



HAL
open science

Pour une politique industrielle du numérique

Gérard Roucairol, Pierre Bitard, François Andry, Eric Bantegnies, Dominique Bolignano, Alain Bordes, Philippe Bourguignon, Martial Chevreuil, Francisco Chinesta, Mustapha Derras, et al.

► To cite this version:

Gérard Roucairol, Pierre Bitard, François Andry, Eric Bantegnies, Dominique Bolignano, et al.. Pour une politique industrielle du numérique. [Rapport Technique] ANRT. 2018, pp.56. hal-02786563

HAL Id: hal-02786563

<https://hal.inrae.fr/hal-02786563v1>

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

Livre Blanc

Pour une politique industrielle du numérique

MARS / 2018
LES CAHIERS FUTURIS

Gérard Roucairol, Pierre Bitard

Livre Blanc

Pour une politique industrielle du numérique

MARS / 2018
LES CAHIERS FUTURIS

Gérard Roucairol, Pierre Bitard

Le présent travail a reçu le soutien financier des entreprises et des institutions suivantes : AIR LIQUIDE, ANR, ATOS, BRGM, CAISSE DES DEPOTS, CEA, CNRS, FACEBOOK, FRAMATOME, GEMS, IFPEN, INRA, INRIA, INSERM, Institut Mines-Telecom, IRIS-SERVIER, MESRI, NOKIA, ORANGE, RENAULT, SNCF, THALES, TOTAL.

Le contenu n'engage que la responsabilité de l'ANRT en tant qu'auteur et non celle des institutions qui lui apportent leur soutien.



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.



Etablissement public placé sous la protection du Président de la République, l'**Académie des technologies** propose aux autorités gouvernementales et à la société civile sur chaque sujet des grilles de lecture permettant l'évaluation des choix scientifiques et technologiques à faire. L'Académie s'implique aussi dans un dialogue constructif entre les parties prenantes.

Sommaire

01

Introduction
5

02

Infrastructure technique :
la dynamique
du changement et
ses conséquences
9

03

Un modèle
pour comprendre
la transformation
numérique
17

04

L'industrie
du numérique
en France, éléments
de diagnostic
31

05

Dix recommandations
37

06

Annexe
53

01

Introduction

Grâce à son plan Industrie du futur, les pouvoirs publics encouragent la numérisation des entreprises qui produisent en France. A la fois processus de modernisation de l'outil industriel et moteur de réévaluation et de changement des modèles économiques voire sociétaux, la transformation numérique s'appuie avant tout sur les évolutions combinées des technologies, des produits et services numériques. Elle concerne tous les secteurs de l'Industrie, l'administration centrale et locale, et les grands systèmes sociétaux comme la santé, la mobilité, l'énergie, l'éducation, la défense, ou l'alimentation, etc. Sur le plan des individus cette transformation met en cause les modalités actuelles de la vie professionnelle ou privée, leur employabilité, leur éducation, ou encore la nature même de leur place dans la société. Un tel bouleversement soulève de profondes questions économiques et sociales, ainsi que des questions de souveraineté. Comment la France peut-elle s'assurer la maîtrise des technologies clés du domaine, aujourd'hui et demain ? Comment favoriser la création d'emplois durables dans des domaines porteurs ? Comment encourager des processus nouveaux de création de valeur, et engager l'amélioration de compétitivité qui en résulte ? Comment développer les nouveaux usages susceptibles de créer les marchés de demain ? Comment faire en sorte que ces nouveaux marchés permettent de tirer en avant ou de faire naître de nouveaux acteurs français et européens tout en contribuant, enfin !, à améliorer l'équilibre de notre balance des paiements dans le domaine du numérique ? Quels acteurs de la recherche et de l'innovation favoriser pour développer les technologies utiles ainsi que les produits et services associés ? Comment rendre ces nouvelles technologies et usages accessibles et acceptés par la Société ?

Quelle politique industrielle pour l'industrie du numérique ? C'est l'ambition de ce *livre blanc*, et de ses contributeurs réunis par l'ANRT FutuRIS et avec le concours de l'Académie des Technologies que de suggérer des pistes de réponse à ces questions fondamentales.

Nos travaux récents ont illustré à quel point l'économie numérique dépend, pour se développer, des conditions-cadres au sein desquelles les meilleures recherches en informatique sont susceptibles de se déployer comme par exemple dans des domaines tels que l'algorithmique, l'apprentissage artificiel, la robotique et les systèmes cyberphysiques, les réseaux hauts-débits et intelligents, l'Internet des Objets, les plateformes matérielles et logicielles, ... Ces conditions comprennent à la fois des infrastructures techniques de pointe, des compétences avancées ainsi que des fonctionnements institutionnels, légaux et réglementaires adaptés. Aujourd'hui encore, la France fait partie de la poignée de pays qui disposent d'une présence sur tous les maillons de la chaîne numérique : des semi-conducteurs aux supercalculateurs et en allant jusqu'aux applications logicielles les plus avancées notamment dans l'utilisation de la modélisation mathématique ou dans le contrôle commande de grands systèmes. Les propositions rassemblées dans ce *livre blanc* entendent « faire levier » pour que s'expriment pleinement les potentiels technologiques et humains des écosystèmes d'innovation et de recherche du numérique.

Pour les Etats et les communautés d'Etats, mettre en œuvre une politique industrielle au 21^e siècle, dans une économie de la connaissance, oblige à se confronter à un environnement à la fois ouvert,

hyper-connecté et très contraint. La numérisation des processus organisationnels et industriels, et de pans entiers de la vie en société, s'ajoute à cette complexité. Quand il s'agit de concevoir des actions de politique industrielle pour soutenir, renforcer et développer les entreprises du numérique d'un territoire comme la France, nombreux sont alors écueils. Nous pensons que le premier d'entre eux procède d'un manque d'attention aux détails clés des sciences et technologies du numérique. **Aussi consacrons-nous une partie essentielle de ce texte à proposer une lecture de la transformation numérique à partir des grandes tendances technologiques qui la traversent.** Ensuite seulement suggérons-nous des orientations de politique industrielle et de Recherche. Notons que si ces orientations et les recommandations qui les accompagnent s'adressent en priorité à la puissance publique, elles contiennent aussi certaines suggestions aux principaux acteurs du changement : les entreprises et leurs partenaires.

Rappelons qu'une politique industrielle française ne peut se déployer que dans le cadre du développement du marché unique numérique européen (European Digital Single Market). C'est en son sein que doivent être conçues et mises en œuvre des mesures favorables aux entreprises du numérique ainsi qu'aux écosystèmes de recherche et d'innovation en France. Les experts du groupe de travail sont convaincus de la portée de cette voie et les recommandations proposées au niveau national comportent cette dimension. L'approche réglementaire a souvent alimenté nos échanges. Les règles de protection des données personnelles et leurs conséquences sur le développement des entreprises du secteur ont fait l'objet d'une attention notable. Plusieurs des dix recommandations proposées en fin de rapport en font mention.

Au-delà de leur coloration, à chacune spécifique, cet ensemble de suggestions entend « faire système ». Les experts sont en effet convaincus que c'est en développant une vision intégrée et systémique des développements technologiques entre eux ainsi que de leurs usages que peut être fondée une politique au service d'une ambition simple : **« faire de la France un leader industriel du numérique ».**

Pour établir cette vision, quatre évolutions technologiques majeures qui fondent la transformation numérique sont décrites et un scénario global de cette transformation est proposé. De ce scénario sont issus quatre changements structurants pour engager globalement notre pays dans la voie de la transformation numérique. Après avoir rappelé les bouleversements en cours de la chaîne de valeur de l'Industrie Informatique et les opportunités qui sont créées, dix recommandations sont proposées pour fonder une politique industrielle du numérique.



02 Infrastructure technique : la dynamique du changement et ses conséquences

Une manière raisonnée et structurante de comprendre et analyser de façon globale les grandes tendances de la transformation numérique, consiste à prévoir les évolutions des infrastructures qui sous-tendent cette transformation. Ces évolutions prennent leur racine à la fois dans le développement des semi-conducteurs et dans celui des télécommunications mais aussi dans le développement et la standardisation de logiciels de base et l'émergence de nouvelles formes de modélisation numérique. Après avoir rappelé les principes sur lesquels reposent ces développements, les grandes tendances sur lesquelles sont fondées les infrastructures futures, sont énoncées. Ces tendances permettent alors de proposer un scénario de la transformation numérique et de certaines de ses conséquences sociétales, économiques et technologiques.

Les racines technologiques du changement

Des ruptures radicales dans les semi-conducteurs

Le formidable développement de l'informatique et du numérique au cours des quarante à cinquante dernières années est lié au progrès rapide et constant de la miniaturisation des circuits intégrés sur silicium. Ce progrès fut caractérisé par ce qu'il convient d'appeler la loi de Moore. Le rythme de cette miniaturisation ralentit à présent, et les coûts sont devenus extrêmement élevés. Cette évolution entraîne une restructuration du marché mondial des semi-conducteurs.

L'augmentation systématique de la fréquence des microprocesseurs – et donc de leur puissance de calcul – qui accompagnait cette miniaturisation s'est arrêtée, il y a une dizaine d'années. L'accroissement de la quantité de chaleur dissipée par un microprocesseur à des fréquences élevées est en effet devenu prohibitif.

A défaut de pouvoir poursuivre l'augmentation de leur fréquence, le principal moteur de la performance des microprocesseurs provient désormais de la densification de leurs unités de traitement. En effet la miniaturisation rend possible la capacité de placer plusieurs dizaines, voire centaines, de ces unités de traitement sur un même circuit intégré. L'amélioration de la performance informatique résulte alors de la possibilité de pouvoir solliciter en même temps plusieurs de ces dispositifs au sein d'un même circuit et de pouvoir démultiplier le nombre de circuits. Ce n'est plus, comme auparavant, l'enchaînement séquentiel à fréquence élevée d'opérations de traitement de l'information qui fait la performance. Ce recours à un modèle de programmation dit à **parallélisme massif** n'est pas sans conséquence sur plusieurs éléments clés de la chaîne de valeur informatique. Les architectures d'ordinateurs et de processeurs, ainsi que les logiciels doivent subir de profondes transformations afin de tirer parti du parallélisme massif.

Toutefois, aucune architecture dominante pour le parallélisme massif n'a encore émergé. La dissociation « classique » entre logiciel et matériel qui résulte de la généralisation de standards de

fait au cours des décennies précédentes ne tient plus. Les positions dominantes sont donc remises en cause.

De nouvelles ruptures encore plus radicales se profilent à moyen/long terme, une fois que les possibilités offertes par le silicium pour gagner en performance et en miniaturisation, auront été épuisées. De nouveaux matériaux (tel le graphène voire des transistors biologiques) ou des supports de nouveaux modes de calcul (comme le calcul quantique ou les processeurs neuromorphiques), devront alors être mis en œuvre.

La couverture planétaire unifiée des télécommunications

Echanger de l'information numérisée de n'importe quel endroit vers n'importe quel autre à des débits de plus en plus élevés devient de plus en plus facile. Cela résulte d'un double mouvement de fond. Au cours de la seconde moitié des années 1990, de nombreux Etats ont libéralisé leur secteur des télécommunications. Dans le même temps, les technologies ont grandement progressé, des standards se sont imposés. Aujourd'hui, on se dirige vers la cinquième génération (5G) en matière de communication mobile, avec des débits allant de 10 à 20 Gb/s à terme. Des bandes passantes de 1Tb/s seront bientôt atteignables sur les réseaux fixes à grande distance. Enfin, le protocole de l'Internet, IP, et ceux du Web (l'HTTP par exemple) sont devenus les standards de fait de l'échange d'une information devenue multimédia.

Parmi le large éventail des dispositifs communicants, des objets simples sont interconnectés qui échangent peu d'information, ou à une fréquence faible. En domotique, de nombreux capteurs cons-

tituent déjà ces réseaux de l'internet des objets (IoT : Internet of Things). Emergent ainsi des réseaux à bas débit et longue portée, à faible coût et à faible consommation d'énergie. Ils vont permettre d'étendre très largement la connectivité entre eux d'objets les plus divers ainsi qu'à des serveurs distants. A ce stade, notre pays est en pointe sur ce type de réseau (Sigfox).

La « programmabilité » généralisée du Web

L'Internet apparaît comme un système composé d'un nombre incalculable de dispositifs variés et hétérogènes de traitements de l'information, d'archivage de données, de communications et de logiciels. L'intérêt de pouvoir tirer parti de ces ressources au sein d'applications nouvelles a émergé au début des années 2000. Pour concevoir de manière aisée ces applications qui vont au-delà de l'élaboration de simples portails, il est nécessaire de pouvoir s'abstraire de l'hétérogénéité des ressources mobilisées et de leur répartition géographique. Ainsi en est-il par exemple d'un service de télémédecine qui échange des données en permanence avec des patients et leur environnement, qui fait appel à des données d'imagerie et qui est en liaison avec des hôpitaux et plusieurs médecins.

A une vitesse remarquable, l'industrie mondiale s'est mise d'accord sur un standard d'abstraction par des couches de logiciels appelées « web services ». Ceux-ci permettent à des logiciels répartis d'être localisés, de communiquer voire d'être composés et enchaînés entre eux de manière standard pour former les applications nouvelles. A côté de cette abstraction dite « tout service » s'est généralisé l'usage de langages de programmation « portables » sur n'importe quelle archi-

ture de processeur. Ces langages (interprétés ou semi-interprétés), comme Python ou Java ont favorisé l'atteinte d'une productivité accrue pour les nouvelles applications du Web. Des logiciels dits « libres » ou en « Open Source » fournissent les « intergiciels » des Web Services. Ce sont des méthodes standards d'accès à des bases de données pour le Big Data par exemple (Hadoop, Spark), d'archivage ou d'échange de pages Web (Apache) ou des « connecteurs » à des logiciels anciens. Ces intergiciels open source se sont révélés indispensables à l'efficacité de l'ensemble et à la diffusion généralisée de la capacité de programmer le Web.

Des « micro-services » (« dockers »), qui dématérialisent et mutualisent les routines d'un domaine métier particulier, se greffent sur cet ensemble de logiciels pour former des « plateformes de services », faciles à déployer et maintenir. Ces dernières constituent un réservoir quasi-inépuisable d'innovation, en rendant possible d'innombrables combinaisons.

La modélisation au service d'une disponibilité accrue des outils et des données

Outre la « programmabilité » de l'internet, les techniques et méthodes d'apprentissage, d'optimisation et de simulation ont aussi considérablement progressé. De nombreux développeurs peuvent aujourd'hui, sans en être des experts, les utiliser pour constituer des modèles d'objets et de systèmes, purement techniques ou incluant des êtres humains (des « patients », des « conducteurs », des « consommateurs », etc.). On emploie ensuite ces modèles à de nombreuses fins :

- évaluer et comparer les performances des objets et systèmes considérés ;
- prédire leur évolution ;
- en détecter les dérives annonciatrices de changements importants ou de pannes futures et prescrire des mesures de correction ;
- optimiser leur comportement vis-à-vis de critères donnés ;
- simuler leur comportement à l'aide de « digital twins » (jumeaux numériques), maquettes numériques, etc.

Ces méthodes peuvent alors tirer parti de l'explosion du volume et de la variété de données numériques générées par la multiplicité et la quantité des instruments qu'il est possible de connecter sur Internet au-delà même des ordinateurs ou téléphones portables. Ainsi en est-il de données provenant de machines-outils, de véhicules, de grands équipements de la recherche scientifique ou encore de capteurs miniaturisés, d'instruments auxiliaires ou professionnels... Grâce aux données produites et qui caractérisent des comportements humains, physiques, chimiques ou biologiques des sociétés spécialisées peuvent développer des applications réalistes et efficaces pour atteindre les objectifs cités ci-dessus. La collecte et la maîtrise de ces données sont donc des opérations qui revêtent donc à présent une importance considérable.

Une recherche intégrative hyper-sollicitée

Chacun des quatre domaines identifiés ci-dessus n'a pu progresser – et les progrès ont été exceptionnels – que grâce à des investissements colossaux en R&D au niveau mondial. Cette recherche au service du développement technologique a été menée conjointement par les industriels et la recherche publique. Elle concerne des grands champs scientifiques et techniques comme l'électronique, l'informatique, les matériaux, les télécommunications, les mathématiques appliquées. Mais la transformation numérique que nous allons décrire résulte de la conjonction de deux caractéristiques. La première est que les progrès et ruptures que nous avons évoqués ne sont pas à considérer isolément. C'est bien leur combinaison et leur intégration qui créent les soubassements nouveaux de la société numérique. La seconde caractéristique est qu'à cette évolution des soubassements et des infrastructures il convient d'ajouter l'innovation en matière d'usages, la création de nouvelles applications et par conséquent des changements socio-économiques profonds.

D'un côté, il convient d'inventer les futurs matériaux aux propriétés de pointe pour mettre en œuvre un calcul informatique performant. De l'autre, il va falloir anticiper finement les impacts sociaux-économiques du potentiel offert par cette accélération fabuleuse des traitements. Comment rendre accessible au plus grand nombre l'emploi du milliard de milliards d'opérations arithmétiques par seconde dont nos supercalculateurs seront bientôt dotés et pour quel usage ? D'un côté, l'architecture des processeurs et des ordinateurs est réinventée. De l'autre, l'ubiquité généralisée des communications, l'explosion de la disponibilité

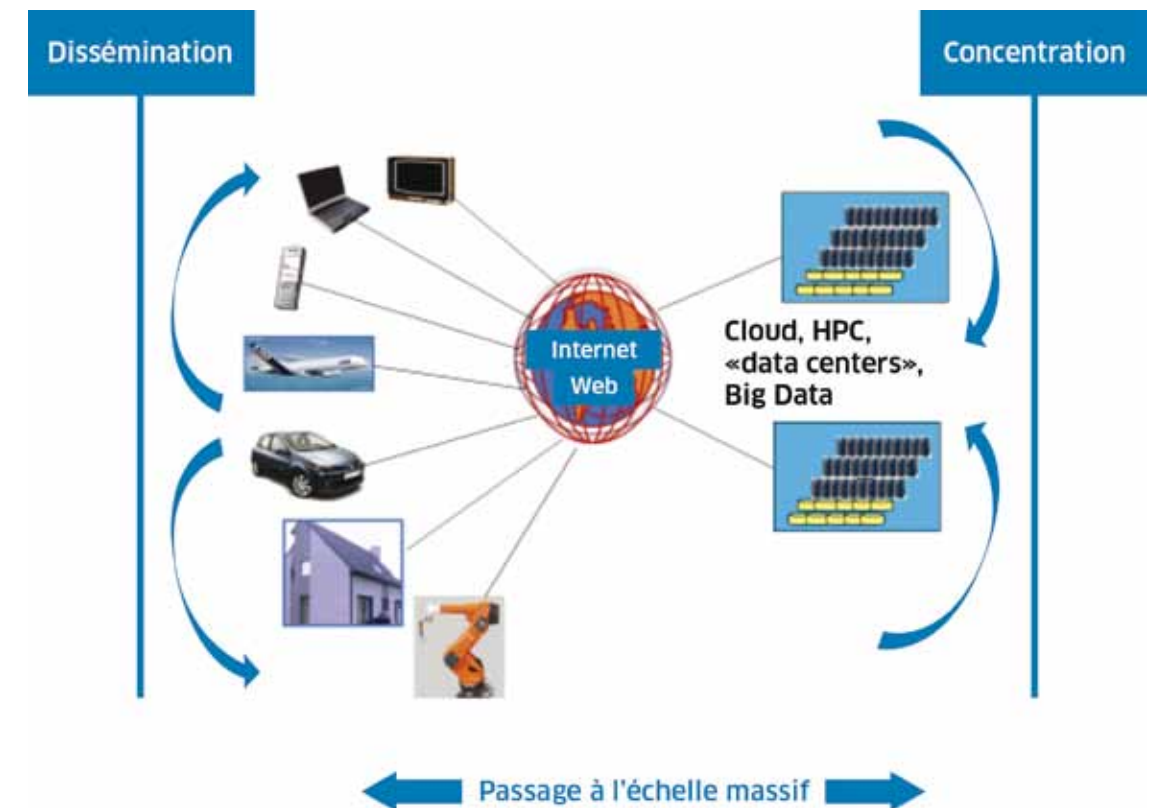
de données numériques, et le renouvellement des modèles et des algorithmes, doivent être évalués et accompagnés. Quelles formes de centralisation des ressources humaines et technologiques les organisations doivent-elles mettre en place pour profiter pleinement de la transformation numérique ? Quel impact sur l'organisation du travail, quelle nouvelle régulation adaptée ? Les systèmes éducatifs doivent-ils continuer d'exploiter des modèles éducatifs hérités d'hier ? Comment rendre ces technologies et ces nouveaux usages accessibles et acceptés par la Société ?... Tout ceci forme un lot de questions extrêmement nombreuses auxquelles ce rapport ne prétend pas répondre dans son ensemble. Ce qui apparaît nécessaire par contre c'est que la recherche de réponses soit intimement liée à l'analyse et la compréhension des évolutions technologiques combinées. C'est l'ambition de ce rapport que de proposer des fondements pour structurer cette démarche.

Dissémination et concentration : les deux tendances de fond d'évolution des infrastructures numériques

Les infrastructures numériques se transforment rapidement et fortement, sous les effets combinés de deux tendances :

- **la dissémination** de moyens de traitement et de communication au sein des objets les plus divers ;
- **la concentration** des moyens de traitement lourd et d'archivage de données pour fournir les services numériques futurs de plus en plus sophistiqués à la fois pour le plus grand nombre ainsi qu'aux meilleures performances.

Figure 1 - Les deux tendances de fond : dissémination et concentration



Deux phénomènes, en apparence contradictoires, mais qui vont se compléter pour s'amplifier réciproquement comme l'illustre la figure 1.

La dissémination

En 2020, selon les prévisionnistes, il y aurait plus de 30 milliards d'objets « connectés » dans le monde, soit trois fois plus que d'humains. Embarquant des capacités de traitement informatique et de communication, ils seront aussi variés que des téléphones et des ordinateurs portables,

des automobiles, des avions et des trains, des jouets et autres supports de divertissement, des outils d'instrumentation domestique (domotique) ou professionnelle, de grands équipements de la Recherche Publique, de contrôle commande, de capteurs ou actionneurs variés et des robots de toute sorte¹.

La valeur ajoutée que ces objets sont susceptibles d'engendrer proviendra essentiellement de leurs capacités de traitement et de communication ainsi que du logiciel associé qui pourvoit leurs fonctions.

1. Ce sont les termes d'objets et systèmes cyberphysiques qui sont souvent utilisés pour désigner ces objets ainsi que les systèmes dans lesquels ils interviennent.

Dans nombre de secteurs industriels, cette mutation va exiger des entreprises concernées, si ce n'est déjà fait, des efforts considérables : compétences renouvelées, méthodes de travail changées, procédés revus. En France, plus d'un 1.7 million d'emplois dans la conception et la fabrication de produits manufacturés seraient concernés, selon une enquête prospective de l'association Embedded France et du Syntec Numérique (2014).

La concentration

Quatre grands traits caractérisent la concentration au sein de centres de données ou de calcul de moyens lourds de traitement d'archivage de données.

- Le déploiement de moyens de télécommunication à haut débit permet l'utilisation à distance de ces centres, pourvu que les échanges avec eux et leur accès soient sécurisés et que la latence des transferts soit acceptable.
- Avec la dissémination des moyens de traitement au sein des objets les plus variés, la quantité de données numérisées croît de manière exceptionnelle. Selon les spécialistes, elle passerait de 4,4 Zeta octets en 2013 à 44 Zeta octets en 2020 (1 Zeta = 10^{21} , soit mille milliards de milliards). Or, pour être efficaces, les algorithmes de traitement, croissant de façon intensive des données hétérogènes, nécessitent que ces données soient concentrées au plus près des ordinateurs. Des systèmes d'archivages de données disposant de capacités considérables et nécessitant des moyens tout aussi importants de traitement sont alors rendus indispensables.
- L'augmentation des performances des super ordinateurs nécessite l'accumulation de nombreuses ressources de traitements (cf. parallélisme massif) que ce soit pour fournir un temps de réponse acceptable à une grande quantité d'utilisateurs, ou bien encore pour diminuer le temps de calcul d'un programme. Si on considère les besoins extrêmes, la course à la performance actuelle devrait conduire à atteindre la puissance d'un **exaflops** dans quelques années. Ce milliard de milliards d'opérations arithmétiques par seconde nécessitera la combinaison de plus d'un million de cœurs de processeurs. Une telle concentration, qui suppose le fonctionnement simultané de très nombreux composants, pose alors des problèmes considérables de consommation d'énergie et de dissipation de chaleur. Des équipements d'alimentation électrique et de réfrigération adaptés et coûteux sont donc eux-aussi nécessaires.
- Compte tenu des tailles que nous venons d'évoquer, les coûts de possession des centres de données ou de calcul deviennent très élevés. Leur mutualisation devient par conséquent indispensable au sein de centres exploités par des intermédiaires spécialisés indépendants (hors des bâtiments des entreprises, des organisations et des individus qui les utilisent), et qui profitent des performances accrues des télécommunications. Cela permet notamment de transformer en service payé à l'usage l'emploi des ressources matérielles et logicielles disponibles dans ces centres. Le mécanisme ainsi décrit est le plus souvent dénommé l'informatique en nuage ou encore un mécanisme de « **cloud** ». Des petites organisations (PME)

peuvent alors avoir accès à des ressources qui seraient sinon hors de leurs possibilités techniques et financières.

C'est notamment le cas de la conduite de véhicules autonomes ou du fonctionnement de robots en usine.

Traitement en périphérie, traitement différé

Au-delà des formes simples de la dissémination et de la concentration, telles qu'évoquées ci-dessus, des formes hybrides se développent. La taille des données à transférer ou/et la distance à parcourir pour amener ces données dans les centres de traitement, la latence des communications ou encore des exigences de temps de réponse ou de sécurité informatique, peuvent amener à hiérarchiser l'infrastructure de transmission. Des prétraitements plus proches de la production des données peuvent être réalisés afin de réduire la quantité d'information à acheminer à grande distance. Définie à l'occasion d'un rapport d'experts internationaux paru en novembre 2017² et appelée « **traitement en périphérie** » (*edge computing*), cette approche peut être nécessaire pour satisfaire des contraintes « temps réel » dans la commande d'objets connectés par exemple.

La conception ou le paramétrage d'un modèle spécifique d'un usage donné peut être effectué « sur le cloud », à partir de très grosses puissances de calcul ou des énormes masses de données qui y sont disponibles. Le modèle spécifique obtenu ainsi de manière **différée** peut ensuite être téléchargé et disséminé sur les objets concernés, leur conférant ainsi des propriétés « **d'autonomie** ».

2. <http://www.exascale.org/bdec/sites/www.exascale.org/bdec/files/whitepapers/bdec2017pathways.pdf>

03

Un modèle pour comprendre la transformation numérique

Par transformation numérique, on entend habituellement le processus contemporain au cours duquel les entreprises, les administrations et la société en général innovent grâce aux technologies d'information et de communication. Comme nous l'avons décrit plus haut, concentration et dissémination en sont les composantes majeures. Les organisations, entreprises et administrations, et les relations entre elles et en leur sein, les relations du et au travail, en sont bouleversées. Des entreprises nouvelles naissent, d'autres disparaissent. Des modèles d'affaire inédits voient le jour. Certaines des activités personnelles et professionnelles des individus se modifient en profondeur.

Nous proposons d'abord une grille d'analyse de cette transformation, pour ensuite décrire quatre dimensions fondamentales du changement qui va être opéré. Nous évoquons ensuite le rôle que peut jouer l'Intelligence Artificielle au sein du scénario de transformation.

Les trois mondes du numérique

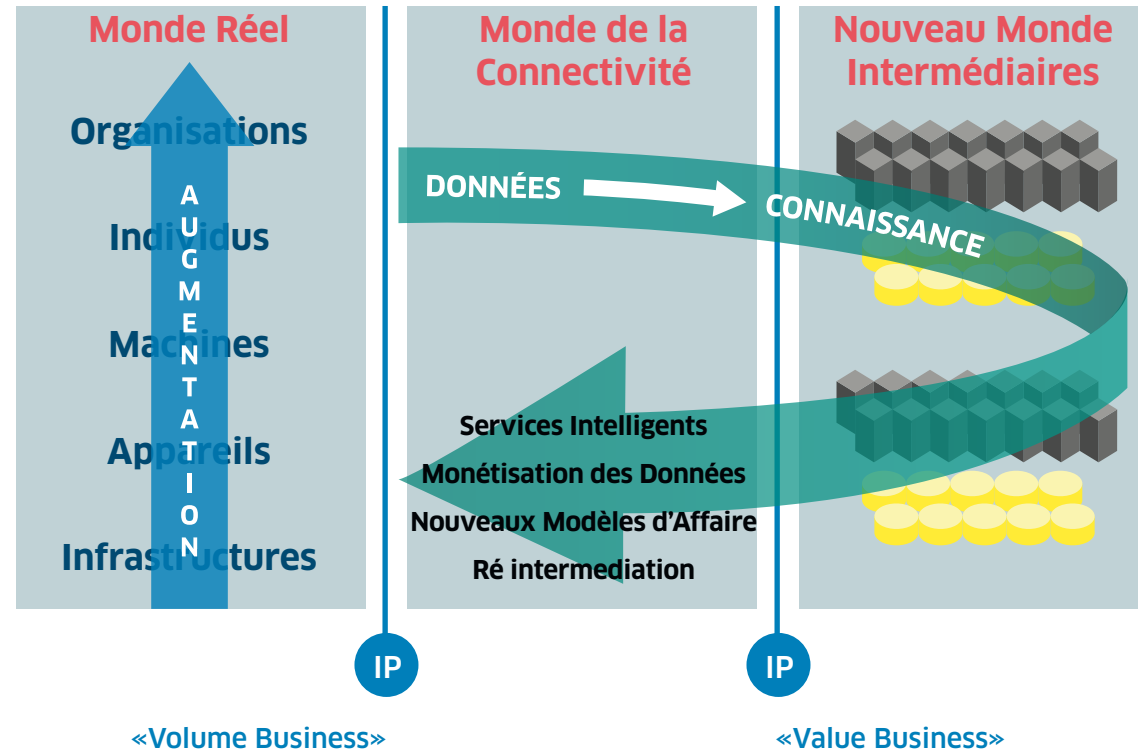
Nous proposons de considérer la « société numérisée » comme constituée de trois « mondes » en interaction.

- « **Le monde réel augmenté** ». Dans le monde réel, les capacités et les fonctions des objets, des individus, voire de la nature peuvent être « **augmentées** » par divers dispositifs électro-

niques comportant des moyens de traitement, de communication et de logiciels pour mettre en œuvre ces capacités étendues.

- « **Le monde des intermédiaires numériques** ». Des « intermédiaires numériques » habitent ce monde ; ils utilisent de grands centres de données et de calcul pour exploiter les données captées lors de l'usage d'objets et de machines, ou issues des comportements humains. Les informations qu'ils acquièrent servent à développer de nouveaux services au plus près des besoins des individus et des organisations. De nouveaux modèles d'affaire sont alors susceptibles d'être inventés qui procèdent souvent d'un phénomène de ré-intermédiation des échanges entre les acteurs économiques. Les transformations alors déclenchées vont constituer la trame de la transformation numérique de la société. La disponibilité de données d'usage en grande quantité devient fondamentale ; elle va être à la source d'une création de valeur potentiellement exceptionnelle.
- « **Le monde de la connectivité** ». S'appuyant sur les infrastructures de télécommunication et s'interfaçant avec les deux autres mondes *via* des protocoles standards de l'internet, ce monde rend possible la coexistence, l'interaction et la transformation mutuelle des deux autres.

Figure 2 - Les trois mondes du numérique



La figure 2 illustre ce mécanisme³ :

Le jeu des relations entre ces trois mondes permet d'inférer plusieurs schémas, composantes d'un scénario global de transformation numérique. Dans la suite, nous examinons quatre composantes structurelles des changements : l'émergence de plateformes intégratives et collectives, la création d'une informatique prédictive, le développement de doublures numériques, la complexification de la cybersécurité. L'Intelligence Artificielle connaît actuellement un regain d'intérêt considérable. Nous évoquons le rôle que peuvent jouer les outils de l'Intelligence Artificielle pour faciliter voire accélérer la transformation numérique.

Quatre tendances de fond

Nous insistons particulièrement sur les transformations associées au développement du monde de l'intermédiation numérique vu comme ossature de ces transformations.

L'émergence de plateformes intégratives

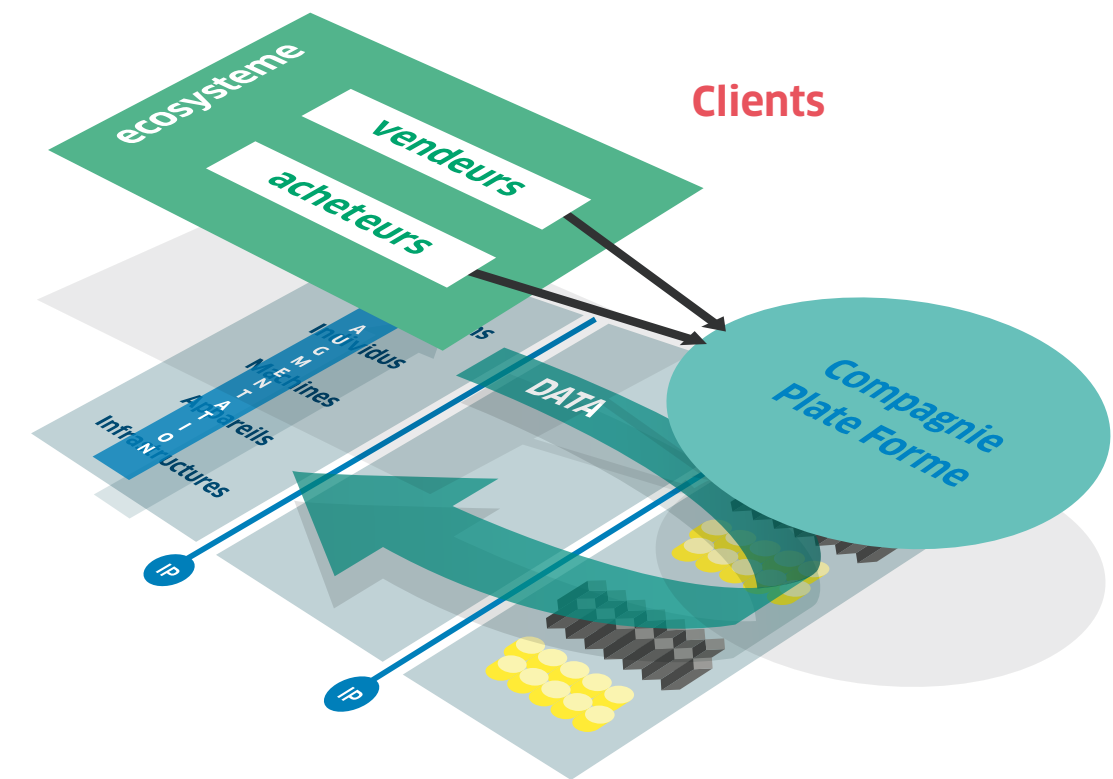
Une telle plateforme intègre au sein d'un même écosystème des vendeurs et des acheteurs de biens ou services. La totalité des clients, qu'elle qu'en soit la nature, de l'entreprise qui opère la plateforme détermine cet écosystème. L'opérateur de la plate-

3. Ce diagramme provient du rapport « Internet du Futur », de J. C. Merlin, G. Roucairol, Documentation Française, 2000.

forme adresse avec un système numérique unique plusieurs marchés indépendants. Par exemple, le groupe des vendeurs, le groupe des acheteurs, voire des sous-groupes au sein de ces catégories. Son modèle d'affaire repose sur la valeur ajoutée créée en tirant parti des synergies techniques et économiques qu'elle établit en étant l'opérateur unique de services dédiés à des groupes de clients disjoints. On dit qu'elle opère sur un « marché multi-faces », modèle proposé dans les années 2000 par de nombreux économistes dont Jean Tirole, comme l'illustre la figure 3.

Ainsi Uber sert deux clientèles, les chauffeurs de taxi et les passagers de ces taxis. Airbnb, les propriétaires de logements et les voyageurs en quête de nuitées ; Booking.com, les hôteliers et leurs clients. Ces acteurs emblématiques du monde des intermédiaires numériques parviennent à court-circuiter les chaînes de valeur existantes en remettant en contact direct demandeurs et offreurs de services. La connexion technique qu'opère la plateforme entre ses différentes catégories de clientèle lui prodigue des « effets de réseau » au sens économique du terme. La valeur du service fourni par le réseau – l'entreprise plateforme – à chaque utilisateur croît avec le nombre de ses

Figure 3 - Entreprise plateforme intégrative



utilisateurs. Cette irrégularité économique est susceptible de s'accompagner de situations de « lock-in » et de monopole où le premier arrivé remporte toute la clientèle (« winners take all »).

L'analyse des données comportementales des différents groupes de clientèles collectées par la plateforme lui est utile afin d'affiner, adapter, et mieux servir ses différentes cibles. Booking.com peut signaler à ses clients hôtes les chambres qui correspondent le mieux à son mode de consommation de nuitée habituel. Réciproquement, ses clients hébergeurs peuvent bénéficier d'un signalement qui va correspondre au mieux à sa clientèle d'hôtes.

Les activités en B2C sont les plus fréquemment citées comme opérant selon un principe de plateformes. Se développent toutefois à un rythme élevé des plateformes de B2B dans la plupart des domaines industriels. C'est le cas par exemple de la fabrication où des acteurs comme General Electric, Siemens, Schneider Electric, mais aussi des entre-

prises de services en informatique ou des éditeurs de logiciel développent des plateformes intégratives. Dans le vocabulaire des politiques publiques en France, ce mouvement est labellisé « industrie du futur » ou « Industrie 4.0 » en Allemagne. La figure 4 illustre la vision de Siemens en cette matière.

De nombreuses activités relevant de grands domaines sociétaux seront probablement soumises à ces transformations. La santé avec le déploiement de la télémédecine ou de la médecine ambulatoire en est un exemple. La gestion de l'énergie au sein des éco quartiers du futur, ou l'organisation du transport au sein d'une agglomération l'illustrent aussi parfaitement.

Aussi, dès lors que se généralisent ces plateformes intégratives, la question de la nature de leurs opérateurs se pose avec force. En effet, Booking.com ne possède aucun hôtel pas plus qu'Uber ne possède de taxis. En revanche, ces opérateurs de services

s'insèrent entre les propriétaires des infrastructures (hôtels ou taxis) et leur clientèle usuelle, voire se substituent à eux. En matière d'activités BtoB, les grands groupes manufacturiers apparaissent comme des opérateurs incontournables des plateformes correspondant à leur métier. Les raisons tiennent en deux mots : crédibilité et savoir-faire. Cependant pour ces entreprises le risque existe d'être limitées à la fourniture de solutions qui leur sont trop spécifiques en matière par exemple de machines-outils ou de chaînes de fabrication. De même quels seront les opérateurs de plateformes de télémédecine ou de gestion d'un éco quartier ? Est-ce qu'il s'agira d'entreprises issues des métiers concernés actuels ou d'entreprises du secteur du numérique ou autre ? Les territoires ont aussi tout intérêt à s'organiser selon un mode plateforme, afin de pouvoir aisément organiser et à coût réduit la commercialisation d'une production locale limitée avec des circuits de distribution raccourcis.

Vers une informatique prédictive et contributive

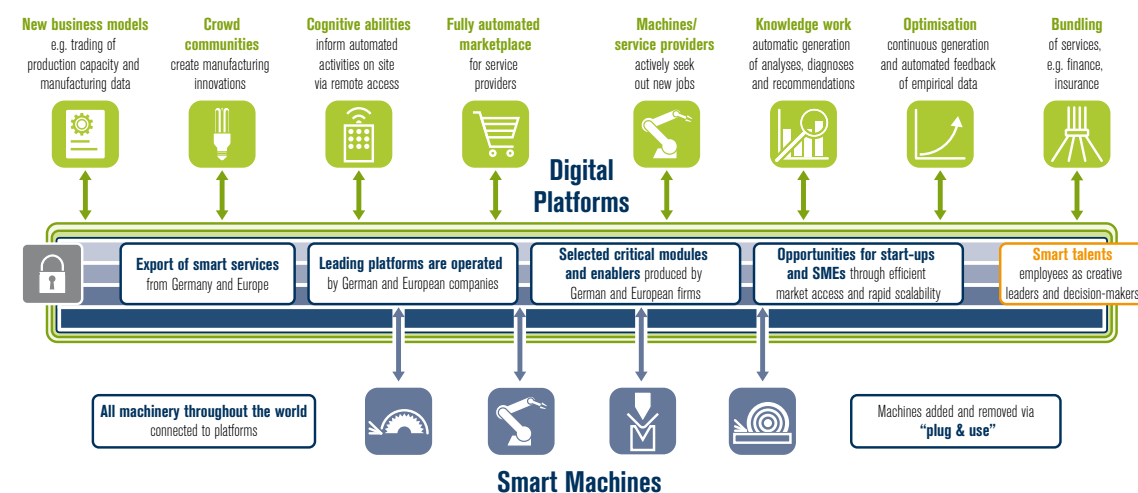
Le concept unificateur qui s'impose pour décrire le changement majuscule sous-jacent à la révolution numérique est celui d'« informatique prédictive et contributive ». Ce concept entend rendre compte du processus de création de valeur engendré au sein des grands centres de calcul et de données mentionnés précédemment. Les méthodes employées, qu'elles soient inductives ou déductives, relèvent du domaine des Big Data et de l'Apprentissage Artificiel mais aussi des méthodes plus classiques de la simulation numérique (fondée sur des équations aux dérivées partielles voire des modèles mathématiques discrets).

Ambition et fonctionnement de l'informatique prédictive

La promesse de cette nouvelle informatique consiste à prédire le comportement de processus ou objets complexes. Traditionnellement, cette prédiction s'opère à partir de la modélisation exacte ou déterministe de phénomènes physiques ou apparentés : écoulements de fluides, combustion, turbulence, dynamique moléculaire, mécanique des structures, électromagnétisme, etc. L'analyse de masses considérables de données collectées via Internet ou via les simulations numériques massives permet aussi la modélisation, devenant alors statistique, de phénomènes variés. A cette approche s'ajoute la capacité de compléter voire substituer dans la démarche de modélisation la machine à l'homme par des mécanismes d'Apprentissage Artificiel automatique. Il s'agit ensuite d'en tirer des contributions à la résolution de problèmes, des éléments d'aide à la décision humaine permettant d'optimiser ces éléments, en corriger les défauts, et anticiper sur les différentes conséquences de ces prédictions. Dans certains cas, ces contributions peuvent être générées par des techniques d'automatisation du raisonnement relevant de l'Intelligence Artificielle. De plus ces contributions peuvent se transformer en véritables prescriptions dès lors qu'elles constituent la base de l'autonomie d'un dispositif matériel voire logiciel (machine-outil, véhicule, robot, chatbot, ...).

Les différentes approches de la prédiction mentionnées ne sont pas exclusives et peuvent se combiner pour affiner la prévision. Ainsi, la météorologie s'appuie sur une modélisation de lois physiques pour prédire le temps qu'il fera sur une zone géographique relativement large et sur des plages de temps assez étendues. Mais prédire s'il va pleuvoir

Figure 4 - La plateforme numérique de production selon SIEMENS



à échéance courte sur un lieu précis relève alors de l'analyse statistique ou de l'apprentissage artificiel à partir de séries temporelles de données. De même, l'étude statistique d'une quantité considérable d'électrocardiogrammes va permettre d'évaluer les risques d'infarctus chez un individu mais une simulation fondée sur les lois de la mécanique des fluides appliquées au flux sanguin autorisera l'identification de l'endroit précis des causes chez cet individu.

La figure 5 illustre les différentes approches d'une informatique prédictive.

Dans les deux premiers cas, ce sont les êtres humains (les chercheurs) qui élaborent les modèles mathématiques exacts ou statistiques. Ensuite, les données

numériques sont introduites pour réaliser une prédiction par ordinateur. Dans le dernier cas, c'est l'ordinateur lui-même qui par apprentissage sur un très grand nombre de données construit un modèle statistique. Il s'appuie sur un méta-modèle de prédicteur universel, i.e. « les réseaux de neurones ». Après avoir été introduite en 1956⁴, l'accroissement des puissances de calcul couplé à la disponibilité de données utiles en très grande quantité (big data) rend désormais possible depuis quelques années l'essor actuel de l'intelligence artificielle.

De nombreuses applications comme celle de la voiture autonome en particulier, vont se développer tant l'approche est séduisante et simple en apparence. Mais ne nous y trompons pas, l'élaboration d'un modèle réaliste n'échappera pas à

la prise en compte de la nature même du phénomène étudié, de ses spécificités voire de ses lois physiques. Ainsi, il sera difficile de prédire le comportement d'un système électrique sans introduire dans le modèle, directement ou indirectement, les lois de l'électricité. En outre, le modèle prédictif construit à partir de données historiques, est essentiellement représentatif... des données ayant permis de le construire ! Le domaine de validité de ce modèle reste donc sujet à caution. Des évolutions (réglementaires, de comportement humain, d'environnement, etc.) significatives pourront nécessiter un réapprentissage avec, parfois, des fréquences élevées. Par ailleurs les modèles statistiques ou « appris » se comportent souvent comme des « boîtes noires » ne fournissant aucune explication sur le « comment et le pourquoi » ils aboutissent à leurs résultats. Dans de nombreux cas l'appropriation de tels algorithmes par le plus grand nombre va nécessiter que des recherches avancées soient menées pour pallier cette absence d'explication.

Insistons : le développement des méthodes d'informatique prédictive ouvre des champs considérables d'innovation. Et ce, y compris dans des domaines traditionnels. Ainsi, en agriculture, l'informatique prédictive va permettre d'anticiper la volatilité des prix, de diminuer la dépendance par rapport aux aléas climatiques, de minimiser l'impact environnemental, etc. Pour les collectivités urbaines, la capacité de prédiction autorisera des optimisations intelligentes et auto-adaptatives des tournées des personnels sur leur territoire : aides-soignants à domicile, assistants des personnes âgées, infirmière pour l'hospitalisation au domicile, etc. Elle serait aussi susceptible de fournir des modèles intelligents d'adaptation à la consommation de la production de fluides (eau, gaz, électricité). Plus générale-

ment, les entreprises ou les administrations vont y trouver les moyens d'accroître significativement leur compétitivité ou la satisfaction de leurs administrés. L'informatique prédictive favorise l'avènement de « la personnalisation de masse ».

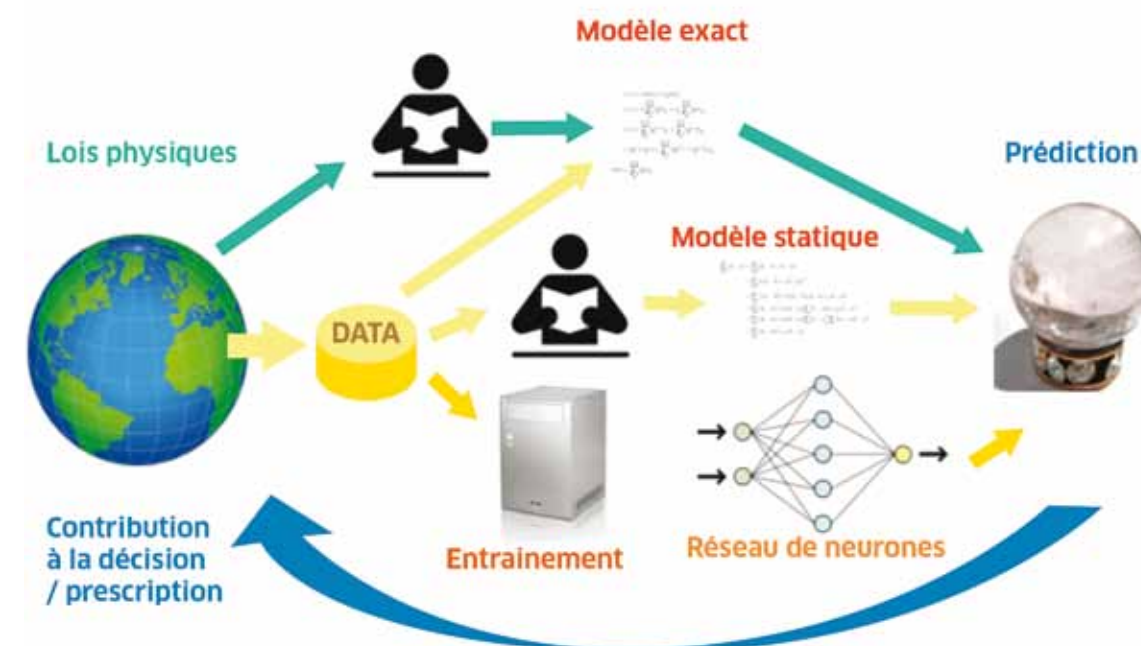
**La personnalisation de masse :
la satisfaction des clients ou
des administrés d'abord,
la réduction des coûts ensuite**

La modélisation de phénomènes non physiques, comme ceux associés aux comportements humains, reste un domaine privilégié d'usage des techniques de traitement des données massives. Les entreprises parviennent à mieux anticiper et personnaliser la satisfaction de leurs besoins. On pense spontanément à la promotion marketing des entreprises de la grande distribution. Mais c'est aussi le cas en « médecine du futur » à partir du croisement de données variées en grand nombre : comportements, ordonnances, radios, examens particuliers, séquençages du génome, etc. Son usage rendra possible la prédiction et la prévention de l'apparition de certaines maladies. Le patient pourra enfin bénéficier des soins et traitements correspondant au mieux à sa pathologie.

L'informatique voit son potentiel transformatif renforcé par cette propriété : des recommandations, des diagnostics, des prescriptions et des services peuvent à présent être personnalisés. Avant d'être un outil au service de la réduction des coûts, cette informatique améliore d'abord la satisfaction des clients ou des administrés.

Dès lors, les entreprises commerciales mobilisent cette nouvelle propriété de l'informatique pour augmenter leur chiffre d'affaires. En outre, et ce

Figure 5 - Plusieurs approches de l'informatique prédictive



4. https://en.wikipedia.org/wiki/Dartmouth_workshop

n'est pas incompatible bien au contraire, une meilleure connaissance des besoins consolidés d'une clientèle permettra aussi de réduire les coûts de fonctionnement d'une entreprise. En effet cette connaissance favorisera l'optimisation des processus d'approvisionnement, de fabrication et de livraison. Elle offrira, dans un second temps, la possibilité de suivre puis de réduire les dépenses liées à une maintenance inutile, à des retours produits, à l'administration d'un traitement thérapeutique inadapté. De la même manière, une meilleure connaissance globalisée des besoins individuels permet d'optimiser les coûts des services offerts aux administrés ou aux citoyens. L'usage des Big Data pour élaborer une médecine prédictive et personnalisée aux Etats Unis, permettrait de réduire jusqu'à 17% des coûts du système de Santé américain (selon une étude de McKinsey de 2013).

Du nouvel usage du calcul haute-performance

L'obtention de prédictions les plus réalistes possibles et donc les plus utiles nécessite l'accès à des puissances de calcul élevées. Dans le cas de la modélisation de lois physiques, c'est le nombre de points calculés dans l'espace et le temps qui va déterminer le réalisme de la simulation. Le nombre d'opérations à effectuer va typiquement varier comme un polynôme de degré 4 (les trois coordonnées euclidiennes plus le temps). Les prédictions statistiques ou par apprentissage impliquent, pour être réalistes, l'examen de très grandes quantités de données, lesquelles peuvent comporter de très nombreuses dimensions. Dans de telles conditions, et même avec les ordinateurs les plus puissants, inutile de compter sur l'emploi d'algorithmes qui soient sur-linéaires en la quantité de données.

Dans le cas de l'apprentissage artificiel, la plus grande puissance de calcul sera mobilisée lors de la construction du modèle, de son « entraînement ». A l'inverse, l'utilisation opérationnelle du modèle appris (dit inféré) sera moins gourmande en ressources. Elle pourra en effet être « déportée » sur des objets du monde réel (actionneurs, machines-outils, robots, automobiles,...) et la prédiction pourra s'opérer si ce n'est en temps réel au moins en temps borné au sein même du monde réel. Il est intéressant de constater qu'une opération de « réduction » quelque peu similaire peut être appliquée à un modèle reposant sur des lois physiques. En fixant certains paramètres, un traitement à haute performance permet la production d'un modèle réduit qui reproduit raisonnablement le fonctionnement du modèle initial dans des conditions bien définies. Un simple ordinateur personnel sera ensuite suffisant pour exploiter le modèle réduit. Ainsi un chef de chantier du bâtiment pourra utiliser sur le terrain la modélisation pour analyser divers choix de construction.

L'élaboration de « doubles numériques », l'interopérabilité sémantique

Le recueil et l'enregistrement systématiques de données comportementales ou physiques offrent à des intermédiaires la possibilité d'établir des abstractions numériques, clones virtuels des réalités considérées. Ainsi, chaque machine peut se voir associé un jumeau numérique (digital twin). De même, chaque individu, dans des situations personnelles ou professionnelles définies, peut se voir doté d'un assistant personnel numérique. La figure 6 donne une représentation schématique ce fonctionnement.

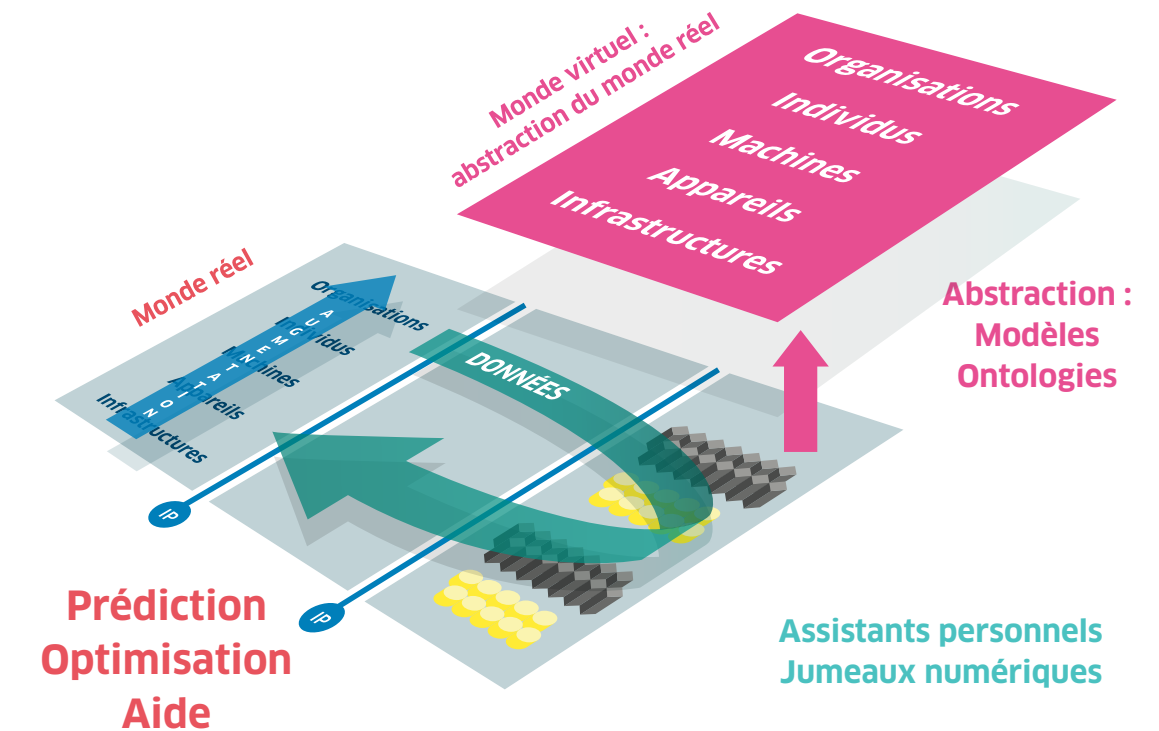
Une fois « dressé » à la réalisation des tâches modélisées, l'assistant personnel numérique pourra être sollicité en langage naturel et de manière orale par l'humain auquel il est attaché. Cet assistant numérique aidera l'individu dans sa vie courante ou professionnelle : organisation de rendez-vous ou de voyages, recherche d'information, remplissage de feuilles de temps passé, tâches administratives, etc. Seules l'imagination et l'accès aux données limitent les capacités de cet assistant virtuel à remplir des fonctions d'assistance, grâce à l'informatique prédictive.

L'emploi des termes de « jumeau numérique » est en général réservé à la doublure d'une machine. Ce « jumeau », tout virtuel soit-il, est susceptible de transformer profondément les relations de l'homme en société à la machine. Ainsi, les ju-

meaux numériques d'une machine-outil, d'une machine agricole ou d'un véhicule de transport permettent l'optimisation de leurs « jumeaux réels ». Pendant qu'elles sont utilisées, ces machines, peuvent en même temps être testées aux limites pour de nouveaux environnements, de nouvelles cadences, ou de prédiction d'usures par le truchement de leur doublure numérique dont le comportement est semblable au réel.

L'opérateur humain de cette machine disposera d'une vision de « réalité augmentée » ou encore un support pour l'apprentissage du geste technique. Une véritable coopération peut aussi être établie entre l'opérateur humain et la machine robotisée dans le cadre de ce qu'il convient d'appeler la « cobotique ».

Figure 6 - Les doubles numériques, abstractions du monde réel



A terme, la doublure d'une chaîne complète de fabrication pourra être établie. Une meilleure optimisation globale des processus de fabrication, une meilleure prévision de l'approvisionnement en pièces détachées en temps et en quantité, ou encore une meilleure précision des activités de livraison seront prochainement accessibles. Pendant la phase de conception d'un nouveau produit, le jumeau numérique d'une chaîne de fabrication permettra aussi de s'assurer par simulation de la « bonne fabricabilité » d'un nouveau produit et de préparer son introduction en production.

Plus généralement, pour les entreprises, l'avenir est à l'optimisation globale de toutes les phases du cycle de vie d'un produit. Celles qui y parviendront réaliseront des gains de productivité et de qualité difficiles à chiffrer mais probablement considérables.

En combinant deux approches de l'informatique prédictive, il devient possible de conférer à un jumeau numérique un haut niveau de valeur ajoutée. Ainsi le modèle physique d'une machine obtenu lors de sa Conception Assistée par Ordinateur (CAO) permet de recueillir à tout moment des données de fonctionnement choisies en l'absence de capteurs réels. La surchauffe d'éléments profondément enfouis dans un moteur peut ainsi être monitorée. Combinées à d'autres, ces données permettront une maintenance prédictive efficace, cette fois-ci à l'aide de méthodes statistiques.

La doublure numérique fait partie des éléments incontournables de l'entreprise 4.0 du futur et constitue un paramètre clef de différenciation des fabricants de matériels et/ou des opérateurs d'usines.

Dans le monde de la santé, des initiatives existent aussi pour appliquer une démarche similaire à la gestion de salles d'opérations en milieu hospitalier. Le double numérique d'une salle d'opération permettra de modéliser l'ensemble du processus chirurgical tout en intégrant en temps réel les données issues de capteurs de tous types. Cette approche permettra d'offrir au chirurgien une représentation synoptique et prédictive d'une opération en cours tout en proposant une estimation de l'occupation des appareils médicaux ainsi qu'une fluidification des prises en charges des patients. Au-delà, un patient, voire une maladie, pourront faire l'objet d'abstractions spécifiques. Toutes les données médicales relatives à un malade seront ainsi analysées afin de personnaliser son parcours de santé et/ou son traitement thérapeutique. Le jumeau numérique du patient constituera son **Dossier Médical Partagé (DMP)**. S'il est reconnu comme tel, il représentera l'**entité de base standard** pour le traitement de toute application de Santé et ses échanges avec d'autres applications.

Ce type d'approche permet alors de restreindre et focaliser l'écriture de chaque application à des traitements à haute valeur ajoutée. Elle fournit une véritable **interopérabilité sémantique** des applications permettant de combiner et capitaliser beaucoup plus facilement les effets de plusieurs applications. Empruntant leur vocabulaire aux philosophes, les informaticiens désignent par le terme d'**ontologie** le modèle de structuration de l'information caractéristique de l'entité de base sur lesquels portent les traitements applicatifs. Ce niveau sémantique est bien plus vertueux en termes d'échange entre applications qu'une simple interopérabilité syntaxique, i.e. liée au format et à la nature des données utilisées. Ce principe d'abstraction est généralisable à bien d'autres cas que celui de la représentation des jumeaux numériques.

Encadré 1 – La doublure numérique, l'enjeu majuscule du secteur de la construction

Qu'il s'agisse du bâtiment, de l'aménagement d'un quartier, d'un territoire ou d'une grande infrastructure, l'ingénierie de la construction pourrait, prenant appui sur le BIM (*business information modelling*), la doublure numérique du bâtiment, s'avérer un levier majeur de transformation et de croissance.

- De nouveaux modèles de plateformes d'ingénierie collaborative naissent qui reposent sur le découpage d'un projet en petits lots attribués à des sous-traitants, favorisant une amélioration de l'efficacité économique. Déjà déployés dans l'industrie, pour l'ingénierie et le développement de produits, ces modèles cherchent aujourd'hui à s'imposer dans l'ingénierie de la construction. Ils pourraient sensiblement modifier les équilibres économiques et le paysage concurrentiel.
- Les clients de l'ingénierie de la construction sont majoritairement publics, ou délégataires de services publics. Ces derniers sont tributaires du code des marchés publics. Or, les pouvoirs publics français ont tardé à imposer l'utilisation du BIM dans les appels d'offres. Il y aurait un grand intérêt à accélérer sa mise en œuvre, aujourd'hui imposée par les maîtres d'ouvrage de très nombreux pays.

Vers la « cyber-security by design »

L'évolution des infrastructures numériques vers des objets connectés intelligents et des capacités de calcul concentrées dans des centres de traitements est d'ores et déjà en action. Dans la mesure où ces systèmes complexes sont déployés à grande échelle, ils deviennent des cibles particulièrement attractives pour des actes de malveillance informatique. En effet, ces systèmes présentent généralement des surfaces d'attaques extrêmement larges. Ils offrent de multiples possibilités pour les hackers qui réalisent leurs attaques à distance. Ce type d'attaque offre des possibilités d'exploitation et de « monétisation » particulièrement attractives. Les erreurs d'architecture, de conception ou de configuration sont à la source de la grande majorité des problèmes de sécurité informatique pouvant être exploités par des attaques. Les systèmes d'exploitation, les intergiciels ainsi que les plateformes logicielles sont ainsi au cœur de cette probléma-

tique. En effet, les éditeurs rencontrent des difficultés extrêmes pour développer ces logiciels complexes, piliers des infrastructures numériques, avec une qualité s'approchant autant que possible du zéro-défaut.

L'acceptabilité sociale de la transformation numérique dépend de l'intégration, à des coûts industriels supportables, de technologies logicielles et matérielles permettant de répondre aux cyber-risques. La prévention des nouvelles cyber-menaces rendent cependant nécessaire la prise en compte des risques de sécurité dès la conception des logiciels et matériels. C'est ce que l'on nomme la « **Security by design** ». Laquelle ne peut être obtenue sans un suivi strict des processus de conception et le respect de bonnes pratiques. Plus fondamentalement, cela nécessite la capacité, rare, à prouver formellement et à auditer le respect de propriétés de sécurité présentées par des solutions qui sont à la racine des développements de sys-

tèmes complets. Dans ce domaine de la validation formelle, la France dispose de compétences au meilleur niveau mondial.

Cependant, dans un contexte où les balances des paiements du numérique française et européenne sont déficitaires, l'élaboration des infrastructures de la société numérique repose sur l'importation massive de produits non conçus en Europe. Ceci accentue la fragilité de ces infrastructures face à des cyberattaques tout en créant un déficit important de souveraineté quant à leur maîtrise.

L'Intelligence Artificielle comme facilitatrice de la transformation numérique

L'Intelligence Artificielle connaît actuellement un regain d'intérêt extrêmement important, largement relayé et amplifié par les GAFA⁵ américains ou leur concurrents chinois BATX⁶. Cette tendance récente s'explique en grande partie par une avancée technologique : un ordinateur standard peut être doté de capacités d'apprentissage automatique réalistes. Dès lors qu'on dispose des quantités de données utiles et de puissance de calcul nécessaires, le modèle d'apprentissage par réseaux de neurones artificiels devient efficace.

De nombreuses études, et plusieurs rapports contenant des recommandations, ont été consacrés au domaine de l'Intelligence Artificielle. Ici, ne sont évoqués que les rôles que peuvent jouer les techniques de l'Intelligence Artificielle au sein des mondes « réel augmenté » et des « nouveaux

intermédiaires » (cf. le modèle décrit en 2.1.), lieux privilégiés d'effets majeurs.

Nous en résumons ainsi les usages les plus fréquents.

Dans le « monde « réel », l'usage de la langue naturelle et de la parole va permettre de faciliter la relation des individus avec les machines et donc de démultiplier ces relations. Les possibilités offertes par la vision par ordinateur rendront possibles l'analyse et la compréhension des « images » de la vie réelle. Ces analyses, le plus souvent réalisées par des intermédiaires, pourront fournir par exemple des éléments de navigation à des objets mobiles et dotés d'une certaine forme d'autonomie. Elles vont aussi permettre d'automatiser des fonctions d'acquisition de connaissances, de contrôle, d'inspection ou encore de diagnostic. Et ce, par exemple, dans les domaines de la production industrielle ou de l'imagerie médicale.

Dans le monde des « nouveaux intermédiaires », les données captées dans le monde réel seront transformées en connaissances, et deviendront sources de multiples valeurs ajoutées. Les techniques utilisées relèveront alors de diverses méthodes de gestion des connaissances, de raisonnement automatique sur ces connaissances ou d'apprentissage artificiel pour « connaître » le comportement futur d'un objet, d'un individu ou l'évolution d'un phénomène. Dans l'ensemble du document, la notion d'apprentissage est vue comme un outil au service de la notion plus générale d'informatique prédictive.



5. GAFA : Google, Amazon, Facebook, Apple

6. BATX : Baidu, Alibaba, Tencent et Xiaomi.

04

L'industrie du numérique en France, éléments de diagnostic

Le bouleversement de la chaîne de valeur de l'industrie informatique

Les développements informatiques nouveaux sont susceptibles de tirer une demande importante pour des produits logiciels et matériels innovants et les services associés. En témoignent les nombreuses analyses de marché qui promettent des croissances moyennes à deux chiffres pendant plusieurs années dans les domaines de l'Internet des Objets, du Big Data, du Cloud ou encore de l'Intelligence Artificielle.

Mais des changements profonds sont en cours qui peuvent impacter la structure même du marché informatique et l'activité des acteurs qui y opèrent. Pour évoquer ces changements, il est utile de revenir sur la chaîne de valeur traditionnelle de l'Informatique, telle qu'elle est décrite de manière simplifiée en figure 7.

Jusqu'au milieu des années 80, toutes ces étapes de la chaîne de valeur pouvaient être intégrées au sein d'un même entreprise, d'un même constructeur informatique. Les besoins en informatique se sont progressivement exprimés partout dans le monde, les constructeurs en place ont tenté de produire les volumes nécessaires pour l'ensemble des marchés.

Compte tenu des coûts encourus en développement sur chaque segment de la chaîne de valeur, les constructeurs ont été contraints de se spécialiser. Certains ont disparu. Des nouveaux acteurs sont nés. Intel produit et vend des processeurs, IBM des serveurs, Dell des PC, Microsoft des systèmes opératoires, Oracle et IBM pour les intergiciels, etc.

A chaque segment son acteur dominant et ses produits comme standards de fait. Des solidarités objectives se sont développées entre certains d'entre eux. L'exemple emblématique en est le couple « WinTel », pour les microprocesseurs Intel au service du système opératoire Windows. De telles « alliances de fait » réduisent d'autant les possibilités d'accès au marché pour d'autres intervenants.

Les ruptures technologiques mises en lumière au début de ce chapitre forment toutefois un nouveau contexte de concurrence, sources d'opportunités pour certains.

- **Les microprocesseurs.** Le domaine des microprocesseurs est confronté, avant les autres, aux limites imposées par la physique dans la recherche de la performance. Les fabricants qui opèrent sur ce marché connaissent les

Figure 7 - La chaîne de valeur traditionnelle de l'informatique : du processeur au service



premiers une certaine turbulence. Intel, tout en conservant son leadership, réduit ses effectifs au niveau mondial. En 2015, l'entreprise a fait l'acquisition d'Altera, fournisseur de « field-programmable gate array » (FPGA). Intel complète ainsi son offre de processeurs universels par des accélérateurs reprogrammables spécifiques et moins consommateurs d'énergie. NVidia, fournisseur de processeurs, de cartes graphiques et de puces graphiques, s'appuie sur des unités de calcul vectorielles. Ces dernières, qui réunissent parallélisme massif et faible consommation, sont particulièrement efficaces pour certaines applications, comme celles de l'apprentissage artificiel. Le concepteur britannique de processeurs ARM, sûrement à ce stade le plus grand concurrent d'Intel, a été racheté en 2016 par Softbank un des principaux investisseurs japonais et plusieurs projets de nouveaux processeurs de grande puissance s'appuyant sur l'architecture ARM existent dans le monde. En 2015, IBM a vendu son activité de fabrication de semi-conducteurs à Globalfoundries, l'ancienne unité de fabrication de circuits intégrés d'AMD.

- **Les ordinateurs haute-performance.** En matière d'ordinateurs de haute performance de nouveaux usages apparaissent, soit vers de nouveaux domaines comme les Sciences Humaines et Sociales ou l'aide à la décision⁷, soit via les Big Data ou, plus récemment encore, au travers de l'apprentissage artificiel. Ces nouveaux usages étendent considérablement le marché des machines et logiciels de haute

puissance ; l'intérêt des PME pour l'utilisation du calcul intensif, notamment au service des nouveaux usages commence à devenir significatif ; le recours à des outils de type cloud augmente. Cette tendance est confirmée par les chiffres fournis par les analystes du marché mondial. Ainsi le segment des supercalculateurs a fait un bond de 26% en 2016 par rapport à 2015, ceci s'inscrivant dans le cadre d'une croissance annuelle moyenne autour de 7% pour la période 2017-2021. Dans ce contexte, la position occupée par Atos/Bull, qui fait de la France l'un des 4 pays au monde, avec les USA, le Japon et la Chine à développer les technologies de la haute performance, est un atout essentiel pour la maîtrise de la transformation numérique.

- **Les logiciels de base.** Qu'il s'agisse des systèmes d'exploitation ou des intergiciels de toute nature, l'existence de solutions open source sérieuses et largement validées diminue la dépendance vis-à-vis des acteurs dominants. L'accès à ces logiciels open source réduit considérablement les coûts de conception et de fabrication de systèmes de traitements numériques logiciels et matériels. Ils favorisent ainsi chez de nombreux entrepreneurs le développement d'innovations sinon inatteignables.

La mutualisation des fonctions communes aux différentes applications sous forme d'architectures de services (ou micro-services) accessibles en ligne est une source importante de productivité du logiciel. Un système d'information doté d'une telle

Figure 8 - La nouvelle chaîne de valeur de l'informatique : de l'infrastructure à la solution



(*) La plateforme générique contient les systèmes opératoires et les intergiciels permettant d'abstraire les ressources physiques pour faire apparaître des services de haut niveau de calcul, de communication et d'archivage
 (***) La plateforme spécifique contient les services propres au développement d'un système d'information spécifique à un domaine d'application.

architecture renforce sa capacité d'évolution pour assurer aisément de multiples fonctions. Dans chaque domaine applicatif, une telle architecture peut devenir une **architecture de référence** ouverte à l'accueil de diverses applications d'origines variées. Certaines entreprises de services ou de produits informatiques proposent déjà de telles architectures de référence au profit des industries de santé, de la fabrication ou du bâtiment. A ce stade, aucun « dominant design » ne s'est imposé.

L'ensemble de changements décrits nous conduisent à faire évoluer la représentation de la chaîne de valeur informatique comme en figure 8.

L'élaboration et l'opération de solutions numériques peut amener à une réintégration au sein d'un opérateur de service Cloud de plusieurs étapes de la chaîne de valeur. En effet, l'utilisateur potentiel recherche une économie de coût, une facilité d'usage accrue, des performances et une sûreté de fonctionnement améliorée. Les choix technologiques qui ont guidés son élaboration lui importent moins. Ainsi Google conçoit et intègre au sein d'une même offre des serveurs, des logiciels de base et des applications de son cru. Cette tendance est guidée par l'optimisation des marges de certains opérateurs de Cloud.

Encadré 2 - Hyperscale computing : vers une convergence des architectures de clouds et de supercalculateurs

Les architectures de cloud futures qui relèvent du concept d' « **Hyperscale computing** » et celles des **Supercalculateurs** apparaissent converger. En effet l'architecture des clouds futurs doit être capable d'accepter une demande croissante d'hébergement sans que la satisfaction de cette demande se traduise immédiatement en accroissement des volumes immobiliers nécessaires à cet hébergement. Ceci conduit à une **densité** de plus en plus grande des machines. Pour répondre à une demande de performances accrues des applications, ces architectures de clouds doivent par ailleurs offrir à ces applications, une « **scalabilité** » une croissance modulaire « transparente » qui, parallélisme oblige, va s'exprimer en termes de (cœurs de) processeurs supplémentaires, de mémoire supplémentaire, de capacité d'archivage supplémentaire. Ces deux caractéristiques sont justement celles qui caractérisent globalement un supercalculateur par rapport à une simple mise en réseau de serveurs et de dispositifs de stockage du commerce.

7. Que cela soit dans le cadre de la gestion par les pouvoirs publics de risques naturels, industriels, biologiques ou liés au (cyber)terrorisme

La nature des infrastructures matérielles et logicielles mises en jeu chez un opérateur de Cloud rétablit alors cette informatique au sein d'une industrie de biens d'équipements pour laquelle la France dispose de nombreux atouts de savoir-faire.

En France

La France fait partie de la poignée de pays capables d'être au tout premier rang en matière de conception et de commercialisation d'architectures d'ordinateurs à haute valeur ajoutée, c'est-à-dire des supercalculateurs car elle maîtrise toute la chaîne de valeur nécessaire.

Dans le domaine des microprocesseurs les compétences existent soit au sein de d'entreprises comme ST-Microelectronics, Bull (Atos), ou encore le CEA-LETI. Les résultats obtenus par une petite entreprise comme Kalray montrent que l'objectif de conception de nouveaux processeurs est atteignable par notre pays.

En matière d'élaboration de grandes infrastructures numériques soulignons que nous disposons en France de très grandes sociétés de service comme Atos, Cap Gemini et autres qui se situent aux meilleurs rangs mondiaux.

Par ailleurs, le succès d'entreprises comme Dassault Systèmes, ESI group, ou encore Criteo démontrent que sur certains créneaux (l'ingénierie ou l'intermédiation marketing), des leaders mondiaux peuvent émerger en France. Ceci ne doit pas cependant masquer une réalité qui fait que nous ne disposons pas en France de leader généraliste de taille mondiale producteurs de logiciels ou de services en ligne.

Dans le domaine de la sécurité, les technologies matérielles maîtrisées par Gemalto (Thales) ou les technologies logicielles de validation formelle de sécurité maîtrisées par Prove&Run sont des atouts majeurs.

La France dispose aussi de grands groupes capables de tirer en avant le processus d'« augmentation » du monde réel tel qu'il a été décrit et ceci dans des domaines aussi variés que l'industrie aéronautique, l'automobile, l'énergie, le génie civil, les transports, etc.

Elle dispose aussi d'infrastructures de calcul et de stockage de données nationales, mutualisées et disponibles pour la recherche ou l'industrie telle que celles proposées par GENCI, par le CCRT du CEA, ou encore Teralab de l'Institut Mines/Telecom.

La vitalité et la créativité des petites entreprises capables d'inventer les objets connectés les plus innovants et regroupées sous le label *FrenchTech* démontrent aussi notre capacité à jouer un rôle important dans l'augmentation du monde réel. Il est donc surprenant qu'en robotique la France manque d'acteurs significatifs, l'entreprise pionnière Aldebaran ayant été rachetée par le Japonais Softbank.

Dans le concert des nations, la France possède des atouts considérables, malgré les manques cités. Si l'Allemagne dispose avec SAP de l'une des plus grandes entreprises de logiciel professionnel de gestion, aucun pays d'Europe ne dispose de l'ensemble des compétences qui viennent d'être évoquées. Dans le monde, au-delà des Etats Unis, de la Chine et du Japon, aucun n'est aussi bien

doté. Faire de la France un leader mondial de la transformation numérique passe par l'exploitation de l'ensemble de ces capacités.

05

Dix recommandations

Un cadre partagé

De multiples actions, initiatives, rapports, programmes ont été déjà lancés par la puissance publique que ce soit au niveau Français ou Européen afin d'anticiper, préparer, maîtriser, faciliter des éléments de la transformation numérique. Ainsi on peut répertorier dans notre pays des actions qui concernent des secteurs économiques comme l'Industrie du Futur, ou encore des Technologies comme l'Internet des Objets, les Systèmes Embarqués, les Supercalculateurs, les Big Data ou l'Intelligence Artificielle. Au niveau Européen l'aspect technologique de la transformation numérique se trouve traité au sein du programme Horizon 2020 et des aspects réglementaires, comme la directive Européenne régissant l'usage des données privées, voient le jour dans le cadre des initiatives qui visent à établir le « Digital Single Market ». Des actions comme la « European Cloud Initiative »⁸ et plus récemment EuroHPC⁹ consacrent par ailleurs la volonté de l'Union Européenne de soutenir l'utilisation de supercalculateurs de très haute puissance et leur conception.

Les recommandations qui suivent sont déduites du scénario de transformation décrit au chapitre précédent. Elles sont génériques et portent donc particulièrement sur des aspects de politique industrielle communs à plusieurs secteurs de l'Industrie ou de l'Etat. Par ailleurs ces recommandations s'appliquent plus spécifiquement au développement de la partie purement numérique du modèle de transformation c'est-à-dire la partie concernant

le « monde des nouveaux intermédiaires ». En effet c'est dans ce monde qu'une part décisive de la création de valeur de la société numérique va s'opérer et ceci de manière holistique.

Ainsi par rapport à des recommandations existantes ou à venir et propres à certains secteurs industriels, certaines technologies ou certains aspects réglementaires, les propositions qui sont émises visent à renforcer certaines de ces recommandations, les compléter voire les généraliser ou en rajouter de nouvelles spécifiques de l'approche suivie.

Les mesures préconisées ont pour ambition d'accompagner voire accélérer la transformation vers une Société plus numérisée. Ces mesures reposent donc sur un certain nombre de principes destinés à favoriser l'acceptabilité de ces mesures par le plus grand nombre, maximiser les retombées économiques et sociales au niveau français ou européen, conférer à notre pays les moyens de maîtriser son propre futur et sa souveraineté.

De l'analyse qui précède, nous déduisons les principes suivants à partir desquels développer des pistes d'actions souhaitables :

- **Premier principe. Initier le cercle vertueux de la confiance**, d'abord par le consensus entre les acteurs concernés, privés ou non, et par la démonstration expérimentale des bénéfices attendus pour le plus grand nombre. Ce consensus et ces expérimentations constitueront ensuite des bases pour la mise en

8. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/%20european-cloud-initiative>
9. <http://eurohpc.eu>

œuvre de bonnes pratiques, de certifications, de standards utiles et de régulations adaptées. Ces derniers éléments participent au développement de la confiance, laquelle favorise en retour à la création de marchés de taille suffisante. Le potentiel des marchés attire des investisseurs, lesquels misent sur la confiance en même temps qu'ils la renforcent. Ainsi, par exemple, pour la mise sur le marché d'avions à commande numérique et non mécanique, des critères normalisés de certification des logiciels embarqués ont été élaborés par les industriels de l'aéronautique. Il se pourrait enfin que cette dynamique positive de la confiance ait une vertu supplémentaire : contenir l'irruption des grandes entreprises transnationales, souvent hégémoniques.

- **Deuxième principe. Accélérer la modernisation des entreprises** potentiellement utilisatrices des solutions numériques proposées, ainsi que celle de l'Etat et des collectivités publiques. L'effet sur la compétitivité des sites nationaux en sera démultiplié.
- **Troisième principe. Favoriser le développement d'entreprises productrices de technologies ou de solutions numériques** existantes ou nouvelles et créatrices d'emploi ;
- **Quatrième principe. Assurer la maîtrise des technologies considérées comme stratégiques pour le pays** pour conduire et tirer parti de la transformation numérique et assurer notre souveraineté.
- **Cinquième principe. Disséminer, par la formation initiale ou continue, la compréhension générale des transformations en**

cours et former les experts pour développer les technologies les plus pointues ainsi que les usages les plus avancés. Cet effort de formation doit avoir pour effet d'un part d'alimenter les filières du numériques qui pourront ainsi trouver des profils de haut niveau nécessaires à leur développement. Pour ceux qui ne se destinent pas à la filière du numérique cette formation devra donner les clés de la compréhension du monde numérique nécessaires à l'établissement de la confiance et d'un développement contrôlé et éthique de ces transformations numériques.

- **Sixième principe.** Rendre accessibles au plus grand nombre et en particulier à toutes les entreprises les moyens les plus avancés de calcul et d'archivage de données. Le déploiement d'une politique active de couverture de la quasi-totalité du territoire national par des communications fixes ou mobiles à haut débit en est le complément indispensable.

Faire de la France un leader industriel du numérique

Sur la base des principes qui viennent d'être énoncés et du scénario de transformation qui a été exposé **10 recommandations** principales ont été retenues.

Recommandation 1. Développer une recherche intégrée d'excellence sur l'ensemble de la chaîne de valeur du numérique

Compte tenu des nombreuses ruptures technologiques en cours, des innovations radicales qui voient le jour, les recherches en informatique au service de la transformation numérique jouent un rôle clef

pour fonder sur le moyen / long terme toute politique industrielle du numérique. Ces recherches concernent aussi bien les capacités d'augmentation du monde réel, que le développement des Télécommunications ainsi que les nouvelles fonctionnalités offertes par le nouveau monde des intermédiaires. Elles constituent l'une des briques majeures du socle de la compétitivité de la France et de l'Europe. Dans ce domaine en évolution rapide, les modalités du financement et de définition des contenus des programmes de recherche doivent aussi pouvoir faire preuve d'agilité. Aux chercheurs du large spectre des champs scientifiques et techniques concernés, doit être fournis un cadre incitatif clair, favorisant le mouvement et les alliances originales. De ces prémisses, nous déduisons deux « pistes d'orientation ».

Mesure 1.1 : Repenser les équilibres existants et les périmètres des diverses sous disciplines de recherche en Informatique et Numérique et mieux les intégrer

Les cinq principes d'action suivants méritent d'être mis en avant afin de conduire cette réflexion :

- Une recherche fondamentale significative et mobilisatrice doit être mise en œuvre pour inventer les matériaux, les modèles et usages futurs du calcul informatique. Parmi les pistes explorées, le calcul quantique représente une alternative sérieuse. Mais cette piste n'est très probablement pas unique et des approches relevant des sciences du vivant sont aussi à considérer. Cette recherche, exploratoire, doit impliquer des physiciens et des biologistes, des mathématiciens et des informaticiens.

- Mathématiciens, statisticiens, informaticiens et utilisateurs finaux doivent être fédérés au sein de projets intégrés concrets (pilotes), notamment pour fonder les approches de l'apprentissage automatique et de l'Intelligence Artificielle et articuler les diverses méthodes de l'Informatique prédictive. De plus la nécessité de disposer d'algorithmes de prédiction « explicatifs » va requérir une recherche de haut niveau pour établir les bases de la conception de ces algorithmes.
- Compte tenu de l'impact économique de la transformation Numérique sur notre société, la recherche technologique et le transfert de connaissances doivent bénéficier d'un soutien renforcé.
- Y compris dans la poursuite des activités de recherche en informatique, la séparation classique entre logiciel et matériel doit être abandonnée. Lors de la création de nouveaux concepts ou dispositifs, les chercheurs doivent prendre en compte au sein même de leurs processus de découverte ou d'invention les possibilités offertes par des architectures matérielles nouvelles ou encore des circuits intégrés spécialisés et vice versa. Cette approche, dite de « co-design », doit se substituer à l'hypothèse implicite souvent faite du recours à du logiciel séquentiel classique s'exécutant sur une machine banalisée de type PC ou serveur de bas de gamme. En particulier la création d'algorithmes pour prendre en compte le parallélisme massif, ainsi que d'outils logiciels de développement et de langages de programmation facilitant l'emploi de ce parallélisme, est absolument fondamentale.

- L'invention de nouvelles solutions réalistes comprend une part d'expérimentation de plus en plus grande ; c'est en particulier vrai pour la découverte des nouveaux algorithmes de l'informatique prédictive, leur passage à l'échelle et la qualification des données qu'ils utilisent. Les chercheurs en Informatique doivent donc adapter dans ce sens leurs méthodes et solliciter bien plus largement des grandes infrastructures de calcul comme celle de GENCI (Grand Equipement National de Calcul Intensif), du CCRT (Centre de Calcul de la Recherche Technologique) du CEA ou dans le domaine des Big Data la plateforme Teralab de l'Institut Mines/Telecom ou des centres de compétences comme la « Maison de la Simulation » à Saclay.

Enfin, il serait vertueux d'orienter nettement les programmes de travail des recherches en Sciences Humaines et Sociales vers les enjeux socio-économiques de la transformation Numérique afin de promouvoir des approches multi disciplinaires, intégrant ainsi les impacts comportementaux et l'appropriation des nouvelles technologies et usages.

Mesure 1.2.
Adapter les méthodes de la recherche au modèle de la transformation Numérique

La transformation Numérique va bouleverser un grand nombre d'habitudes de la vie quotidienne aussi bien que la plupart des processus industriels et administratifs. La recherche publique ne peut être tenue à l'écart de ce changement. Ainsi chaque secteur de cette recherche doit opérer une réflexion stratégique sur la manière de tirer parti des opportunités offertes notamment par l'ensemble des méthodes de l'informatique prédictive, ainsi que

par l'accès à des infrastructures importantes de calcul comme celles de GENCI.

Recommandation 2.
Amplifier le développement des nouveaux circuits économiques

Le développement d'activités économiques via des plateformes intégratives et collectives résulte très directement du processus de transformation numérique. Il lui est donc intimement associé. La généralisation de ce principe d'organisation des activités économiques est donc inéluctable et va accompagner la transformation. Ainsi il convient que l'ensemble des acteurs concernés, l'Etat, les entreprises et les collectivités locales se préparent activement à cette éventualité. Les auteurs renvoient aux deux références suivantes pour des recommandations à caractère économiques ou réglementaires :

- On trouvera dans les articles et ouvrages de Jean Tirole une analyse fine du fonctionnement des plateformes bifaces (cf. par exemple, *L'économie du bien commun*, 2016, chapitre 14). La principale prescription à l'attention du régulateur qui en découle est de se garder de tout jugement à l'emporte-pièce. L'application mécanique des principes standards du droit de la concurrence risque fort d'aboutir à des erreurs. Jean Tirole et ses confrères recommandent donc au régulateur de diligenter, auprès d'une autorité indépendante, une analyse économique propre à examiner les éventuelles conséquences multiples du marché biface concerné. La distorsion de concurrence n'est pas automatique. Et, si elle existe, elle ne relève pas forcément d'une même catégorie de dysfonctionnement. Elle n'appelle donc pas le même type de sanction.

- Vingt-et-une (21) propositions, à caractère essentiellement juridique, sont faites à ce sujet dans « Puissance publique et plateformes numériques : accompagner l'"ubérisation" », l'Etude annuelle du Conseil d'Etat (*La Documentation Française*, 2017). Elles visent à favoriser le développement de l'économie des plateformes et à tirer les conséquences sociétales de l'« ubérisation » sur l'organisation et le fonctionnement des pouvoirs publics.

Nous inspirant des travaux cités ci-dessus, il importe de rappeler quelques principes, susceptibles de fournir des bases à l'action, publique et privée :

- Toute entreprise doit dans un premier temps développer une analyse sur les données qui seront à terme au cœur de son activité économique ; les entreprises devront ainsi distinguer les données qui leur seront stratégiques de celles qui pourront être partagées ou faire l'objet d'échanges commerciaux ; sur cette base elles devront repenser l'évolution de leur activité à la lumière des nouvelles opportunités créées par l'usage de plateformes collectives et intégratives ; la diffusion large de l'information sur ce thème doit être organisée systématiquement par l'Etat, les syndicats et filières professionnelles, les CCI, les régions et départements, etc.
- Selon des conditions adaptées à leur taille, les PME doivent avoir accès à des offres d'hébergement de données et de développement logiciel de plateformes. La puissance publique, nationale ou locale, doit être attentive à l'existence de ces offres ou les inciter à exister.
- Les investisseurs publics (comme BPI-France) ou privés doivent s'assurer que les

dossiers qu'ils soutiennent présentent bien, lorsque cela est possible, des modèles d'affaire qui supposent l'existence de plateformes collectives et intégratives.

Mesure 2.1.
Des plateformes au service des circuits courts

Le modèle de ré-intermédiation proposé par les plateformes peut soutenir des circuits courts entre vendeurs et acheteurs, offreurs de services/produits et demandeurs. C'est une opportunité importante. L'acteur public, à l'échelon local ou national, a tout intérêt à encourager le développement de plateformes favorisant une activité artisanale locale ou assurer des débouchés mieux valorisés à des exploitations agricoles petites ou moyennes.

Mesure 2.2.
Favoriser, par l'ouverture des données publiques, une exploitation démocratique du « capital données » des territoires

Dans le cadre du modèle de ré-intermédiation, la disponibilité de données adaptées à la création ou à la croissance d'une activité est fondamentale. A l'issue de la mise en œuvre de la politique « d'ouverture des données publiques » (**open data**), les données forment un véritable patrimoine qui peut être utilisé au service de la communauté qui a permis de constituer ce patrimoine. Il est donc crucial que cette politique d'ouverture des données publiques menée au niveau national ou local ne mène pas à une dilapidation de ce capital. Des partenariats public-privé de différentes formes peuvent alors être efficaces pour le développement, ou l'amélioration, des services publics dans les collectivités locales. Dans cette perspective, il est

possible de plaider pour un nouveau modèle économique de valorisation des territoires au travers d'une **Délégation de Service Public de la donnée (DSPD)**¹⁰. La délégation de service public est une forme juridique adaptée à l'échelle d'un département français, par exemple pour l'eau, le gaz ou l'électricité. Ce mode d'organisation, s'il est conduit avec discernement, permettra de concilier un meilleur contrôle des échanges d'informations en temps réel qui ont une finalité publique. Il permettrait ainsi d'organiser le contrôle des flux de données à l'échelle territoriale. La confidentialité des échanges et la protection des utilisateurs en seraient renforcées. La DSPD offre une chance de soustraire les flux de données concernés aux acteurs tels que les GAFAs surtout si ce principe est étendu rapidement au niveau européen et qu'elle est mise en œuvre au profit d'opérateurs privés européens sous contrôle démocratique. Tout type d'échange d'information en temps réel dont la finalité sert à terme un intérêt collectif pourrait être concerné. Des pilotes pourraient être lancés qui porteraient par exemple sur des échanges « temps réel » relatifs aux flux d'énergie électrique au bénéfice des usagers et des opérateurs de réseaux électriques.

Recommandation 3. Contribuer à l'émergence des usages et marchés de l'Informatique prédictive

L'Informatique Prédictive et Contributive (au sens défini au Chapitre 3) devient un vecteur majeur de la création de valeur de la société numérique. Son appropriation par la société et la généralisation

de son usage en France au service de la compétitivité des entreprises, de l'amélioration de la qualité du service public et du bien-être des citoyens constituent par conséquent des enjeux cruciaux. Le renforcement d'acteurs capables de concevoir et commercialiser les solutions les plus avancées doit être un objectif prioritaire d'une politique industrielle du numérique. Il s'agit alors de favoriser la modernisation des intégrateurs de systèmes sociétaux qui existent et le développement de nouveaux. Les domaines où l'apport de l'Informatique Prédictive et Contributive sont susceptibles d'être les plus importants sont : la santé, la mobilité, la ville intelligente, l'alimentation, l'environnement, l'énergie et la défense. Les impacts des prédictions peuvent y être considérables aux niveaux individuel et des organisations. Pour mettre en œuvre la recommandation 3, nous suggérons les trois mesures suivantes :

Mesure 3.1 Créer un centre d'essais et de formation en Informatique prédictive et contributive par grand domaine sociétal

Regroupant un très grand nombre d'acteurs, chaque centre aurait vocation à :

- élaborer de manière consensuelle, des processus à la fois fiables, efficaces et éthiques pour collecter, traiter ou partager des données,
- permettre la validation, la certification des algorithmes nécessaires au développement d'un usage particulier.

Chaque centre d'essai doit ainsi:

- être spécialisé par domaine afin de pouvoir assurer la pertinence, le réalisme, la crédibilité des méthodes employées en leur incluant les connaissances scientifiques du domaine ainsi que le savoir-faire métier.
- fournir aux acteurs concernés l'accès à la puissance de calcul nécessaire ainsi qu'à une infrastructure d'archivage de données adaptée.
- réunir en premier lieu les industriels du domaine ainsi que les acteurs de terrain concernés de l'administration si nécessaire, mais aussi des experts du domaine issus de la recherche publique ainsi que des chercheurs en mathématique, en algorithmique et en informatique.
- comporter, au sein de son écosystème, des entreprises informatiques afin d'assurer l'industrialisation des résultats obtenus, vis-à-vis d'entreprises métier participantes au centre d'essai et dont ce n'est pas la vocation que de faire vivre des produits et services logiciels.

Ainsi défini, un centre d'essai agglomère des compétences rares à un moment donné. Un tel regroupement devrait avoir un rôle dans la définition des programmes de formation ainsi que la formation des formateurs. Au-delà, l'engagement des industriels concernés s'avère un prérequis majeur de la bonne efficacité d'un centre d'essai. Leur implication en leur sein favorise, et c'est essentiel, le développement de normes communes, propres à enclencher des dynamiques locales – i.e. à leur présence sur le territoire européen. Aussi, un mécanisme vertueux de création de la confiance autour des données naît qui esquisse le développement de marchés de tailles critiques.

Mesure 3.2. L'Etat et les collectivités locales, moteurs exemplaires de l'emploi de l'informatique prédictive et contributive

Les institutions publiques nationales ou locales sont incitées à déployer des méthodes de personnalisation de masse dans leurs services aux usagers. Ces méthodes leur permettraient de faire face aux défis sociétaux, démographiques ou environnementaux de demain tout en prenant en compte les besoins, contextuels, de chaque citoyen. Cette capacité « à faire face » nécessite que les services publics s'équipent d'un socle facilitateur du déploiement d'une instrumentation active et réfléchie la plus large possible. Une telle plateforme viserait à recueillir l'ensemble des données nécessaires à la mise au point d'outils génériques capables d'exploiter les informations collectées à des fins multiples. Au niveau de la ville par exemple un tel socle permettrait de progresser dans la qualité des services urbains pour chaque citoyen : améliorer sa mobilité, optimiser sa consommation d'énergie, faciliter l'orientation en matière de formation spécifique, personnalisation des accès aux services publics (ou privés), etc.

Mesure 3.3. Concevoir les approches retenues en France comme des actions européennes

Dans un certain nombre de secteurs économiques qui recouvrent les « grands domaines sociétaux » évoqués ici, les instances européennes ont, à l'occasion d'*impact assessments* par exemple, parfois mobilisé les outils de l'analyse économique. A l'occasion, il a alors été montré que les conditions d'une concurrence non faussée n'étaient pas tou-

10. Cf. La présentation de P. Bourguignon (ENGIE LAB/ ITEA3) lors des travaux du groupe de travail ANRT FutuRIS, le 22 novembre 2017.

jours réunies. Plusieurs types de biais, perturbateurs du jeu de la concurrence, ont été mis en avant. Traditionnellement, est évoquée la défaillance de marché (*market failure*) ; plus rarement, la défaillance systémique (*systems failure*). Sans entrer plus avant dans le détail des argumentations, pointons seulement que les causes de dysfonctionnement ont souvent trait aux asymétries d'information. Dans des domaines comme la santé ou le transport, des différences de réglementations d'un Etat membre à l'autre conduisant à des segmentations préjudiciables ont pu être décelées.

Le lancement de nouveaux services et produits **d'informatique prédictive** et contributive pourrait fournir l'occasion de corriger certaines de ces défaillances, accélérant ainsi l'avènement du marché unique numérique Européen. En effet, interopérabilité aboutie et partage d'ontologies soutiennent les efforts des entreprises pour recueillir et mobiliser les très grandes quantités de données d'origines variées nécessaires à la pertinence de leurs algorithmes. Il en est de même pour construire des solidarités objectives autour des méthodes de certification/validation évoquées plus haut.

Recommandation 4.
Capitaliser sur les initiatives en faveur de l'industrie du futur ou de l'IoT grand public... en soutenant aussi la création de valeur à partir des données et en assurant la cohérence de l'action publique

De nombreuses initiatives gouvernementales visent à développer « l'augmentation numérique du monde réel », au travers de dispositifs « grand public » ou professionnels. L'attribution du label *Frenchtech*, la mise en place de programmes de R&D sur

l'Internet des objets, les systèmes embarqués ou l'Industrie du Futur en sont des illustrations

Lors de la mise en œuvre de ces actions, il convient aussi de soutenir le développement des activités qui relèvent du monde des intermédiaires. Les solutions du « monde réel augmenté » et celles de l'intermédiation se développeraient ainsi ensemble, enclenchant un cercle vertueux de création de valeur. D'une part, la valeur créée dans le monde réel peut être très largement accrue par le biais de services intelligents associés aux nouvelles données générées par l'innovation. D'autre part, le mode de commercialisation *via* des plateformes collectives et intégratives démultiplie l'impact de l'innovation sur le marché, tout en contribuant à maintenir et renforcer une position concurrentielle.

La prise en compte de ce potentiel de création de valeur *via* des services développés par des intermédiaires s'avère un facteur majeur d'efficacité des mesures mises en place. Ainsi, les cahiers de charges et règles de participation aux programmes soutenus par une telle politique industrielle du numérique gagneraient à expliciter ce critère d'impact. Cette évolution constituerait la traduction pratique et cohérente de l'adoption d'une vision commune de la transformation numérique. Laquelle s'appliquerait à tous les programmes publics, tels ceux de l'ANR ou du PIA, de soutien, maîtrise ou accélération de la transformation numérique. La transformation en cours n'est pas le fait de l'invention de telle ou telle technologie ou de la dissémination d'un usage nouveau. C'est bien l'intégration des mouvements de dissémination et de concentration qui produit la transformation.

Recommandation 5.
Créer un label de « logiciel sûr » pour garantir la confiance dans les logiciels critiques

Un **logiciel critique** est un logiciel dont le mauvais fonctionnement aurait un impact important sur la sécurité, la vie ou la réputation des personnes, des entreprises ou des biens. Ce dysfonctionnement peut être provoqué par des attaques, des pannes ou une utilisation dévoyée de données personnelles ou des usages non éthiques. La meilleure façon de combattre ces risques consiste à encapsuler directement dans le logiciel, lors de sa conception, le dispositif de sécurité.

Il serait souhaitable que la profession, au niveau français puis européen, s'organise pour lister les conditions que doit remplir un logiciel pour être véritablement qualifié de **sûr**. Les développeurs qui suivraient ces lignes de conduite pourraient obtenir un label de logiciel « **sûr par conception** » ou « **secured by design** ». L'« auditabilité » du logiciel doit faire partie des conditions d'obtention du label.

Le label devra ensuite être attribué par les services désignés, à l'échelle nationale et/ou européenne ou encore délégués à des organismes privés. On peut aussi imaginer avoir recours à des mécanismes d'auto-certification approuvés comme tels. S'il est certainement utile de réfléchir à des mesures complémentaires susceptibles d'apporter une confiance et une sécurité maximales aux systèmes numériques, la généralisation de la notion de « logiciel sûr » constitue toutefois une étape importante.

Recommandation 6.
Faire croître une industrie innovante des logiciels et services de la transformation numérique par la création d'écosystèmes adaptés

Les entreprises qui développent les nouveaux logiciels et services de la transformation numérique gagnent à s'insérer dans des logiques d'écosystèmes. Elles y partagent, selon des modalités choisies, un tronc commun de technologies, de standards, ou de services. L'appropriation des connaissances qui résulte de cette démarche volontaire, plus ou moins formalisée, est susceptible d'accélérer la mise sur le marché des innovations.

Par la fréquentation de l'écosystème, les clients acquièrent la confiance en les innovations qui y naissent. La masse critique autour du tronc commun ou le référencement par des grands comptes ont ainsi plusieurs effets très positifs : crédibilité et pérennité des solutions proposées, homogénéisation voire standardisation de fait des logiciels et des interfaces qui facilitent l'intégration au sein de leurs propres systèmes d'information.

Pour les fournisseurs de solutions, la capacité d'exploitation du tronc commun constitue un gain certain en matière d'investissement de R&D. De plus l'existence d'une importante communauté ainsi réunie, fournit aussi des gains appréciables en matière d'accès au marché pour promouvoir et distribuer produits et services.

Les mesures de la Recommandation 2 entendent encourager la création d'écosystèmes associés au développement de l'Informatique prédictive. La définition et l'instanciation des notions de jumeau numérique, d'ontologie ou d'architecture de réfè-

rence appliquées à tel ou tel usage ou domaine d'application constituent autant d'opportunités pour fédérer des communautés et constituer des masses critiques. L'*open source* de projets ou de sites constitue souvent un modèle pertinent pour organiser l'adoption et l'évolution collective des éléments fédérateurs évoqués.

Enfin, l'**extension de la portée** à une classe étendue de services, par exemple au domaine de l'énergie, de la **directive européenne sur les moyens de paiement** (« DSP2 », effective en France depuis le 13 janvier 2018) constituerait un facteur clé de propagation de cette recommandation. Cette directive impose aux banques et aux prestataires de paiement de permettre à des tiers d'accéder aux données de comptes bancaires au travers d'API. Ils sont alors en capacité d'offrir des services innovants, dès lors que le titulaire du compte donne son autorisation pour que ses données soient rendues accessibles à des tiers. Généralisé à d'autres domaines que le paiement, « ce déblocage » permettrait que se développe toute une industrie des logiciels et services de la transformation numérique par la création d'écosystèmes en créant par ailleurs une concurrence émulative entre propriétaires de données et offreurs de services.

Recommandation 7. Maintenir et renforcer la position française et européenne en matière de plateformes matérielles

L'accès à la haute puissance de calcul est une condition indispensable à l'épanouissement de l'informatique prédictive et contributive (Cf. 2.2.2.3).

Les plans gouvernementaux en matière de supercalculateurs ou d'« économie de la donnée » ont permis à France de revenir avec succès sur le marché mondial des plateformes matérielles de très haute puissance. Ainsi, en Europe, seule la France participe à la course planétaire à l'exaflops.

L'Union Européenne considère le calcul intensif, la maîtrise de ses technologies et usages, comme stratégiques pour la réalisation du Marché Unique Numérique. Des programmes¹¹ sont en préparation pour faire en sorte que l'Europe se dote de machines de classe « exaflopique », que le marché des usages s'étende considérablement et que la technologie européenne se développe. S'il convient que les acteurs français de la technologie et les utilisateurs du HPC participent activement à ces programmes, rappelons que la France demeure le seul Etat membre à disposer des ressources et compétences industrielles pour concevoir et réaliser des supercalculateurs. L'engagement pérenne de l'Etat Français est donc indispensable, et notamment en matière de soutien à la R&D pour les ordinateurs du futur.

L'industrie des semi-conducteurs se trouve à un moment clé de son histoire où de nouveaux types de processeurs vont être développés (cf. 3.2.). Il apparaît donc tout à fait nécessaire de saisir cette opportunité pour que la France et l'Europe retrouvent leur indépendance en matière de processeur. Il y a lieu d'explorer en même temps plusieurs voies complémentaires.

- La voie des processeurs universels à haut degré de parallélisme sur un même *chip* (puce électronique). Cette voie est indispensable à

suivre car toute machine se doit de pouvoir accueillir une partie de traitement totalement ouverte et non spécifique.

- Au-delà, les machines du futur susceptibles de faire usage de ces nouveaux processeurs devront en outre être enrichies ou complétées par des coprocesseurs ou sous-systèmes spécifiques dédiés à certains traitements et donc plus économes en énergie que des processeurs universels. Le critère d'économie d'énergies prendra donc encore plus d'importance. On peut ici penser aux traitements de nature vectorielle, tensorielle spécifiques à certaines structures de données ou encore spécifiques à la réalisation de fonctions complètes comme celles d'apprentissage automatique (puces « neuromorphiques ») ou encore de tableur par exemple.

Recommandation 8. Progresser vers un marché vertueux de la donnée

Les efforts d'analyse de notre groupe de travail se sont focalisés sur les fondamentaux des infrastructures sous-jacentes à la révolution numérique. A l'évidence, les données qui irriguent l'économie de la connaissance en sont la matière première et une source de création de valeur essentielle. Les données d'usages, qu'elles soient personnelles ou pas, sont d'une très grande variété, comme nous l'avons vu. Aussi, les conditions dimensions légales, réglementaires et politiques de leur circulation ont-elles fait l'objet de nos échanges.

En Europe, le Règlement européen sur la protection des données personnelles entrera en application le 25 mai 2018. Ce cadre commun harmonisé fait

partie des « briques » légales en faveur de l'avènement du marché unique numérique. Les droits des personnes à l'égard de leurs données doivent en sortir augmentés, notamment par la « portabilité » des dites données. Les entreprises qui manipulent ces données seront responsabilisées quant à leurs devoirs. Enfin, globalement, les autorités publiques nationales de protection des données pourront plus aisément coopérer.

L'accès aux données d'usage ou de comportement est unanimement considéré comme le nerf de la concurrence de l'économie de la connaissance. Les enjeux spécifiques des acteurs du numériques, selon leur position dans les chaînes de valeur et leur part de marché, varient donc. Ils sont alors amenés à développer des analyses qui diffèrent grandement. Ils envisagent ainsi, chacun à l'aune de leurs enjeux, la question de la souveraineté numérique.

Le nouveau règlement européen vise donc à unifier l'accès à des données personnelles en s'appuyant sur la notion de consentement renforcé, qui va de pair avec une transparence accrue. Selon l'autorité de protection française : « les utilisateurs doivent être informés de l'usage de leurs données et doivent en principe donner leur accord pour le traitement de leurs données, ou pouvoir s'y opposer. La charge de la preuve du consentement incombe au responsable de traitement. La matérialisation de ce consentement doit être non ambiguë. »

Dans une perspective neutre, technique, et limitée au consentement lié aux données personnelles, nous souhaitons attirer l'attention sur des outils *open source*, à l'efficacité avérée. Kantara User-Managed Access (UMA) constitue un protocole standard de gestion d'accès basé sur une méthode très largement diffusée de délégation d'autorisa-

11. Programmes EPI (European Processor Initiative) et EuroHPC

tion appelée OAuth. Il permet à un propriétaire de ressources numériques (données et programmes) de contrôler de manière très variée l'autorisation en ligne d'accès à ces ressources protégées lorsque la requête est faite par un demandeur autonome. UMA peut être couplé avec des mécanismes de reçu de consentement. Ce dernier peut être conditionné selon des usages et des objectifs les plus variés permettant de contrôler de manière efficace l'emploi de ce consentement que ce soit dans des domaines professionnels ou relevant de la vie privée.

S'il est absolument légitime de protéger chaque citoyen sur une utilisation abusive de ses données personnelles il convient aussi de faire en sorte que les régulations existantes ou à venir ne viennent pas limiter des usages innovants. Ainsi contraindre par la loi le cadre dans lequel peut être menée la collecte de données indépendamment de ses usages potentiels constitue un obstacle à l'innovation. Comme le recommande le rapport de l'Académie des Technologies sur l'Intelligence Artificielle (2018), il faut déplacer le concept de « finalité de la collecte » vers la « finalité de l'usage » et celui du « contrôle opérationnel » du processus de collecte¹² vers l'**auditabilité** du processus de traitement des données. Au paragraphe 3.1 nous avons souligné l'intérêt de développer par secteur économique et par les acteurs concernés des politiques spécifiques de collecte, de validation, d'usage et partage des données. En liaison avec l'Etat et le régulateur une telle **approche sectorielle** est probablement la seule voie qui conduise à une politique efficace tant en matière d'éthique et de limitation minimale des champs d'innovation.

Recommandation 9. Donner au citoyen les moyens de comprendre, l'armer face à l'évolution des métiers, former les experts

La transformation numérique s'accompagne de fortes mutations de la Société dans son ensemble. La nature de l'emploi ainsi que celle des métiers vont profondément évoluer.

Au-delà des sociétés savantes, des associations et des syndicats, les autorités publiques ont aussi un rôle à jouer, à travers une série d'actions pour faire la pédagogie de ce bouleversement du monde du travail. Tout citoyen doit pouvoir accéder à des ressources qui lui permettent de comprendre les transformations et d'en anticiper les conséquences dans son métier, tout au long de sa vie professionnelle. Il est nécessaire que chacun soit à même de s'approprier « la révolution numérique ». Une telle appropriation implique d'alerter, informer et former les jeunes générations à l'informatique. L'Education Nationale doit être mobilisée pour mettre de telles formations en place, **dans les cycles Primaire et Secondaire**, mise en place qui n'a que trop tardé.

Les universités et écoles d'ingénieurs sont aussi en première ligne lorsqu'il s'agit de contribuer au développement des compétences nécessaires progrès et à l'usage des technologies numériques. Une complémentarité importante est à attendre des formations en Sciences Humaines et Sociales. Les facultés concernées devraient être encore plus encouragées à mettre à leurs programmes des enseignements consacrés aux transformations

socio-économiques induites par la transformation numérique.

Le contenu des enseignements doit être du meilleur niveau et des investissements sont à prévoir en conséquence. L'informatique prédictive requière des approches rigoureuses, d'un haut niveau scientifique. En effet, il s'agit de prédire l'apparition de tel ou tel événement, rendre autonome le comportement de tel ou tel objet, optimiser le fonctionnement de tel ou tel système, changer les relations entre individus ou entre organisations. C'est un domaine où les connaissances évoluent vite, et dont le niveau ne cesse de s'élever. Former des « hackers » ne peut en aucun cas suffire. Mais il s'agit bien de former des individus ayant une vision systémique développée, une maîtrise très avancée de la modélisation et de l'algorithmique, ainsi que le sens des responsabilités. Un **Label de qualité** pourrait être attribué aux unités d'enseignement capables de démontrer qu'elles ont mis en place des processus appropriés, susceptible de développer ces capacités chez les étudiants.

Recommandation 10. Progresser et suivre l'avancement de la transformation numérique aux échelles nationale et européenne

Enfin, un dispositif paritaire de suivi de la transformation numérique, réunissant puissance publique, nationale ou locale, établissements de recherche, et entreprises du secteur, sera un facteur décisif de succès de notre pays en la matière. Il s'agit d'en identifier les différents effets et de se doter des indicateurs pertinents. Seule une approche en concertation public - privé est susceptible de déceler les difficultés, d'en orienter véritablement la progression, et d'impulser des changements.

Fruit du travail partenarial établi en concertation, ces indicateurs seront absolument adaptés au domaine du numérique. La contribution du Numérique à la croissance nationale ne peut plus être mesurée à l'aune des méthodes traditionnelles de calcul du PIB. Ces méthodes (paradoxe de Solow oblige) masquent cette contribution. Des efforts importants de redéfinition des éléments qui caractérisent la croissance sont à l'agenda des acteurs concernés (comptabilité et statistiques publiques).

Ce bouquet d'indicateurs pertinents devra profiter de la complémentarité avec le baromètre de l'ARCEP (Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes). L'ARCEP publie chaque année un baromètre du numérique. Héritier du monde de la téléphonie ce baromètre fournit des chiffres utiles en matière d'équipement du grand public, d'usage tout aussi grand public de l'Internet et d'achat au travers de ce media. Ce baromètre doit être largement étendu pour refléter l'ensemble de l'activité économique d'une Société Numérique.

Pendant cohérent et naturel à cette action menée à l'échelle nationale, **une mission permanente de représentation unique** des orientations convergentes des entreprises et des établissements de recherche du numérique, dans ses dimensions « hard » et « soft », pourrait utilement être **instituée auprès des instances européennes** afin de valoriser l'expérience nationale et assurer la dissémination voire l'appropriation large de ses orientations.

Soulignons enfin que la création d'une « **Journée Nationale du Numérique** » serait de nature à faire partager à l'ensemble de nos concitoyens les

12. Un tel contrôle supposerait un déterminisme qui est antagoniste avec certaines approches de l'informatique prédictive par exemple.

progrès accomplis, la compréhension globale de la Transformation Numérique et la motivation de chacun.

Remarque générale sur la mise en œuvre des recommandations

Dans de très nombreux endroits du monde des transformations sont en cours ; des positions industrielles sont déjà acquises. Il convient donc d'entamer de manière globale et coordonnée les changements évoqués ici et ceci de manière très rapide. Certes, plusieurs des transformations vont nécessiter des ajustements réglementaires ou sociétaux fins et complexes. Leur mise en œuvre va donc prendre du temps et va nécessiter de la constance dans le suivi et les décisions. Ainsi en est-il des recommandations 2, 8, 9, 10. Pendant cette période transitoire, il faudra permettre que soient menées des expérimentations et que des systèmes pilotes soient lancés afin de ne pas retarder l'acquisition de compétences et de connaissances et démontrer la pertinence de certains choix. En ce qui concerne les autres recommandations qui visent à développer une maîtrise technologique (recommandations 1, 3, 4, 7) ou encore construire des écosystèmes favorables à la croissance de certains secteurs comme la cybersécurité ou le développement logiciel, il convient là de ne pas attendre pour mettre en œuvre totalement les initiatives recommandées.

Enfin, l'ANRT et l'Académie des Technologies disposent des compétences nécessaires pour contribuer utilement à l'application des recommandations proposées. En particulier, fortes d'expériences

passées comme l'animation de la réflexion sur la Stratégie Nationale de Recherche, et compte tenu de leur statut de « tiers de confiance », ces deux institutions manifestent leur volonté d'œuvrer ensemble :

- à la réalisation de la recommandation 1 sur l'analyse de la Recherche en France sur l'ensemble de la chaîne de valeur du numérique
- à assurer le suivi de la transformation numérique de notre pays sur la base des analyses et propositions faites dans ce rapport (recommandation 10).



06

Annexe

Liste des membres du groupe d'experts

François ANDRY, PHILIPS
Eric BANTEGNIE, ANSYS
Dominique BOLIGNANO, PROVE & RUN
Alain BORDES, FACEBOOK
Philippe BOURGUINON, ENGIE
Martial CHEVREUIL, EGIS
Francisco CHINESTA, ECOLE CENTRALE
Mustapha DERRAS, BERGER-LEVRAULT
Guillaume DEVAUCHELLE, VALEO
Alain FILIPOWICZ, CONTINENTAL DIGITAL SERVICES
Argiris KAMOULAKOS, ESI GROUP
Kambiz KAYVANTASH, CADLM
Claude KIRCHNER, INRIA
Jean-Paul LAUMOND, CNRS – LAAS
Jean-François LAVIGNON, TS-JFL
Philippe LAVOCAT, GENCI
Olivier LE GALL, INRA
Claude LE PAPE, SCHNEIDER ELECTRIC
Thomas PALYCHATA, GENCI
Christian PICORY, IMT
Robert PLANA, ASSYSTEM
Stéphane REQUENA, GENCI
Elie ZNATY, BERTIN TECHNOLOGIES

Pour une politique industrielle du numérique

Gérard Roucairol

Pierre Bitard

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

Création, mise en page : Laëtitia Lafond

Imprimeur : Chirat

© ANRT/FutuRIS

MARS 2018

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.

Ce rapport, élaboré avec un groupe de travail composé de représentants d'entreprises et d'établissements publics de recherche, s'adresse aux responsables politiques, aux collectivités publiques locales et gouvernement central, aux institutions publiques de recherche ainsi qu'aux entreprises.

Il ne se contente pas de lister ce que seraient les « bonnes technologies » (IoT, Big Data, IA, robotique, ...) ou les « bons secteurs d'usages » (l'usine du futur, la santé, ...), il s'attache à décrypter les fondements stratégie industrielle à succès. Ce livre blanc espère ainsi déclencher une dynamique partagée quant aux conditions-cadres du système français de recherche et d'innovation numérique. Et ce, aussi bien dans leurs dimensions infrastructurelles qu'institutionnelles, légales ou règlementaires.

A partir d'une analyse des tendances structurelles qui bouleversent les infrastructures numériques, un scénario de transformation de la société est proposé qui favorise l'exploration de ses conséquences majeures. En point d'orgue à cette réflexion pratique, les auteurs suggèrent finalement dix lignes d'actions pour l'avenir. Pour faire de la France le leader industriel du numérique qu'elle est capable de devenir.



33 rue Rennequin – 75017 Paris
Tél. : +33 (0)1 55 35 25 50
futuris@anrt.asso.fr
www.anrt.asso.fr