression de la créativité grâce à ces nouveaux médias.

Les entreprises, celles du numérique comme les autres, expriment des besoins qu'elles ne parviennent pas toujours à satisfaire. Les *data scientists* complets qui savent aussi bien traiter les gigantesques masses de données issues des usages que développer des logiciels légers qui permettent des exploitations commerciales sont rares. Aussi aujourd'hui leur formation s'effectue-t-elle encore trop souvent en situation, par la pratique. De même, les directeurs des systèmes d'information (DSI) se forment, chemin faisant, aux besoins en équi-

pements et infrastructures qui sont associés à la numérisation des métiers. De nouvelles compétences se développent à la frontière entre connaissances « du monde de la donnée » et « monde du développement de logiciel et des infrastructures ». Ainsi, en France, depuis 2015, les nominations de CDO, *chief digital officers* ou *chief data officers* se multiplient-elles. La hiérarchie des compétences évolue sans que les systèmes d'éducation et de formation ne parviennent à suivre cette évolution.

Si l'on s'en tient aux formations de niveau bac+5, diverses initiatives ont été lancées au sein des universités et des écoles d'ingénieur. Elles ont, à partir des spécialités des télécoms, développé des spécialisations nouvelles. La liste des formations de niveau master qui ont trait au numérique et au *big data* est toutefois trop longue pour être fournie ici.

Quatre illustrations peuvent être présentées :

- L'évolution des enseignements de Télécom-ParisTech (ex-École nationale supérieure des télécommunications (ENST) avec notamment la création de masters spécialisés sur ses propres axes d'excellence (cf. par exemple « Big data, gestion et analyse de données massives ». La devise de l'École aussi été modifiée pour mieux représenter ses légitimes ambitions « Innover et entreprendre dans un monde numérique ».
- La création, il y a une trentaine d'années, de l'École pour l'informatique et les techniques avancées (EPITA) ; elle se définit aujourd'hui comme « l'école de l'intelligence informatique » et a formé près de 240 ingénieurs en 2015.

- La création, il y a une vingtaine d'années, de l'École nationale de la statistique et de l'analyse de l'information (ENSAI), école d'application issue de l'ENSAE (École nationale de la statistique et de l'administration économique), qui forme à la triple compétence de « statistique-économétrie-informatique ». Elle se présente comme l'école des big data en quelque sorte. Le taux d'emploi à la sortie y est beaucoup plus élevé que pour la plupart des autres écoles (98,6%) et les rémunérations supérieures à la moyenne.
- En dehors du système public, l'École 42 a été lancée par Xavier Niel, fondateur et PDG de Free, en 2013. C'est une démarche complémentaire. Il n'y a aucune condition d'accès et l'inscription est gratuite. Dans sa pédagogie, la formation s'inspire du succès d'internet en matière de diffusion des connaissances. Les tutoriels en ligne permettent le partage de connaissance sur beaucoup de sujets et sont très suivis. Cette pédagogie tire aussi parti de l'échange de connaissances entre pairs. L'École 42 accueille près de 850 inscrits. Elle délivre un diplôme non reconnu par l'État français. Une version américaine a été lancée aux États-Unis en 2016, à Fremont en Californie. En France, le président de la République, le ministre de l'Économie, le ministre de la Recherche et de l'Enseignement supérieur ont visité l'école.

8. Commission européenne, 2016, « H2020 – Programme Guidelines on FAIR Data Management in Horizon 2020 », 26 juillet.

Le numérique, la R&D et la fiscalité

Les liens entre le numérique, la R&D et la fiscalité relèvent du domaine technique non stabilisé et particulièrement délicat de la « fiscalité de l'immatériel ». Les États et les entreprises sont contraints par des règles nationales et internationales combinées, issues du droit des affaires et du droit fiscal. Ce domaine peut être abordé de deux manières, mettant en lumière le rôle joué par la R&D :

- Les entreprises procèdent à des investissements et dépenses immatériels – dont font partie les dépenses de R&D. Elles sont donc contraintes par les conditions fiscales nationales, ainsi que par les règles de communication financières internationales. Pour les États, il s'agit d'un facteur d'attractivité.
- Le secteur économique du e-commerce⁹, de la vente en ligne de biens physiques ou numériques, affiche un chiffre d'affaires global de plusieurs milliers de milliards de dollars. Ces commerçants sont souvent des multinationales qui disposent de sites de vente en ligne dans de nombreux pays. La vente de biens immatériels s'effectue de manière directe, et suit des règles fiscales propres (taux de TVA spécifique réglé par le consommateur). Dans le cas de biens physiques, l'opération est plus complexe. Les conditions fiscales inhérentes aussi. La production a pu s'être déroulée dans des pays à bas coûts salariaux. L'entrepôt de stockage est parfois localisé dans le pays où le bien doit être livré. « L'étal » et l'entrepôt peuvent être des filiales locales de la multinationale. La livraison est généralement assu-

rée par des livreurs locaux qui n'appartiennent pas à l'entreprise de vente en ligne, moyennant une commission. La multinationale de l'e-commerce compose, en fonction de ses localisations, le montage d'impôt sur les sociétés et de taxes sur la valeur ajoutée qui viennent grever ses bénéfices.

Les systèmes et algorithmes qui sous-tendent le fonctionnement du site internet de la multinationale constituent son cœur de métier ; ses principaux projets de R&D y affèrent et sont réalisés de manière centralisée. Les différentes filiales-pays payent donc des redevances pour leur usage et mises à jour à la *holding* du groupe, localisée là où les profits sont les moins taxés. Les droits de propriété intellectuelle inhérents à ces échanges intra-groupes sont des composantes clés du modèle d'affaires de la multinationale intégrée. Les comportements des entreprises multinationales dont l'activité dépend fortement du numérique, et en particulier les entreprises de e-commerce, contribuent à l'érosion de la base fiscale.

Le numérique, le rôle de l'État et les changements dans la structure des emplois

L'amélioration des conditions d'emploi en France et la diminution du nombre des chômeurs sont aujourd'hui des enjeux vitaux. Or, la révolution numérique va modifier la composition des demandes d'emploi des entreprises et des rémunérations qu'elles seront prêtes à offrir pour les diverses compétences. Dans ces conditions, la rigidité du marché du travail français fera courir un risque d'aggravation du chômage.

Sur le marché du travail se rencontrent des individus, offreurs de compétences, et des entreprises, demandeuses de compétences. Les compétences comprennent des savoirs, des savoir-faire et des comportements. Si cette rencontre entre offres et demandes de compétences avait lieu sur un véritable marché, à une compétence donnée correspondrait un prix unique : la rémunération de l'exercice de la compétence (et seulement cela). Comme les compétences nécessaires à l'accomplissement des activités économiques sont variées, la dispersion des rémunérations y est normale. De fait, il n'y a pas un unique marché mais plusieurs en interaction permanente. Les besoins en compétences évoluent pour satisfaire une demande elle-même variée et volatile.

Mais le marché du travail français présente deux caractéristiques majeures : les prix y sont rigides et ce que paie l'entreprise (salaire et charges sociales) est beaucoup plus élevé que ce qu'obtient l'individu (salaire moins redevances sociales et impôts). Dans ce contexte, apparaissent des mélanges de chômages « keynésien » et « classique ». Ils résultent à la fois d'une insuffisance de demande adressée aux entreprises et d'une rigidité des coûts du marché du travail. Au sein de la zone euro, des coûts du travail excessifs rendent l'exportation difficile.

Les effets bénéfiques de la révolution numérique requièrent un marché du travail fluide pour se diffuser. La fluidité permet les ajustements des effectifs des diverses compétences, à la hausse ou à la baisse. Sans cette fluidité, la révolution numérique pourrait entraîner en France des mouvements sociaux, certains salariés devant développer de nouvelles compétences. Si cela n'est pas compris

par l'État et les groupes organisés de la société française, la révolution numérique verra ses effets bénéfiques limités par les difficultés sociales.

« Pôle emploi pourrait s'inspirer des algorithmes qui tirent parti des techniques multifactorielles d'adéquation entre compétences demandées et compétences offertes (le *matching*). »

Il est des domaines où l'État pourrait tirer parti de la diffusion des outils numériques pour fluidifier les marchés du travail. Pôle emploi pourrait par exemple s'inspirer des algorithmes qui utilisent des techniques multifactorielles d'adéquation entre compétences demandées et compétences offertes (le *matching*), tels que développés par certaines sociétés d'intérim. L'entreprise Upwork enregistre douze millions de travailleurs indépendants inscrits et cinq millions de clients enregistrés. Trois millions d'emplois sont offerts chaque année, d'une valeur totale de 1 milliard de dollars américains. Cela en fait le plus grand marché du travail indépendant du monde. L'entreprise Upwork s'assure que les *freelances* employés par son truchement soient payés de manière appropriée. Si les services de l'État devaient s'inspirer d'un tel mécanisme, le respect du droit du travail serait en outre garanti.

9. La publicité en ligne relève d'autres règles de fiscalité et pose d'autres problèmes.

05

Conclusions et suggestions

L'ampleur et la diversité de la révolution numérique sont telles que tous les acteurs du SFRI doivent s'en préoccuper et tirer eux-mêmes les conséquences qui les concernent. Toutefois, à l'issue du travail du groupe réuni par FutuRIS, il est possible de proposer quelques conclusions et suggestions pour les trois catégories d'acteurs que sont les entreprises (publiques ou privées), les grands centres de recherche (quel que soit leur statut) et l'État.

Pour les entreprises

Plusieurs éléments méritent d'être soulignés.

- Il semble nécessaire de nommer un responsable de la transformation numérique directement rattaché au président ou directeur général, tout en ayant des attaches profondes avec les unités opérationnelles.
- Ce « chef d'orchestre » devra préciser les données numériques auxquelles il est essentiel que l'entreprise puisse avoir accès et la politique que l'entreprise doit mener à cet égard.
- Il devra ensuite préparer un document stratégique sur les étapes successives que l'entreprise doit aborder dans son adaptation à la révolution numérique.
- Dans ce cadre, il conviendra d'examiner si l'entreprise doit s'associer et sous quelle forme à des plateformes créées par des GAFAM ou des offreurs de services et de production de systèmes. Il faudra aussi décider si l'entreprise peut être à l'origine de plateformes plus spécifiques susceptibles d'accueillir d'autres entités.

- L'entreprise doit avoir constamment une connaissance du vivier des start-up du numérique dont les domaines peuvent être utiles à l'entreprise et doit définir le groupe de celles dont les produits ou procédés sont essentiels pour son activité. Reste alors à établir des formules concrètes de collaboration favorables pour les deux parties.
- L'entreprise doit examiner quelles conséquences la révolution numérique qu'elle va entreprendre aura sur le volume et les compétences de ses différentes catégories de personnel en vue de gérer les transitions de la manière la plus adaptée au corps social existant. Il est possible en effet que certains métiers soient appelés à disparaître et d'autres à se développer.

Après cette liste d'éléments, il faut introduire une question : la révolution numérique modifiera-t-elle les opérations habituelles de fusion ou d'absorption que connaît la vie des affaires ? D'un côté, les liens logiciels dans le cadre de chaînes informatiques peuvent créer des solidarités au sein de réseaux d'entreprises permettant des coopérations efficaces sans les risques impliqués par les fusions. D'autre part, certaines activités mondiales comme celles des GAFAM peuvent être la source de profits rendant possible la constitution de groupes financiers de type nouveau, jouissant d'aires de monopole dans des espaces partiels. Au-delà, les entreprises peuvent intégrer des activités de développement de composants des systèmes qu'elles offrent.

Pour les centres de recherche publics ou privés

Les éléments suivants doivent être soulignés :

- La nomination d'un responsable de la transformation numérique peut ici aussi être nécessaire.
- Le statut des données nécessaires à la recherche ou produites par la recherche du centre doit être précisé et connu des chercheurs et des utilisateurs. Les projets soumis à des financements nationaux ou européens doivent être assurés de la possibilité de création et d'accès aux données nécessaires (question qui peut être délicate dans le cas de projets réunissant des équipes de recherche de pays ou de statuts différents)
- Les équipes de recherches feront intervenir des chercheurs relevant de disciplines traditionnelles mais aussi des statisticiens spécialistes des grands échantillons, des *data scientists* et des développeurs de logiciels. En France, du fait de l'appartenance des chercheurs publics à la fonction publique, la coopération entre ces diverses personnes dans le cadre des structures de carrière et de rémunérations est à suivre de près.

« En France, du fait de l'appartenance des chercheurs publics à la fonction publique, la coopération entre ces diverses personnes dans le cadre des structures de carrière et de rémunérations est à suivre de près. »

- Si le montant des ressources financières de ces grands centres de recherche augmente faiblement, l'adaptation du personnel aux moyens disponibles exigera une grande attention pour soutenir une concurrence internationale astreinte à des dispositions moins rigides.
- Enfin, l'exemple Sanofi-Google sur le diabète montre qu'on ne peut exclure la création à l'échelle mondiale d'entités de recherche spécialisées sur de grands problèmes à partir de grandes entités issues de la révolution numérique.

Pour l'État

Six domaines vont devenir particulièrement importants :

- La réglementation de l'usage des données à la fois nationalement et internationalement et l'arbitrage entre l'intérêt de la collectivité et celui des personnes individuelles. La santé et la sécurité collectives sont à l'évidence des domaines particulièrement sensibles de ce point de vue. Les choix de standards des données qui permettront le développement de la concurrence sont alors cruciaux.
- La systématisation des méthodes d'enseignement reposant sur l'emploi intensif des technologies du numérique, qui vont de pair avec une évolution des pratiques éducatives, pose une série de nouveaux défis au système éducatif et de formation. Formations pointues que seule une poignée d'enseignants maîtrise alors que la fraction de la population demandeuse ne cesse de croître. L'un de ces défis majeurs va être de concilier une éducation de pointe

avec un taux d'encadrement élevé et un haut niveau de technicité avec des besoins de masse. Les systèmes de cours en ligne ouverts à tous ou MOOC (*massive open on-line courses*) représentent l'une des réponses mises en œuvre.

- Une évaluation de l'ensemble des dispositifs fiscaux qui affectent le numérique en France peut s'avérer nécessaire. Au-delà du diagnostic, cette évaluation devra permettre d'établir des règles qui offrent une attractivité satisfaisante tout en mettant un terme à l'érosion de la base fiscale.
- La conception de logiciels relève en partie d'un travail de recherche de très haute technicité effectué au sein des laboratoires publics. Les ingénieurs en génie logiciel issus de l'enseignement supérieur jouent aussi un rôle d'importance stratégique. En France, les stratégies nationales de recherche (SNR) et d'enseignement supérieur (Stranes) sont motrices quant à l'ajustement des compétences à la révolution numérique. Le big data est l'un des cinq enjeux de la SNR considérés comme devant être traités avec une urgence particulière. Cette composante *data* n'épuise pas le sujet. Le volume des moyens à allouer pour favoriser la transition vers l'excellence des forces de recherche et d'applications pratiques reste à apprécier au regard des ambitions nationales, en comparaison internationale (Europe).
- L'ampleur de la révolution numérique implique qu'elle affecte les domaines stratégiques essentiels. L'État pourrait se doter d'un excellent observatoire international sur les

évolutions des nouvelles technologies et leurs usages.

- Si, comme on peut le penser, la révolution numérique bouleverse la valeur économique des compétences, les sociétés où le droit du travail facilite des adaptations peuvent en tirer des avantages considérables, alors que celles où le droit du travail protège les structures existantes peuvent connaître un accroissement du chômage et des mouvements sociaux violents. De ce point de vue, la France n'est pas la mieux placée.

06

Annexes

Annexe 1. Diagnostic et organisation du travail

Lorsqu'elle a été créée au sein de l'ANRT, la plateforme FutuRIS a reçu pour mission d'étudier, dans un esprit prospectif, l'évolution du système français de recherche et d'innovation (SFRI) et les mesures suggérées par les acteurs pour en améliorer le fonctionnement. À cette fin, l'équipe permanente, réduite, a collaboré avec des experts des différents domaines et constitué des groupes de travail réunissant des représentants des entités publiques ou privées concernées. Les analyses ont donné lieu à des colloques, des rapports et un chapitre du livre annuel de FutuRIS.

FutuRIS ne pouvait rester étranger à un phénomène d'aussi grande ampleur que la révolution numérique en cours comme il l'a suggéré le président de l'ANRT. Mais comme il s'agit d'un processus qui fait l'objet de réflexions en de multiples endroits, FutuRIS a décidé de se concentrer sur les effets probables de la révolution numérique sur le SFRI afin de dégager des conjectures vraisemblables et d'esquisser quelques recommandations.

Comme chacun sait, la révolution numérique résulte de la conjonction de deux développements :

- La possibilité de collecte et de traitement de vastes ensembles de données (le big data),
- La multiplication de connexions entre objets variés capables de collecter, de traiter, de transmettre des données, d'apprendre à les utiliser et éventuellement de déclencher des actions (des objets situés sur des humains, des avions, des automobiles, des téléviseurs, des ordinateurs, des robots, etc.).

Bien que cela ne fasse pas partie de la révolution numérique, il faut être convaincu que se produit en parallèle la révolution de la neurobiologie qui explore le fonctionnement des systèmes nerveux, travaille sur les réseaux de neurones, examine les phénomènes cérébraux qui accompagnent l'expression consciente de la vue ou de l'audition d'un stimulus.

Quant au SFRI, ses acteurs qui sont concernés par la révolution numérique sont nombreux :

- Les GAFAM (Google, Facebook, Amazon, Apple, Microsoft),
- Les grands groupes internationaux dans le domaine de l'industrie et des services, financiers notamment, les ETI,
- Les PME et, en particulier les start-up dans le domaine des télécommunications et de l'informatique,
- Les centres de recherches publics et les établissements d'enseignement supérieur,
- Les chercheurs publics et privés relevant des diverses disciplines,
- Les spécialistes de traitement de données (*data scientists*), les développeurs de logiciels (qui peuvent être ou non chercheurs).

Il faut adjoindre à ces acteurs des entités plus spécifiques :

- Les grands intégrateurs ou gestionnaires de systèmes, comme Atos, Accenture, Cap Gemini, etc.
- Enfin, il ne faut pas oublier l'État régulateur qui intervient à plusieurs titres et plus particulièrement :
 - Dans la définition des règles de publication ou de disponibilité de données,
 - Dans les régulations qu'il sera susceptible de mettre en place en matière de fiscalité de la R&D et du numérique,
 - Dans les programmes et organisations du système éducatif et de formation,
 - Dans les modalités de fonctionnement du marché du travail, qui sera transformé par la révolution numérique.

Pour étudier les relations entre le SFRI et la révolution numérique, FutuRIS a procédé en deux étapes :

- A été constitué, dans une première étape, un groupe d'une dizaine de spécialistes de la révolution numérique (dont on trouvera en annexe la composition). Ce groupe a discuté et considérablement enrichi une note préliminaire proposée par P. Bitard et J. Lesourne.
- Dans un second temps, FutuRIS a réuni un groupe élargi de représentants de centres de recherche et d'entreprises, incluant les experts du premier groupe qui l'ont souhaité (la liste des membres qui ont assisté aux réunions de ce second groupe est jointe en annexe).

Dans ce texte, on aborde une série de trois questions :

- En matière de recherche,
 - comment les centres publics de recherche voient-ils leurs rôles évoluer dans le contexte de la révolution numérique ?
 - comment se transforment les rôles et relations au sein de la communauté scientifique entre les spécialistes disciplinaires, les statisticiens et les *data analysts* ?
- En ce qui concerne les entreprises,
 - quelles sont les principales conséquences de la transformation numérique en matière de relations au sein des chaînes de valeurs ?
- En ce qui concerne l'État,
 - à quels problèmes d'ordres juridiques et réglementaires se trouve-t-il confronté ?
 - comment peut-il aborder le bouleversement de la structure de l'emploi ?

Nous envisagerons dans ce qui suit les conséquences de la révolution numérique sur chacune des catégories d'acteurs, en commençant par les GAFAM, puis en évoquant les cas des centres de recherche-développement puis des entreprises, pour terminer par les défis que doit relever l'État. Ensuite, une dernière partie reprendra les conclusions et les quelques recommandations que le travail suggère.

Annexe 2. Liste des membres du groupe d'experts de haut niveau

François BANCILHON, Data Publica
Nozha BOUJEMAA, Inria
François BOURDONCLE, FB&Cie
Jérémie JAKUBOWICZ, Telecom Sud-Paris
Jean-François PEPIN, Cigref
Hubert TARDIEU, Atos
Michel VOLLE, Institut de l'Économie

Annexe 3. Liste des participants au groupe de travail élargi

Mondher AYADI, Cynapsys
Nozha BOUJEMAA, Inria
François BOURDONCLE, FB&Cie
Antoine BRIL, Servier
Philippine CRISTINA, Université Paris 10
Guillaume DEVAUCHELLE, Valeo
Mustapha DERRAS, Berger-Levrault
Yves DUBREUIL-CHAMBARDEL, DCNS
Jérémie JAKUBOWICZ, Telecom Sud-Paris
Florent LAMIRAUX, Cnrs-LAAS
Hervé PERNIN, Ademe
Gregoire POSTEL-VINAY, Mission Stratégie – DGE
Nicolas VILLAIN, Philips
Elie ZNATY, Bertin Technologies

Annexe 4. Les GAFAM, entreprises plateformes

Un petit groupe d'entreprises mondialisées tire-rait l'essentiel de la valeur créée par l'économie numérique : les GAFAM (Google, Amazon, Facebook, Apple et Microsoft)¹⁰. Emblématiques du succès dans le monde du numérique, certaines sont parmi les plus profitables et plusieurs parmi les toutes premières capitalisations boursières mondiales. Bien qu'elles soient en situation de monopole *de fait*, la question de leur pérennité se pose avec vigueur.

Elles se savent fragiles. Tirées par les usages, de nouvelles segmentations des offres se font constamment jour. Segment par segment, usage par usage, les positions se prennent, ou se perdent en quelques mois. Pour survivre, les cinq grands doivent à tout prix conserver « leurs » utilisateurs dans leur propre univers, sur leur propre plateforme. À cette fin, elles sont contraintes d'accroître et d'améliorer leur offre de services. Elles développent, rachètent, ou s'allient avec des entreprises de production de biens matériels... surtout s'ils fournissent l'accès à des informations d'usage. D'où des acquisitions nombreuses et pour des prix très élevés d'entreprises d'objets connectés.

Par exemple, en 2014, Google a racheté Nest Labs pour 3,2 milliards de dollars, une start-up capable de produire des alarmes anti-incendie et des thermostats connectés à Internet. Plus récemment, Google avec Sanofi contre le diabète *via* sa filiale de recherche en santé, Verily. Le diabète affecte

environ 400 millions de personnes dans le monde. Pour lutter contre ce fléau, il ne faut pas moins que l'alliance des compétences pharmaceutiques d'un des leaders mondiaux du traitement du diabète et d'un des champions du numérique avec des compétences de collecte et d'analyse de données, de logiciels et d'électronique. Les solutions qu'entendent développer les deux partenaires combineraient suivi du taux de glucose avec, par exemple, des capteurs dans des lentilles de contact et dispositifs d'injection d'insuline. Avec ce nouvel équipement intégré, le docteur de famille deviendrait « un coach de santé et un conseiller de confiance », les « autres services précédemment rendus étant en self-service », pour reprendre la formule de Jeroen Tas, directeur de l'informatique de santé chez Philips¹¹.

Les informations, ces « masses de données » transitant par des « fermes de serveurs », constituent à la fois la matière première et la matière transformée des GAFAM. Dans la plupart des cas, elles les glanent en même temps qu'elles produisent leurs services. Dans d'autres, elles en font l'acquisition en les payant. Le plus souvent, elles achètent en même temps l'entreprise qui les produit. Enfin, elles les obtiennent auprès des acteurs publics, gratuitement dans le cadre de *l'open data*, voire moyennant des redevances.

L'accès aux données d'usage constitue la clé du profit des GAFAM, comme celle de leurs très

nombreux rivaux de niches¹². L'efficacité avec laquelle le service est produit (économies d'échelle ou de gamme par exemple), c.-à-d la performance issue de l'apprentissage opérationnel, n'est plus gage de succès pérenne. Dans le monde numérique, la qualité de l'expérience fournie aux consommateurs (utilisateurs) lors de l'acte de consommation (ou d'usage) devient la source de l'efficacité. C'est elle qui fidélise l'utilisateur. En entretenant leur écosystème, par l'ouverture de leur propre plateforme, les GAFAM espèrent rester en mesure d'arbitrer de manière optimale entre ces deux modalités de performance.

Cette poignée d'entreprises transnationales entretient méthodiquement une relation privilégiée avec ses millions d'utilisateurs par l'exploitation des « données d'expérience ». En même temps, elles doivent mettre en œuvre les équipements et infrastructures du meilleur niveau, avec l'efficacité économique nécessaire (performance issue de l'apprentissage opérationnelle).

Avec le numérique, les grandes entreprises installées se trouvent concurrencées par des myriades de nouveaux venus qui leur subtilisent directement une partie de leur clientèle sur l'une des dimensions de leur offre, voire sur un créneau connexe. Ces nouveaux venus sont parfois nommés « barbares », car ils court-circuitent la relation commerciale établie. Ils profitent de la plateforme, ouverte, de la grande entreprise pour lui subtiliser ses propres clients. Réciproquement, le « barbare » fait une cible idéale pour l'extension

du portefeuille de la grande entreprise plateforme, laquelle acquiert ainsi la clientèle et les données d'usage qui vont avec le service offert.

10. Nous avons choisi les GAFAM comme angle d'approche pour des raisons pédagogiques. Bien connues du grand public, elles représentent l'exemple emblématique des entreprises plateformes d'un point de vue économique. À noter qu'en Chine, des homologues tout aussi puissantes se sont développées: les BATX (Baidu, Alibaba, Tencent, Xiami).

11. Andrew Ward, « Sober reality disrupts digital healthcare boom », *The Financial Times*, 1^{er} avril 2016.

12. Ce paragraphe nous a été inspiré par l'intervention de M. Hubert Tardieu (Atos), lors de la réunion ANRT FutuRIS du 11 février 2016. Les éventuelles erreurs, mauvaises interprétations ou omissions sont imputables aux auteurs du présent chapitre.

Encadré 2. Économie de plateforme, économie des données

L'économie des plateformes s'organise comme un « marché biface » (*two-sided market*)¹³. Il y a deux « côtés », car une plateforme s'adresse à deux clientèles-types, indépendantes, avec des services de natures différentes. Le propriétaire de la plateforme se rémunère en jouant sur la complémentarité entre ses deux marchés, de plus en plus *via* l'utilisation des données d'usage à des fins *marketing*. L'intérêt, c.-à.-d la satisfaction retirée de l'usage de la plateforme, croît avec le nombre d'utilisateurs.

- Google vend des espaces publicitaires à des annonceurs d'une part, et fournit aux utilisateurs des services de mise en ligne de vidéo, de courrier électronique, ou de navigation GPS d'autre part. Les annonceurs publicitaires choisissent Google parce qu'ils sont certains de toucher leurs cibles *marketing* qui sont des usagers dont Google connaît avec précision les comportements. Les utilisateurs des services offerts par Google consentent à être dépossédés de leurs données. Ils *payent* de cette façon les services *gratuits* qu'ils utilisent.
- Les plateformes *réseaux de cartes de paiement* louent aux commerçants, *via* leur banque, des terminaux compatibles avec une ou plusieurs franchises de cartes, pour un montant proportionnel aux transactions réalisées. Côté client final, les possesseurs de cartes de paiement voient leurs achats simplifiés par la facilité de paiement sécurisé qu'elles offrent. Ils paient en échange du service un forfait mensuel aux conditions tarifaires spécifiées par la convention avec la banque qui assure la gestion de leur compte. Il arrive que les informations caractéristiques des achats des clients finaux participent à l'équilibre économique du fonctionnement de la plateforme. Elles sont alors « transmutes » en données *marketing* et revendues en tant que telles à des enseignes. Comme pour les services de Google, les usagers finaux consentent plus ou moins tacitement à renoncer à la propriété de leurs données d'usage.

13. Voir par exemple, Jean-Charles Rochet et Jean Tirole, 2006, *Two-Sided Markets: A Progress Report*, The RAND Journal of Economics, Vol. 37, No. 3, pp. 645-667.

Annexe 5. L'énergie, les chaînes d'approvisionnement 3D et la santé

Les exemples qui suivent illustrent la diversité des domaines affectés par la révolution numérique.

Schneider SA : la gestion de l'énergie dans les immeubles

Lors de la dernière assemblée générale de Schneider, son président a rapporté l'exemple suivant. Grâce à des capteurs installés dans tous les bureaux du siège de l'entreprise à Rueil-Malmaison, et à une gestion automatique de l'énergie, la consommation de cette dernière a pu être divisée par quatre, à confort égal.

Chaîne d'approvisionnement numérique, pièces de rechanges et impression 3D

Le marché de la « chaîne d'approvisionnement numérique » est en plein développement. Des plateformes logicielles fournissent des services visant à « raccourcir les chaînes d'approvisionnement ». Des économies substantielles sont promises aux fabricants de pièces détachées, aux distributeurs, aux réparateurs et aux consommateurs.

L'offre de *Kazzata* (<http://www.kazzata.com/>) s'adresse aux fabricants de pièces détachées. L'entreprise conserve sous forme numérique uniquement l'inventaire des pièces de rechange du fabricant. Le fabricant télécharge vers un serveur de *Kazzata*

les plans et modèles de ses pièces. Cela lui épargne les efforts et les coûts de production et de stockage des pièces de rechange, sans avoir à supporter l'incertitude de la commande. Seule la commande effectivement passée auprès de *Kazzata* sera « imprimée » et fournie au client.

Quant à *TraceParts*, entreprise française de 150 personnes avec des filiales dans près de 10 pays, elle fournit des contenus numériques 3D pour la conception et l'ingénierie depuis 2001. Grâce à sa plateforme *TracePartsOnline.net*, l'entreprise se fait l'intermédiaire entre les modèles 3D des fabricants de pièces d'origine et les ingénieurs des entreprises de production de pièces de rechanges. Le cœur du système consiste en une bibliothèque de pièces et composants, accessible dans 25 langues, qui contient plus de 100 millions de modèles et plans 3D (et 2D), soit plus de 600 catalogues des principaux fabricants de pièces d'origine comme Airbus, Facom, Asco Numatics, Michelin, Legrand ou Schneider Electric. Les pièces sont accessibles dans tous les formats standards et dans tous les formats compatibles avec les logiciels de CAO. La plateforme autorise aussi le contact direct avec les fabricants. L'inscription à la plateforme est gratuite. *TraceParts* vend des services de marketing numérique et un logiciel de gestion des fournisseurs de pièces numériques 3D. Une version à destination du « monde académique » permet un accès à tous les étudiants et chercheurs référencés de l'établissement inscrit.

E-santé

Selon l'étude prospective du PIPAME (2016)¹⁴, le secteur de l'e-santé peine à se développer en France en dépit des deux opportunités majeures qu'il offre : il améliorerait l'efficacité du système de santé et il faciliterait l'évolution souhaitée du « parcours santé » vers plus de préventif et plus d'accompagnement. Quant aux acteurs de l'offre, l'étude fait état d'une segmentation préjudiciable à l'émergence d'une filière : grands acteurs et éditeurs des systèmes d'information hospitaliers (SIH) ; fabricants de dispositifs médicaux et acteurs de la télémédecine ; acteurs de la télésanté enfin. Les mouvements les plus significatifs se situent dans ce dernier segment : les assurances et les mutuelles cherchent à améliorer leur connaissances des risques de santé grâce à la médecine prédictive issue des objets connectés ; les laboratoires pharmaceutiques numérisent leur offre et nouent des alliances avec des acteurs du *big data* ; les GAFAM disposent de données sur les comportements des personnes, et de capacités de stockage et d'analyse. De nombreuses start-up tentent de s'imposer sur des niches qu'elles inventent.

VitalAire, filiale d'Air Liquide, fournit notamment un traitement pour lutter contre le syndrome d'apnée obstructive du sommeil (SAOS). L'efficacité du traitement – la pression positive continue (PPC) – repose sur l'observance. Le dispositif qui favorise l'administration du traitement (masque,

conduit, pompe à oxygène) est connecté à un boîtier de téléobservance, *Nowapi*©. Les informations d'observance sont collectées et transmises au médecin référent. Le boîtier signale au patient par un témoin lumineux de couleur la qualité d'utilisation. Le stockage et l'analyse des données collectées font l'objet de traitements mathématiques et statistiques par les équipes d'Air-Liquide pour améliorer le confort du patient et l'efficacité de son traitement. Tout en préservant la sécurité et la confidentialité des données.

Table des matières

INTRODUCTION	5
LES MONDES DE LA RECHERCHE	7
Les centres publics de recherche	7
La recherche en entreprise	9
LES RELATIONS AU SEIN DES CHAÎNES DE VALEUR	13
Une révolution dont les principaux acteurs sont les start-up et les intégrateurs-systémiers	13
<i>Blockchain</i> , une technologie émergente qui pourrait perturber les chaînes de valeur	13
L'ÉTAT ACTEUR DE LA TRANSFORMATION NUMÉRIQUE	19
L'État et les données	19
Le numérique, l'éducation et la formation	20
Le numérique, la R&D et la fiscalité	22
Le numérique, le rôle de l'État et les changements dans la structure des emplois	22
CONCLUSIONS ET SUGGESTIONS	25
Pour les entreprises	25
Pour les centres de recherche publics ou privés	26
Pour l'État	26
ANNEXES	29
Annexe 1. Diagnostic et organisation du travail	29
Annexe 2. Liste des membres du groupe d'experts de haut niveau	31
Annexe 3. Liste des participants au groupe de travail élargi	31
Annexe 4. Les GAFAM, entreprises plateformes	32
Annexe 5. L'énergie, les chaînes d'approvisionnement 3D et la santé	35

14. « E-santé : faire émerger l'offre française en répondant aux besoins présents et futurs des acteurs de la santé », du Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques (PIPAME).

Série « Révolution numérique »

Conséquences sur les acteurs du système français de recherche et d'innovation

Pierre Bitard

Jacques Lesourne

Gérard Roucairol

Coordination ANRT : Alexandra Herzog

Direction artistique, suivi de projet : Franck Blanchet – Pixels Ingénierie

Création, mise en page : Laëtitia Lafond

© ANRT/FutuRIS

Mai 2017

ISBN : 978-2-900195-35-2

Les informations contenues dans ce rapport sont publiques et ne sont couvertes par aucun droit d'auteur (art. L. 122-5 du Code de la propriété intellectuelle) ; elles peuvent être reproduites librement, sous trois conditions : le respect de l'intégrité de l'information reproduite ; la citation de la source et la mention selon laquelle les droits de reproduction sont réservés et strictement limités.
Toute utilisation à des fins commerciales ou publicitaire est interdite.

Et si la transformation de l'industrie mondiale de ces dernières années recelait, en profondeur, une véritable révolution ? L'avènement de l'économie de la connaissance, *via* son expression ultime : l'économie numérique. Quels en sont au fond les ressorts ? Et comment opère-t-elle en France ? Ces deux interrogations, pour fondamentales qu'elles soient, demeurent le plus souvent oubliées. Les analystes se succèdent qui constatent l'irruption des technologies du numérique dans les chaînes de valeurs (impression 3D et internet des objets). Ce faisant, les composantes profondes du changement ne sont jamais explorées. À l'inverse, les experts réunis par l'ANRT FutuRIS ont questionné les idées communément admises sur la révolution numérique. Et ce, en adoptant leur perspective d'action, celle de parties prenantes actives au progrès de la recherche et de l'innovation en France.

À partir d'une synthèse des échanges menés en 2016, ce *cahier FutuRIS* analyse trois domaines clés : la recherche, les relations au sein des chaînes de valeur, l'action de l'État. Sous l'effet de la révolution numérique :

- Comment les chercheurs et leurs organisations publiques voient-ils leurs comportements évoluer ? Peut-on continuer à faire de la recherche comme avant ? Comment les relations entre les laboratoires de recherche, publics et privés, avec les entreprises de logiciel et les sociétés de service informatique évoluent-elles ?
- Comment les chaînes de valeur et les relations entre grandes entreprises, start-up et intégrateurs-systémiers s'adaptent-elles à la nouvelle économie des plateformes et des données ? Des arrangements contractuels nouveaux se substituent-ils aux opérations d'achat et d'absorption ?
- Qu'est susceptible et capable de faire l'État ? Comment peut-il intervenir sur les conditions d'usage des données que produisent ses administrations, antennes, agences et organisations ? Quels ajustements doit-il favoriser sur les programmes d'éducation et de formation ? De quelles règles de fiscalité doit-il se doter sur son territoire ? Et enfin, comment peut évoluer le fonctionnement du marché du travail, où se rencontrent offres et demandes de compétences totalement bouleversées ?

Fruit d'un travail original avec les opérateurs du changement, issus du monde de la recherche et de l'innovation, ce cahier présente de façon pédagogique un premier état de la connaissance sur la révolution numérique. Nul doute que ce n'est que le premier d'une série.



41 boulevard des Capucines – 75002 Paris
Tél. : +33 (0)1 55 35 25 50
futuris@anrt.asso.fr
www.anrt.asso.fr