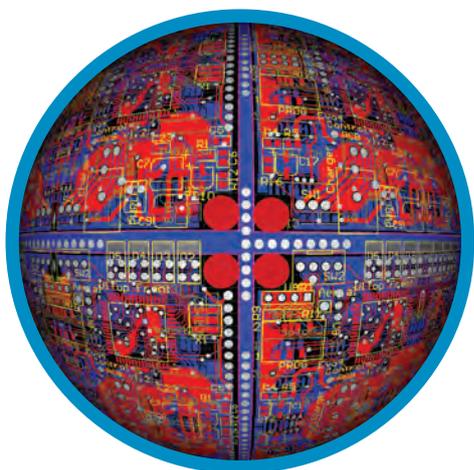


# TENDANCES PROSPECTIVES

[ ÉCONOMIE ]



## L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS LE SYSTÈME PRODUCTIF

Décryptage - Tendances - Interviews

Natacha ISRAËL

L'intelligence artificielle peut-elle améliorer la production et l'offre de biens et de services ?

L'intelligence artificielle peut-elle contrer la cybercriminalité ?

L'intelligence artificielle peut-elle accélérer la métamorphose de l'industrie, au risque de la vassalisation ?

L'intelligence artificielle, une « amie » qui ne nous voudra pas que du bien ou une « alien » avec laquelle nous composerons un monde nouveau ?

# SOMMAIRE

<b>DÉCRYPTAGE.....</b>	<b>p.3</b>
Définitions.....	p.3
Un nouveau processus de développement circulaire et itératif.....	p.4
La « smartification » des produits et des services.....	p.6
<b>TENDANCES.....</b>	<b>p.9</b>
1. La cybersécurité et la sécurité .....	p.9
2. Le risque de fracture numérique et de domination de « géants » étrangers pèse sur le contrôle de la chaîne de valeur des industries françaises .....	p.10
3. Le contrôle de la chaîne de valeur.....	p.11
4. La transformation des emplois et du système éducatif .....	p.12
5. « Gigafactory » ou « cottage industry » ? .....	p.15
6. Les enjeux philosophiques et sociétaux de l'I.A. ....	p.17
<b>LEXIQUE DES NOTIONS.....</b>	<b>p.20</b>
<b>INTERVIEWS.....</b>	<b>p.22</b>
<b>Sylvain LEGRAND</b> , Territory sales executive, Autodesk.....	p.22
<b>Laurent HAUSERMANN</b> , cofondateur et directeur de Sentryo .....	p.29

Si, après la « transition informatique », les années 1995-2000 ont marqué l'introduction d'Internet et la « transition numérique » des entreprises, les années 2015-2020 seront celles de l'Intelligence Artificielle (I.A.). On parle aujourd'hui d'une « transition intelligente », l'I.A. étant appelée, selon certains consultants, à tenir le rôle de futur moteur de la croissance mondiale<sup>1</sup>.

L'I.A. se développe de plus en plus vite, avec des résultats de plus en plus spectaculaires. L'année 2016 a marqué un tournant puisque l'I.A. est enfin créditée d'une véritable utilité pratique par les experts qui, depuis les années 1950, ont vu plusieurs fois leurs espoirs déçus<sup>2</sup>. Nous vivons ainsi un nouvel âge d'or de l'I.A., sous l'impulsion des géants du web – Google, Amazon, Facebook, Apple, AOL, IBM, ... – et de leur intérêt croissant pour le « **Big data** ». Ils sont les principaux acteurs des innovations en ce domaine et leurs investissements se sont accrus de 20 à 30 milliards de dollars en 2016. Dans la Silicon Valley, près

de 150 start-up œuvrent elles-mêmes dans ce secteur. En Europe et en France, les start-up se concentrent surtout sur la clientèle des entreprises en développant des logiciels de détection des fraudes (DataPred), d'analyse prédictive des comportements des consommateurs (AntVoice), de justice prédictive (Predictice) ou d'autres modèles prédictifs dans n'importe quel domaine d'activité (Tellmeplus). À l'avenir, l'I.A. doit *a priori* permettre de résoudre maints problèmes grâce à la compréhension de notre langage et des situations et environnements soumis à son analyse. L'amélioration ou la création de biens et de services, la personnalisation de la relation avec le client, l'évolution du système productif de certaines industries manufacturières et industries de process, sont d'ores et déjà possibles grâce à l'I.A., au point que celle-ci devrait se déployer partout et rendre les entreprises plus proactives et plus efficaces. Il en va, dans le même temps, d'une révolution anthropologique.

## DÉFINITIONS

- Le **dictionnaire Larousse** définit l'I.A. comme un « ensemble de théories et de techniques mises en œuvre en vue de réaliser des machines capables de simuler l'intelligence humaine ».

- La **définition technique** de l'I.A. désigne celle-ci comme la « recherche de moyens susceptibles de doter les systèmes informatiques de capacités intellectuelles comparables à celles des êtres humains »<sup>3</sup>. La norme ISO 2382-28 définit l'I.A. comme la « capacité d'une unité fonctionnelle à exécuter des fonctions généralement associées à l'intelligence humaine, telles que le raisonnement et l'apprentissage ».

- **L'I.A. consiste dans des programmes informatiques capables de reproduire et d'effectuer des tâches ordinairement accomplies par des êtres humains et exigeant un apprentissage, une**

- **organisation, l'exercice de la mémoire et du raisonnement.**

Certains systèmes apprennent à partir d'algorithmes supervisés, ce qui signifie que le système apprend à fournir les bonnes réponses à partir de données qui servent d'exemples (*vision par ordinateur, traitement automatique du langage naturel, reconnaissance faciale et vocale, ...*). D'autres systèmes apprennent à partir d'algorithmes non supervisés, ce qui signifie que le système apprend seul à partir de données brutes (agents virtuels, robots intelligents, ...). La plupart des applications sont supervisées mais il existe aussi des applications non supervisées, parmi lesquelles des applications initialement supervisées.

- Il faut **distinguer entre les algorithmes simples et les algorithmes intelligents**. La simple programmation algorithmique est un système prédictif dont les mécanismes peuvent être mis au jour tandis que l'I.A. désigne des

1. Selon une étude du cabinet de conseil Accenture, l'I.A. ferait bondir la croissance annuelle aux États-Unis de 2,6% à 4,6% en 2035 et la productivité de la France serait améliorée de 20% d'ici 2035 (cf. « Why Artificial Intelligence is the future of growth », Mark Purdy et Paul Dougherty, Accenture, décembre 2016).

2. Le terme « Intelligence Artificielle » apparaît en 1955 au Dartmouth College (États-Unis) tandis qu'un programme de recherche lui est consacré, la même année, au Carnegie Institute of Technology.

3. Lexicographie du Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales (CNRTL) créé par le CNRS.

technologies d'apprentissage autonomes à partir de la fouille et l'analyse approfondies des données numériques disponibles et à partir de

données produites par la machine au cours de son apprentissage, lesquelles sont peu transparentes.

## UN NOUVEAU PROCESSUS DE DÉVELOPPEMENT CIRCULAIRE ET ITÉRATIF

Déjà présente dans la vie courante (GPS, moteurs de recherche, reconnaissance vocale, hubs domestiques, fil Facebook, ...) et dans les activités de services (banques, assurances, médecine, assistance thérapeutique, détection de fraude, éducation, journalisme, justice, droit, divertissement, etc.), l'I.A. se déploie déjà dans certains secteurs industriels (dans l'industrie automobile, les transports, l'énergie nucléaire compris). La plupart des industries qui intègrent l'I.A. sont celles dont la transition

numérique est la plus avancée. Elles le font d'abord dans le but de supprimer certains travaux rébarbatifs pour leurs employés et de lui confier la supervision de certaines opérations dans le processus de production. Tandis que certaines industries utilisent déjà l'I.A. pour la maintenance prédictive ou même jusque dans le système qui sélectionne les modes de production et les équipements industriels<sup>4</sup>, l'I.A. permet encore d'optimiser les services et les produits, ainsi que la relation avec le client.

Le **Machine Learning** permet de manipuler des informations dans des quantités très importantes, avec de meilleurs résultats : la demande est mieux anticipée, la conception plus efficace, le temps de développement réduit ; les produits sont mieux mis en place sur le marché et les marges sont augmentées. Alors que l'efficacité opérationnelle est accrue, la qualité du produit et sa recyclabilité sont aussi améliorées. Selon le rapport McKinsey de juin 2017, l'I.A. signifie ainsi « plus que la somme de ses parties »<sup>5</sup>, pourvu qu'aient été identifiés les segments de la chaîne de valeur dans laquelle celle-ci entraînera les bénéfices les plus grands.

• **Une nouvelle façon de concevoir et de fabriquer : le « cognitive manufacturing ».** Depuis les années 1970, le cycle de production reste linéaire : on part d'un concept, on dessine, on produit –au sein d'un système de production hiérarchisé– puis on utilise. Or, l'I.A. donne à repenser tout le cycle de production, désormais circulaire et itératif.

Du système historiquement dédié à la production de masse, on progresse vers un système agile permettant d'aller bien plus vite en production, avec des coûts réduits et des marges augmentées<sup>6</sup>. La conception, en premier lieu, est décloisonnée lorsque le Bureau d'étude utilise des logiciels collaboratifs permettant à des non-ingénieurs et non-designers de s'associer au design d'un nouveau produit, et lorsqu'il s'appuie sur le **design génératif** (cf. *infra*). Si les technologies intégrant l'I.A. vont directement à la rencontre des individus en certains lieux ou espaces de *makers*, ce mouvement impacte en retour

l'entreprise industrielle lorsque ces individus y rapportent leurs idées, expériences et nouveau savoir-faire.

Les machines équipées de systèmes d'I.A. s'adaptent aux êtres humains et ces derniers peuvent dialoguer avec elles de manière plus simple et plus naturelle. Puisque les systèmes d'I.A. ne sont pas « codés » mais « entraînés », il n'est plus besoin d'explicitement les règles métiers et les processus : il suffit de montrer aux robots et aux applications ce qui a déjà été fait et ce qu'il convient de faire. Avec l'I.A., ce n'est donc plus un « cerveau » central qui sait ce à quoi le produit doit ressembler et qui en informe les unités ou modules de production jusqu'à la finalisation du produit : le « cerveau » est décentralisé, en premier lieu dans les modules qui communiquent entre eux. Le produit en cours de fabrication dialogue à son tour directement avec la machine qui le fabrique afin de la renseigner sur la bonne surface, la qualité du produit fini, etc., ce qui

4. Siemens a équipé le centre de vol Armstrong de la NASA de systèmes de refroidissement intégrant l'I.A., tandis que la Deutsche Bahn a été équipée en octobre 2016 de systèmes d'I.A. destinés au « monitoring » de la flotte des trains d'une série spécifique.

5. Cf. McKinsey Global Institute AI adoption and use survey (juin 2017), McKinsey Global Institute analyse.

6. Cf. McKinsey Global Institute AI adoption and use survey (juin 2017), McKinsey Global Institute analyse.

Le **groupe pharmaceutique Sanofi** équipe son usine de Geel d'une batterie de capteurs. Le suivi et l'analyse des données en temps réel permettent de contrôler le process automatiquement. Un atout majeur pour la production des médicaments biologiques, plus complexes que les petites molécules chimiques car issus du vivant et fabriqués grâce aux techniques de la biotechnologie.

« Autrefois on prélevait des échantillons de la production qui étaient ensuite envoyés aux laboratoires. Désormais, les mesures seront faites en temps réel par tous ces capteurs. L'usine, ce n'est plus les équipements mais le flux des données », commente Philippe Luscan (vice-président exécutif affaires industrielles globales).

Source : L'Usine Nouvelle, 14/06/2017

favorise aussi *in fine* la traçabilité et permet d'améliorer la maintenance et le recyclage, dès lors que le produit est de meilleure qualité et accède plus facilement à une nouvelle vie. Le « cerveau » central étant distribué sur tout le process, on peut parler d'organisation intelligente et autonome au sein de laquelle le temps de communication est très raccourci.

Les machines restent connectées et intégrées au sein d'un seul système, ce qui permet la vérification à distance de toutes les usines et de toute la chaîne, en direct. L'auto-organisation s'opère directement dans le « **jumeau numérique** » (*digital twin*) de l'entreprise : les capteurs logés partout collectent des données sur les attributs de chaque machine (température, vibration, bruit, ...) qui, une fois transmises dans le **Cloud**, sont organisées au sein d'un modèle qui duplique les performances de la chaîne de production. Puisque tout l'équipement industriel envoie des informations, qu'il s'agisse des conditions de la production ou de la manière dont les objets travaillent, l'I.A. analyse constamment celles-ci et décide des améliorations nécessaires, tout en s'adaptant en temps réel à de nouvelles commandes. Chaque décision bénéficie de l'intelligence collective (de l'analyse des données passées et présentes).

Les entreprises bénéficient du retour d'expérience de l'utilisateur. Le service après-vente est souvent la seule interface entre les entreprises et les clients, avec une vision parfois négative de l'utilisation du produit ou de l'expérience client. Or, le produit fera désormais directement remonter l'information quant à son usage et permettra ainsi aux entreprises de mieux concevoir, d'améliorer leur offre et de faire évoluer leur business model. Bientôt, le produit sera aussi capable de dire s'il a besoin d'être réparé ou recyclé

et à quel endroit il se trouve dans sa chaîne de valeur. Tout s'inscrira ainsi dans un même « système nerveux » où l'information circulera de manière constante et optimisée.

- **La maintenance prédictive** : Les données historiques de l'entreprise, les données collectées grâce aux capteurs de l'équipement industriel et celles collectées grâce aux « applis clients » et/ou capteurs ajoutés aux produits sont traitées et analysées en permanence de manière à anticiper les dysfonctionnements. Des écrans de bord et des assistants virtuels personnels, parmi d'autres outils, permettent aux ingénieurs de visualiser les signaux et alertes (historiques et présents) et les recommandations de l'I.A., de façon à pouvoir les approuver et planifier le remplacement concret d'un système ou de la machine avant sa défaillance effective.

Alors que la maintenance préventive à échelle régulière prévoit de changer la pièce, quelle que soit son usure, à un certain moment, la maintenance prédictive permet tant l'anticipation d'un changement que la conservation d'un usage. L'utilisation de l'équipement, sa fiabilité et sa durée de vie sont optimisées.

- **Un cycle de commercialisation optimisé** : L'avènement du **crowd-shipping** et de la livraison « same day » prohibe toute rupture de stock. Or, la gestion prédictive s'invite à chaque étape de la chaîne logistique depuis la prise de commande jusqu'à la distribution sur le point de consommation. Grâce aux informations collectées, les logisticiens rapprochent au plus tôt les produits à livrer et optimisent, non seulement les coûts de transport et de stockage, mais encore le suivi des produits grâce à des emballages intelligents (ex. : ceux conçus par Nefab pour ses clients de l'aéronautique<sup>7</sup>).

7. Cf. <http://www.voxlog.fr/actualite/2059/nefab-optimise-la-supply-chain-de-ses-clients-dans-laeronautique>.

Le management des prix des produits est aussi optimisé. Les clients connectés comparent continûment les prix et redéfinissent directement la valeur des produits. Or, l'I.A. peut déterminer le niveau d'élasticité des prix pour chaque article et ajuster les prix en fonction de la stratégie commerciale de l'entreprise. D'un côté, l'I.A. aide à déchiffrer

les comportements, les préférences et les besoins des clients, –elle aide notamment à identifier ceux qui génèrent le plus de profit pour l'entreprise–, tout en attirant de nouveaux clients et en réduisant le taux d'attrition ; de l'autre, elle aide ces derniers à sélectionner les offres les plus adaptées<sup>8</sup>.

**Amazon** a réduit à 15mn le temps du cycle « click-to-ship », tandis que sa capacité d'inventaire a augmenté de 50 % et que les coûts d'opération ont diminué de 20 %, avec un retour d'investissement de 40 %

Source : McKinsey Global Institute AI adoption and use survey, juin 2017

## LA « SMARTIFICATION » DES PRODUITS ET DES SERVICES

### • Une meilleure connaissance des besoins :

Si, au lieu de concevoir des produits certes imaginés à partir d'études de marché, et de consacrer des investissements considérables aux actions de marketing et de publicité devant convaincre les clients de les acheter, le producteur a une connaissance immédiate et optimisée des besoins du client, il devient plus simple, plus rapide et plus facile, non seulement de rendre les produits désirables pour les clients, mais encore de fabriquer les produits que les clients désirent.

• **Des produits de plus en plus intelligents et de plus en plus complexes**, personnalisés, dotés de fonctionnalités supplémentaires, pour répondre aux nouveaux usages : Les produits augmentés grâce à l'I.A. sont connectés au producteur, lequel sait ainsi quel usage est fait de ses produits, quelle est l'expérience des utilisateurs et comment cet usage et cette expérience peuvent être améliorés. Il en résulte la démultiplication des potentiels de différenciation des produits et l'accélération de leur rythme d'apparition.

Si New Balance peut imaginer des chaussures de *running* plus légères et plus adaptées à notre pied, c'est grâce à un nouveau matériau élastomère et, surtout, grâce aux données

antérieurement récupérées grâce à un capteur intelligent placé dans la semelle d'une chaussure. Toujours grâce à l'I.A., la plus grosse industrie chimique du monde, BASF, a imaginé de nouveaux soins visage anti-âge<sup>9</sup>.

• **Le design génératif, générateur d'innovations** : Les objets, de passifs, deviennent génératifs grâce à la convergence, dans l'industrie, de l'essor de l'I.A., du **Cloud computing**, de nouveaux matériaux et de la fabrication additive (impression 3D et technologie de soudage par robot).

La **fabrication additive**, assistée ou non par l'I.A., se démocratise notamment dans le métal<sup>10</sup>, favorisant la fabrication de moteurs légers, arceaux de sécurité ou accessoires plus robustes et plus aérodynamiques. Un alliage de matériaux légers (aluminium, magnésium et scandium) a été utilisé pour la conception de cloisons destinées à la cabine d'un avion Airbus, assistée par l'I.A.<sup>11</sup>. La légèreté de ces matériaux permet de réduire le poids des véhicules, par conséquent leur consommation d'essence, outre que, dans bon nombre de cas, aucun déchet n'est produit. Plus largement, la fabrication additive permet de tester, de manière rapide et itérative<sup>12</sup>, n'importe quel prototype (ex : une robe, une

8. Cf. McKinsey Global Institute *AI adoption and use survey* (juin 2017), McKinsey Global Institute analyse

9. Cf. <http://premiumbernews.com/fr/de-nouvelles-solutions-anti-age,7693>, page consultée le 19/06/2017

10. Cf. « Sculpteo dévoile l'impression 3D métal intelligente et son vélo », *Industrie Mag*, 6 janvier 2017 (<http://www.industrie-mag.com/article11688.html>, page consultée le 19/06/2017).

11. Cf. « Airbus mise sur la bio-inspiration et l'impression 3D pour alléger l'habitacle de ses avions », *Industrie et Technologies*, le 2 décembre 2015 (<https://www.industrie-techno.com/airbus-mise-sur-la-bio-inspiration-et-l-impression-3d-pour-alleger-l-habitacle-de-ses-avions.41451>, page consultée le 26/09/2017).

12. Si l'on considère le design d'une robe, il devient possible de simuler son mouvement avant sa fabrication et de modifier le design en conséquence (*feedback* de la simulation pour le design). Une fois imprimée, la robe n'exige aucun assemblage.

chaise ultra-légère ou à l'ergonomie singulière, un châssis révolutionnaire<sup>13</sup>), de produire des pièces uniques (ex : un implant semblable à l'os, contrairement à un implant classique, tel qu'une tige fémorale) ou de petites quantités d'une même pièce (ex : un bijou « customisé », un vêtement personnalisé, un jeu de société conçu dans un matériau rare), voire des éléments à la géométrie exceptionnelle (jusqu'aux nanotechnologies).

Le design génératif prend en charge tous les objectifs et paramètres de départ (poids, volume, contrainte maximale, déplacement, coût, etc.) et toutes les spécificités des matériaux sélectionnés pour proposer des formes correspondant à l'ensemble des critères. Il suffit de demander une solution à l'ordinateur qui explore toutes les possibilités, répond d'une manière impossible à anticiper puis fabrique l'objet de manière autonome si on lui associe la fabrication additive.

Le logiciel imite la biologie (la structure cellulaire et la croissance osseuse) et les phénomènes naturels<sup>14</sup> mais, au lieu de dessiner des structures, il fait croître<sup>15</sup> celles-ci comme le jardiner fait croître un rosier. On parle ainsi de « *digital gardening* », les jardiniers étant cette fois des algorithmes intelligents. De nouveaux produits sont « cultivés » comme dans une pépinière, tandis que les algorithmes intelligents constituent un analogue digital « étrange »<sup>16</sup> (« alien ») des méthodes, moyens et pratiques de conception et fabrication traditionnelles (antérieurs à l'ère digitale). Ceci semble constituer l'un des éléments d'une tendance de fond : celle du « retour aux sources », à mesure que la technologie façonne le présent, à des pratiques et à un mode de vie comparables à ceux du village gaulois ou médiéval dont auraient été évacués l'inconfort, le labeur

pénible, la maladie, l'obscurité, les douves et autres oubliettes...

L'impression 4D repousse les frontières en ajoutant à un produit ou à une structure le pouvoir de se transformer en réponse à un certain stimulus (chaleur, humidité, ...). Aussi l'I.A. devrait-elle stimuler et accroître la recherche et les innovations dans ce domaine.

• **Un service prédictif** : Les industries de process, en ayant des capteurs chez leurs clients, savent mieux remédier à un problème et améliorer leur offre avant même la concrétisation d'un dysfonctionnement et d'une réclamation. Et les industries manufacturières, en analysant les informations transmises par les capteurs logés sur les produits, peuvent créer des services mobiles pour leurs utilisateurs (ex : Pirelli, en contrôlant la pression automatique et la température des pneus, peut transmettre au manager d'une flotte de camions équipés par la marque des informations précieuses pour sa propre performance).

• **Dans le contexte de la mutation de la propriété vers l'usage**, les produits eux-mêmes tendent à se transformer en services, en facilitant et en augmentant notre mobilité (ex : voitures autonomes et tous les services associés à cette expérience), notre plaisir et nos performances (ex : skis et chaussures de sport intelligents qui permettent de mesurer nos efforts et d'en décupler les bénéfices), les soins physiques et la santé (le corps est un nouvel « objet » connecté et augmenté), notre apparence (ex : le mannequin intelligent s'adaptant à notre taille afin que nous soit livré un vêtement comparable à une seconde peau ou bien ce miroir intelligent qui, dans une

La **marque française Rossignol** développe un ski intelligent grâce à la technologie de PIQ : la start-up a mis au point une I.A. nommée GAIA, qui analyse les données envoyées par le capteur et conseille l'utilisateur afin de lui permettre d'améliorer sa technique et ses performances. La commercialisation est prévue pour 2018. Babolat, pour le tennis, et North Kiteboarding, pour le kitesurf, s'approprient à intégrer la même technologie à leurs produits.

13. Hack rod et Autodesk ont numérisé et imprimé en 3D le châssis d'une voiture de course (cf. <https://www.autodesk.fr/customer-stories/hack-rod>, page consultée le 19/06/2017).

14. Cf. « L'impression 3D veut imiter la nature », Les Échos, 13/12/2016 ([http://www.lesechos.fr/13/12/2016/LesEchos/22338-046-ECH\\_L-impression-3d-veut-imiter-la-nature.htm](http://www.lesechos.fr/13/12/2016/LesEchos/22338-046-ECH_L-impression-3d-veut-imiter-la-nature.htm), page consultée le 17/07/2017).

15. Jessica Rosenkrantz, de Nervous system, parle de « differential growth » : il existe un rapport entre la croissance et la formation, autrement dit entre le fait de croître et d'épouser telle forme, comme l'illustre la plante qui fait évoluer sa propre forme pour se rapprocher d'une source de lumière (cf. vidéo « Generative design », conférence du 16/08/2016, <https://videos.theconference.se/jessica-rosenkrantz-generative-design>, page consultée le 19/06/2017)

16. Jessica Rosencrantz.

chambre d'hôtel, recommandera un produit déshydratant à la cliente), notre information et notre instruction (Google sera bientôt intégré à un grand nombre de produits connectés), et toutes nos tâches quotidiennes (ex : robot-cuisinier, four intelligent ou réfrigérateur améliorant de lui-même la conservation de nos aliments tout en communiquant directement certaines informations aux fabricants de glaces ou d'autres produits comestibles en vue de contribuer à leur meilleure qualité).

• **Une offre améliorée diversement** : Une fois définie la stratégie de l'entreprise à partir de ce qui existe et risque d'être disrupté, l'industrie peut améliorer l'offre de services et de produits grâce à l'intelligence assistée, l'intelligence augmentée, l'intelligence autonome, ou une combinaison de ces trois sortes d'intelligence artificielle.

- **L'intelligence assistée**, déjà largement disponible, permet d'améliorer non seulement les process existants mais encore la qualité des produits et services offerts sur le marché, à condition d'identifier les produits et services qui seront le plus immédiatement rendus attractifs pour les clients (ex. : une interface ajoutée à une simple pièce ou à un objet électroménager<sup>17</sup>).

- **L'intelligence augmentée**, qui émerge seulement, doit permettre d'imaginer des produits et des services inédits (ex. : un algorithme est aujourd'hui capable d'inventer de nouvelles protéines de synthèse et de simplifier la recherche de nouvelles substances médicamenteuses, ce qui permet d'éviter des itérations laborieuses et coûteuses<sup>18</sup>). C'est le *feedback* des produits eux-mêmes, avec les cycles d'innovation, qui doit favoriser un tel saut, l'entreprise qui innove étant elle-même susceptible de provoquer une **disruption** dans l'écosystème familial. Les formes avancées de *Machine Learning* et la maîtrise du langage naturel par des algorithmes taillés sur mesure pour tel ou tel secteur industriel sont indispensables ; de tels algorithmes peuvent s'acquérir sur des plateformes et être modifiés en « open source ».

- **L'intelligence autonome** sera de plus en plus développée dans le futur : d'ores et déjà, ses formes les plus significatives sont la voiture autonome, les logiciels de traduction les plus performants, la reconnaissance faciale, la maintenance de stations spatiales et l'accomplissement de certaines tâches trop dangereuses pour les êtres humains.

Au lieu de vendre des machines comprimant l'air, la **société Kaeser** offre désormais un service d'air comprimé, tandis que les fabricants d'automobiles entament leur reconversion comme fournisseurs de mobilité.

17. La marque d'électroménager italienne Candy a reçu la médaille de bronze de l'innovation de la Foire de Paris pour sa dernière innovation. Il s'agit d'un four ultra-connecté baptisé Watch and touch. Si ce « four intelligent » n'intègre pas encore l'I.A., celle-ci est annoncée par la marque pour la fin de l'année 2017.

18. Une usine virtuelle à molécules fonctionne grâce à des réseaux neuronaux qui travaillent en synergie, en sorte de produire toutes les interpolations possibles entre l'aspirine et l'ibuprofène (cf. Sarah Sermondadaz, « Une IA fait rêver l'industrie pharmaceutique », Sciences & Avenir, le 12 novembre 2016, [https://www.sciencesetavenir.fr/high-tech/data/une-ia-invente-de-nouvelles-formes-moleculaires-de-synthese\\_107939](https://www.sciencesetavenir.fr/high-tech/data/une-ia-invente-de-nouvelles-formes-moleculaires-de-synthese_107939), page consultée le 19/06/2017).

## 1. LA CYBERSÉCURITÉ ET LA SÉCURITÉ

Parmi les principaux enjeux des nouveaux process favorisés par l'I.A. la cybersécurité est un facteur d'inquiétude, notamment en raison de l'essor de l'**Internet of things (IoT)** grâce auquel se déploie l'I.A. et dont celle-ci favorise en retour l'essor, tous les objets connectés à l'intérieur du système productif, au long de la chaîne logistique et chez le client pouvant être piratés et provoquer des accidents. Dans le même temps, la sécurité est l'une des promesses de l'I.A. dont les super-pouvoirs en la matière sont d'ores et déjà attestés.

- **L'état des lieux** : 55 % des responsables interrogés à ce sujet par IBM jugent que l'amélioration de la réponse aux attaques constitue un challenge durable en matière de cyber-sécurité<sup>19</sup>. Une étude de l'Institut Ponemon datée de 2016 fait apparaître que le temps requis en moyenne pour identifier une violation est de 201 jours et que le temps requis en moyenne pour la contenir est de 70 jours<sup>20</sup>. Les responsables identifient majoritairement la perte de confiance des clients comme le plus important risque de l'avenir, devant la disruption opérationnelle qui, entre 2013 et 2015, était perçue comme la plus grande menace.

Il en va de la réputation des entreprises (le patron du groupe américain Target a perdu sa place à cause d'une cyberattaque ayant entraîné une fuite massive de données). Le sujet touche à la sécurité des données des utilisateurs, de l'entreprise et de l'économie. Or, les cyberattaques se sont démultipliées depuis quelques mois. Le 12 mai 2017, le rançongiciel « #Wannacry » a vu sa diffusion facilitée par une technologie (« *Eternal Blue* ») que les pirates avaient réussi à dérober à la NSA, ce qui signifie que les pirates ont profité de failles de sécurité (dites « *zero day* ») identifiées par la NSA qui, au lieu de les corriger immédiatement, les enregistre en vue de les utiliser pour ses propres actions de piratage offensif. En Angleterre, le système de santé a été lourdement touché (les hôpitaux ont été perturbés). En France, outre le Ministère de l'Éducation nationale, l'usine de Douai de Renault a subi de sévères inconvénients, ne serait-ce qu'en stoppant préventivement sa production afin de vérifier les systèmes informatiques<sup>21</sup>. 250 000 ordinateurs ont été infectés dans le monde en moins de deux heures. Plus largement, on évalue à 450 milliards de dollars le coût de la cybercriminalité pour l'économie mondiale en 2016<sup>22</sup>. Aucune industrie ni aucun endroit de la planète n'est à l'abri.

- **« L'intelligence artificielle a des super-pouvoirs de cybersécurité »**<sup>23</sup>. L'IoT est aujourd'hui peu sécurisé et le système industriel n'a pas été initialement conçu pour se protéger contre des cyberattaques. Or, là où les hommes peuvent consacrer de longs mois à l'identification des vulnérabilités et des menaces déjà actives, l'I.A. réduit le temps d'identification et de réponse à quelques secondes, grâce à l'analyse d'un volume énorme de données et événements et grâce à des solutions déployées en temps réel. Soutien continu, elle aide à réduire les « faux positifs » et à identifier les comportements anormaux, à éclairer le contexte des incidents et à comprendre le paysage global de la menace, en tenant compte de la localisation de l'entreprise et en changeant la nature du travail des analystes qui ont eux-mêmes, de la sorte, une vision plus intelligente des questions de sécurité.

La coopération entre les entreprises et les pouvoirs publics, entre les entreprises elles-mêmes (y compris entre concurrents), devrait favoriser la constitution d'un écosystème commun (chacun préservant toutefois ses activités).

- **On observe un problème de confiance autour du Cloud** qui n'est pas encore sereinement adopté. Dans l'industrie, si les systèmes de sécurité augmentés grâce à l'I.A. sont orientés sur les systèmes d'information, les compétences internes, les méthodes et les process ne sont pas

19. Cf. « Cybersecurity in the cognitive era », IBM Institute for Business Value, 2016.

20. Cf. « 2016 Cost of Data Breach Study : Global Analysis », Ponemon Institute, Juin 2016 (<http://www-03.ibm.com/security/data-breach/>)

21. Cet arrêt d'une journée signifie que 800 véhicules n'ont pas pu être produits, 3500 salariés ayant été mis au chômage partiel ou ayant bénéficié d'un jour de congé collectif (cf. Le Point.fr, « Cyberattaque : l'usine Renault de Douai reprend son activité », le 16 mai 2017).

22. Cf. Rapport de Hiscox Cyber 2017, <http://www.hiscox.com/cyber-readiness-report/>, page consultée le 19/06/2017.

23. Michael Hack, *L'Usine Digitale*, 18/04/2016.

encore assez adaptés. Sans doute faut-il envisager de former tous les collaborateurs, plutôt qu'une armée à l'intérieur de l'entreprise, et de former chacun d'entre nous hors des murs de l'entreprise, surtout dans la perspective de l'essor du nomadisme et du BYOD («Bring Your Own Device»). L'Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information (ANSSI) multiplie les actions de sensibilisation et de formation, à destination des entreprises et des particuliers. En soutien des actions visant le développement d'une industrie capable de répondre aux enjeux de la confiance numérique et de la protection de la souveraineté nationale, les élus peuvent notamment informer et sensibiliser les PME.

- **Un autre défi de l'I.A.** tient à son intégration à un système élargi composé de nombreux éléments. Afin qu'ils soient exploitables dans les avions, les centrales nucléaires, les hôpitaux et d'autres environnements, ces systèmes devront pouvoir être vérifiés, validés et certifiés.

## 2. LE RISQUE DE FRACTURE NUMÉRIQUE ET DE DOMINATION DE «GÉANTS» ÉTRANGERS PÈSE SUR LE CONTRÔLE DE LA CHAÎNE DE VALEUR DES INDUSTRIES FRANÇAISES

Les PME qui négligeraient de prendre dès aujourd'hui le virage de la «transition intelligente» seraient exposées, en premier lieu, à la perte de leur main-d'œuvre et de leurs clients. Les grandes entreprises devront donc donner l'impulsion avec l'État, afin de créer une filière spécifique dédiée à l'I.A. et des *spin-offs*.

Toutefois, les PME ont l'avantage de leur taille, d'une structure moins hiérarchique et d'une plus grande perméabilité. La «transition intelligente» pourrait, en effet, marquer une profonde réorganisation de toute l'industrie, toutefois moins vers la désindustrialisation que vers l'ouverture à des activités non industrielles, sous l'impulsion d'une explosion combinatoire de productivité entraînant des effets d'échelle, des effets de réseaux et de nouvelles menaces autant que de nouvelles opportunités (cf. *infra*). En outre, si l'on considère que les pôles de recherche, les unités commerciales, les *data centers*, les centres logistiques et de nombreux secteurs des sociétés de services tendent désormais à industrialiser leurs méthodes<sup>24</sup>, il se dessine une sorte d'hybridation des activités, de la création de valeur et des structures. En ce sens, il semble bienvenu de penser l'entreprise en termes de métamorphose.

«L'I.A., (...) les plateformes digitales (...), l'IoT et la Blockchain restructurent et réorientent profondément les flux et les relations qui s'établissent entre acteurs.»

Bernard Georges, responsable de la prospective stratégique à la Société Générale.

- **Il existe un risque de domination accrue de quelques acteurs**, pour l'essentiel étrangers, en matière de propriété intellectuelle, de concentration des flux d'échanges, de collecte des données et de captation de la valeur par les acteurs intégrant l'I.A. au système de production ou captant un segment essentiel de la chaîne de valeur. Ceux qui investissent le plus dans l'I.A., notamment aux États-Unis, sont aussi ceux qui mèneront le bal de son adoption et de son intégration aux métiers des entreprises, notamment dans le système productif. Or, si les solutions I.A. intégrées au système de l'entreprise sont «proches» de celle-ci, de ses spécificités locales et nationales, les activités et emplois générés en vertu de la transformation du système de l'offre et du système de production resteront plus difficiles à délocaliser.

Par ailleurs, si la désintermédiation ne signe pas nécessairement la victoire d'un capitalisme sauvage, elle signifie de toute façon l'affaiblissement des institutions et des régulations classiques. Le risque de destruction des emplois à cause de la domination de quelques «géants» étrangers et les questions soulevées par la conformité à notre culture et à notre droit des mécanismes de décision encodés dans les algorithmes intelligents<sup>25</sup> constituent, par conséquent, des enjeux sociaux et politiques majeurs (cf. *infra*).

<sup>24</sup>. Cf. Pierre Veltz, *La société hyper-industrielle. Le nouveau capitalisme productif*, Paris, Le Seuil, 2017

### 3. LE CONTRÔLE DE LA CHAÎNE DE VALEUR

• **L'irruption de nouveaux acteurs maîtrisant l'intelligence embarquée et le risque de « vassalisation » de l'industrie :** Les nombreuses start-up conceptrices des briques logicielles déjà déployées dans les industries présentent un risque de faible maîtrise technique, de fiabilité variable, de maintenance difficile et de traçabilité réduite par conséquent. Aussi, le scénario des algorithmes comme « commodités » simples et banalisées risque-t-il d'être « disrupté » par les géants d'Internet et des N.T.I.C. qui rachètent les start-up. IBM a investi 2,7 milliards d'euros en 2017 dans son système d'I.A. intégrée à l'IoT (Watson) et a acquis The Weather Company<sup>26</sup> avant d'installer à Munich les quartiers généraux de sa plateforme IoT. Les solutions I.A. développées chez IBM peuvent être implémentées en quelques semaines. Accenture et d'autres cabinets de conseil les recommandent, ce qui tend à accélérer leur diffusion. Les données sont traitées dans le *Cloud* du fournisseur de solutions I.A.. Bon nombre de ces fournisseurs tendent vers un modèle d'imbrication horizontale chez les « clients », qui sont les collaborateurs des entreprises plutôt que les groupes eux-mêmes. IBM (Watson IoT) prétend ainsi développer une plateforme. Et, tout comme Google (DeepMind), Amazon, Microsoft ou Facebook, IBM pourrait prendre le contrôle de segments essentiels de la chaîne de valeur des entreprises. Car si la valeur tient à l'action que l'I.A. accomplit, alors la chaîne de valeur peut passer sous le contrôle de ces nouveaux acteurs –tel est le scénario des algorithmes « maîtres du monde », soustraits au régime de libre concurrence– ou sous le contrôle de *consortiums* réunissant fournisseurs de technologie et opérateurs de confiance (ayant une connaissance intime et solide) d'un certain métier –tel est le scénario des monopoles sectoriels constitués autour de différents métiers.

Aux États-Unis, **General Electric** intègre verticalement des start-up apportant chacune une brique d'I.A., dans le processus de production (l'une se charge de l'intégration des données envoyées par les multiples capteurs de l'équipement industriel/IoT, une autre consiste dans un algorithme de *Machine Learning* non supervisé, une autre dans un modèle de *Machine Learning* supervisé destiné au diagnostic à distance) et dans les activités non industrielles (brique d'I.A. destinée à intégrer les « business data », les données fournisseurs en particulier, et qui a déjà permis d'économiser des millions).

Il reste difficile de dire si l'on s'achemine vers un modèle collaboratif, autrement dit vers un partage horizontal de la valeur, en vertu de l'ouverture des grandes entreprises, ou bien vers le modèle de l'hyper-capitalisation concentrée sur la création de géants mondiaux contrôlant les data et l'I.A..

Le risque d'aspiration de la création de valeur se double du problème de la maîtrise des orientations du *Machine Learning* dans le système productif. La montée en puissance des agents conversationnels (dits « bots ») est un premier sujet : la conversation en langage naturel avec les systèmes d'I.A. tend à remplacer les interfaces tactiles et nous confierons de plus en plus à ces systèmes le soin de nous prescrire services et produits<sup>27</sup>. Deuxièmement, un moteur ou logiciel d'I.A. requiert un important travail chez l'utilisateur avant sa mise en service, afin de favoriser ses interactions avec les modules du système d'informations et de données : il s'agit là d'un autre segment essentiel de la valeur car si les algorithmes prédictifs simples sont basés sur des statistiques dont les mécanismes sont maîtrisés, les systèmes faisant appel à l'I.A. refléteront les choix et les décisions de leurs programmeurs et « entraîneurs ».

25. Nombre d'universitaires soulignent déjà les biais des algorithmes intégrant l'I.A. : en 2016, il a été établi que l'I.A. de Google sélectionne six fois plus souvent pour les hommes que pour les femmes des annonces pour des emplois à haut revenu. Le problème tient notamment à l'entraînement de l'I.A. : les ordinateurs utilisent un nombre limité de données au cours de leur entraînement, et ces programmes d'entraînement sont conçus par des êtres humains ; si l'entraînement fait apparaître surtout des exemples de dirigeants masculins, l'I.A. travaillera ensuite conformément à ce schéma.

26. IBM a récemment racheté l'activité BtoB de The Weather Channel, la Weather Company. Les données météo sont jugées stratégiques pour les prévisions appliquées à nombre de secteurs, comme l'aéronautique, notamment en vue d'optimiser l'usage des avions et la quantité de carburant nécessaire.

27. Le rapport France I.A. 2017 préconise, à ce titre, de « surveiller les outils conversationnels » (*op. cit.*, p.214).

#### • La transition vers un modèle omnilogistique

S'agissant de la commercialisation des produits, on observe déjà la transition d'un modèle monolithique et monumental à un modèle omnilogistique, privilégiant les entrepôts plus petits, mobiles et urbains, et rapprochant le producteur et le consommateur. La chaîne logistique est alors vulnérable à la disruption : 1) une plateforme peut rapprocher le producteur du consommateur en supprimant tous les intermédiaires, ce qui réduit le coût de la *supply chain* ; 2) la désintermédiation de la chaîne qui relie le producteur au consommateur constitue un « retour aux sources », c'est-à-dire un retour à la relation entre l'artisan (ou le fermier, le tailleur, ...) et son client, ce qui constitue un changement culturel autant qu'un changement de *business model*. Le client n'est plus rigoureusement un consommateur : il est attaché aux biens ou produits qu'il consomme ; ces biens lui sont souvent livrés à la maison ; il connaît leurs producteurs, fût-ce seulement *via* une plateforme. Parallèlement, notons que le nombre des emplois sur ces segments de la chaîne de valeur diminue de manière importante.

• **Comprendre l'écosystème et changer de paradigme** : Pour éviter que le pouvoir d'orienter l'I.A., partant la gestion de la production, le management de la *supply chain* et les choix des clients, passe aux « mains » de sociétés étrangères exploitant des plateformes (conversationnelles, notamment), l'industrie française doit innover, ouvrir son organisation et accroître sa présence sur les canaux de communication aujourd'hui prisés, sans perdre la maîtrise des bases de données (qui servent de substrat et sont alimentées par le système productif) ni la maîtrise des processus métier pris en charge dans le cadre de l'automatisation des fonctions *corporate*<sup>28</sup>.

À cette fin, il conviendrait de :

- Concilier l'émergence et le développement en France d'entreprises au savoir-faire très pointu sur une ou plusieurs briques, et la constitution d'acteurs capables d'un niveau élevé d'intégration pour faire front aux plateformes étrangères.
- Exploiter mieux et davantage le haut niveau des scientifiques et ingénieurs français dans les disciplines concernées et les compétences en design et ergonomie des interfaces et parcours clients.
- Remédier aux problèmes de financement, structurels dans notre pays.
- Constituer des pôles d'excellence favorisant les synergies entre acteurs académiques et acteurs privés, capables d'agglomérer leurs compétences respectives et de proposer des solutions abouties et commercialisables<sup>29</sup>.
- Favoriser l'accompagnement des plus petites structures et des start-up par les grandes entreprises afin de valoriser l'expertise des premières et de mieux partager la connaissance des attentes du client<sup>30</sup>.
- Contribuer à mieux faire connaître les innovations françaises dans le domaine de l'I.A.<sup>31</sup>.

Les opportunités corrélées, pour l'industrie française, sont celles de l'agilité, de la productivité et de la compétitivité accrues. Là où existe la menace de voir une I.A. « entraînée » par une multinationale étrangère influencer nos achats, partant les systèmes productifs et nos modes de vie, existe l'opportunité de concrétiser toutes sortes de projets localement épanouis, en préservant les emplois et la souveraineté nationale (cf. *infra*).

#### 4. LA TRANSFORMATION DES EMPLOIS ET DU SYSTÈME ÉDUCATIF

Dans cette perspective, il s'agit pour les industries françaises de s'« ubériser » ou de s'ouvrir davantage (à ce qui leur est jusqu'ici resté extérieur), ce qui impose de réfléchir aux transformations du travail et du système éducatif.

28. Cf. Rapport France I.A. 2017, [https://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/2017/Rapport\\_synthese\\_France\\_IA\\_.pdf](https://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/2017/Rapport_synthese_France_IA_.pdf) (mars 2017), p.214.

29. Tout gouvernant ou élu soucieux d'établir son pays ou sa ville comme une « plaque tournante » du développement de l'I.A. entre dans la compétition déjà amorcée pour l'attraction des talents et des investissements. Facebook, Google et d'autres géants de l'Internet et des N.T.I.C. viennent alors, en premier lieu, s'y installer et y recruter (cf. Mc Kinsey Global Institute AI adoption and use survey (juin 2017), McKinsey Global Institute analyse).

30. *Id.*, p.215.

31. *Id.*, p.218

• **De nouvelles organisations et formes de travail et de nouveaux modes de management,** sous l'impulsion d'une nouvelle économie elle-même stimulée par l'essor de l'I.A. : Le client d'aujourd'hui est « connecté et multicanal », les plateformes développées sur Internet prenant une place prépondérante dans l'acquisition et la jouissance de biens et services, et la diffusion des smartphones et des tablettes constituant le principal agent de cette révolution où l'I.A. tient d'ores et déjà un rôle actif – dans la gestion de la relation client notamment<sup>32</sup>. « *Online demand* » et « *offline service* » se synchronisent ou s'harmonisent mieux qu'avant. L'adaptation en temps réel (« *real time* ») et juste à temps (« *just in time* ») est le maître mot de la communication avec le consommateur, en amont et en aval de l'acte d'achat, et de la production. Les entreprises de services et les industries doivent aussi tenir compte de l'essor de l'**économie d'usage et de partage**. Cette nouvelle économie, qui génère un nombre si important de données à traiter par l'I.A., tend à simplifier la vie quotidienne tout en contribuant à accélérer celle-ci à travers le raccourcissement des délais et le rapetissement du monde qui lui est assorti. Elle accélère la disruption de nos modes de vie en disruptant d'abord un grand nombre de services et industries structurées verticalement.

Soit pour éviter la perte de segments essentiels de la chaîne de valeur, soit pour intégrer à leur chaîne de valeur des parties prenantes externes qui leur éviteront de disparaître, les grandes entreprises cherchent à être plus agiles, sinon à développer l'agilité d'une start-up. Afin d'augmenter leur surface d'échanges au contact d'acteurs extérieurs pour leur part toujours en mouvement et afin de se rapprocher du consommateur, la flexibilité importe désormais plus que l'échelle et la taille. Aussi s'agit-il d'importer des connaissances, de s'ouvrir, de casser les silos, de fonctionner de manière transversale, en réseau, de raccourcir les circuits et de s'organiser autour de projets. L'entreprise industrielle associe des services à ses produits et se reconfigure de manière dynamique en fonction des nouveaux projets et des nouveaux environnements. Tandis que la segmentation originelle de l'industrie est appelée à s'estomper, les employés tendent à se comporter dans le contexte professionnel, productif, comme dans leur sphère personnelle (où ils sont des acteurs de l'économie collaborative, d'usage et de partage). De nouvelles formes de travail se développent sur le modèle de l'auto-gouvernance et du « lab » expérimenté par le Techshop de Leroy-Merlin : des structures non hiérarchiques, non pyramidales, émergent localement, annonçant l'ère de l'« open-entreprise ». De plus en plus, les équipes se formeront autour de problèmes et objectifs spécifiques avant de se dissoudre pour se recomposer ailleurs, autrement, le management humain étant d'une part tiré vers le haut<sup>33</sup> et vers l'extérieur de l'entreprise<sup>34</sup>, d'autre part susceptible de disparaître au profit d'un système d'I.A.<sup>35</sup>.

Le passage d'un processus linéaire à un processus circulaire constitue une passerelle vers l'économie circulaire. Un tel changement de *business model* (une production locale pour un marché local) épouse les mutations de la globalisation, avec des conséquences bénéfiques pour l'environnement. On peut même envisager l'essor d'une industrie collaborative, entre les êtres humains comme entre ces derniers et les machines.

• **Les transformations corrélées du recrutement, de la formation et du système éducatif.**

La décentralisation, la flexibilisation et la personnalisation de la production sont appelées à se développer dans une industrie qui, à mesure qu'elle gagnait en complexité, avait jusqu'ici aussi gagné en taille, en structuration et en hiérarchisation. Les collaborateurs ne seront plus majo-

32. Cf. Rapport de synthèse France I.A., *op. cit.*, p.211 : À l'ère du commerce cognitif, on ne s'appuie pas seulement sur des statistiques avancées, on recourt à des procédés évolués de détection des besoins et désirs de chaque client, des procédés d'extraction de motifs et tendances, et de déduction par raisonnement simulé.

33. Cf. « Comment l'intelligence artificielle va tirer le management vers le haut », Les Échos, 17 février 2016 (<http://www.lesechos.fr/idees-debats/cercle/cercle-152759-comment-lintelligence-artificielle-va-tirer-le-management-vers-le-haut-1200916.php>, page consultée le 16/06/2017).

34. Le management intermédiaire, dépossédé en partie de ses missions (prise de décision, reporting, ...) tient de plus en plus le rôle de facilitateur et accélérateur du changement, tant en interne que, plus largement, dans l'écosystème de l'entreprise (cf. « Entreprise du futur : la croissance sera un défi humain », Orange Business Services, <http://www.bain.fr/publications/etudes-et-publications/2017/Entreprise-du-futur-la-croissance-sera-un-defi-humain.aspx>, page consultée le 26/09/2017).

35. Cf. Livre blanc CIGREF, « Gouvernance de l'Intelligence Artificielle dans les entreprises. Enjeux managériaux, juridiques, éthiques » (<http://www.cigref.fr/wp/wp-content/uploads/2016/09/Gouvernance-IA-CIGREF-LEXING-2016.pdf>), p.27-29 : certains secteurs industriels sont particulièrement concernés par la perspective de la disparition du management humain au profit d'une I.A..

ritairement recrutés pour leur force physique ou leur habileté manuelle mais pour leurs connaissances, leur créativité, leur adaptabilité, leur capacité à apprendre et à se former tout au long de leur vie. Les savoir-faire de l'industrie, métier par métier et entreprise par entreprise, doivent dès lors être repensés. Le besoin de main-d'œuvre est déjà moindre à certains endroits du système productif tandis que se déploient de nouvelles compétences et de nouvelles tâches.

Les logiciels d'I.A. prévoient, pour l'heure, une complémentarité avec l'être humain. L'intelligence relationnelle des collaborateurs est valorisée, les réponses techniques étant de plus en plus confiées à l'I.A., ce qui signifie que des individus les moins qualifiés dans le domaine technique vont collaborer avec les robots, tandis que les individus les plus qualifiés vont devoir développer d'autres compétences indispensables à l'ère de la **cobotique**.

Il y a là des enjeux de Gestion Prévisionnelle des Emplois et des Compétences, afin d'atténuer les résistances corporatistes et de favoriser la reconversion ainsi que l'ascension de tous sur l'escalier des compétences refaçonné par l'I.A. Sur les nouvelles marches les plus élevées, où sont conçus les nouveaux outils, les compétences font déjà défaut ; tout en bas de cet escalier, les individus exclus du marché du travail doivent pouvoir accéder enfin à la première marche grâce à des formations légères<sup>36</sup>. La polyvalence (un rapport du cabinet Accenture parle de « *liquid workforce* »<sup>37</sup>) est appelée à s'accroître en raison de l'automatisation intelligente des systèmes productifs et des services et en vertu de l'économie de plateforme. Cela implique encore d'approfondir la réflexion autour d'un revenu universel, d'un salaire minimum et de la souveraineté nationale.

Dans son discours à l'Université de Harvard (mai 2017), Mark Zuckerberg évoque la suppression des emplois imputable à l'automatisation et plaide en faveur d'une hyper-personnalisation de l'éducation, celle-ci devant être selon lui poursuivie tout au long de la vie, grâce aux nouvelles technologies, et en faveur du « *basic income* », toutes ses propositions s'inscrivant dans la proposition plus générale d'un « nouveau contrat social »<sup>38</sup>. Il annonce vouloir étendre son projet initial à celui qui consiste à donner à chacun un « but plus grand que soi ». En des temps instables, notamment à cause de la globalisation, les communautés doivent être d'abord localement (re) construites, grâce à la « connexion » (en étant « connectées »). Or, il n'est pas exclu qu'il s'agisse là, pour le créateur de Facebook, d'une stratégie opposée à la future domination d'un Google qui s'accomplirait autrement –à travers des connexions moins locales que globales entre les individus<sup>39</sup>. Si les algorithmes et systèmes d'I.A. de Facebook devenaient les « maîtres du monde », la physionomie du monde ne serait pas celle d'un monde dominé par les algorithmes et systèmes d'I.A. de Google... Et, selon le scénario vérifié, tout notre mode de vie ou tous les enjeux déjà évoqués seront impactés.

Si, par exemple, Google domine l'offre mondiale, rien ne garantit que les choix, recommandations et décisions des systèmes intégrant l'I.A. tiennent compte du contexte national ou même local. Il y a là un enjeu crucial pour les possibilités que nous voudrions développer et cultiver à l'avenir, autrement dit pour l'éducation, l'emploi, la santé, les institutions et notre communauté, autant que pour la production et la consommation (à travers les « *hubs* » domestiques, les préconisations publicitaires, etc.). Le point suivant s'efforce de préciser l'alternative.

36. Cf. « Plus d'emplois grâce à l'Intelligence Artificielle », *Les Échos*, 15 février 2017 (<https://www.lesechos.fr/idees-debats/cercle/cercle-166260-plus-demplois-grace-a-lintelligence-artificielle-2065159.php#PeUw2JQJSueWbWqc.99>, page consultée le 30/06/2017).

37. Cf. « Accenture Technology Vision 2016 », 2016.

38. Cf. Mark Zuckerberg, Discours à Harvard, le 25 mai 2017 (<https://www.youtube.com/watch?v=4VwEIW7SbLA>, page consultée le 16/06/2017).

39. Aujourd'hui, plus de la moitié des élèves de primaire et de collège aux États-Unis utilisent des applications Google, notamment grâce à l'incroyable essor des Chromebooks (cf. <https://www.lesechos.fr/monde/etats-unis/030351987961-comment-google-envahit-les-salles-de-classe-americaines-2090013.php#xtor=CS1-33>).

La **Tesla Gigafactory** construite dans le Nevada fournit un exemple de concentration et d'intégration verticale : tout y sera directement accompli, de la transformation des matériaux à la conception des produits finis, de manière à réduire les coûts et les risques de commoditisation.

Or, un tel projet suppose de l'espace, pour l'usine comme pour les consommateurs : les nouveaux modes de production doivent permettre de réduire les prix des batteries Tesla, partant les prix des voitures électriques, lesquelles seront produites en plus grand nombre, en sorte que la classe moyenne continue de posséder des voitures individuelles dont les batteries seraient rechargées notamment grâce à la possession d'une maison individuelle équipée de panneaux solaires.

Tous ces paramètres ne sont pas –et semblent même contrecarrer très directement– ceux que fait miroiter l'économie d'usage et de partage, celle-ci étant plus adaptée à la perspective de la concentration, non de l'industrie, mais des individus dans les centres urbains et à la perspective de la transformation profonde des modes de collaboration, de travail et de consommation, perspective qui engage moins la baisse de la mobilité ou la diminution du trafic que la diminution du parc automobile et la nécessité de privilégier d'autres énergies renouvelables que l'énergie solaire.

## 5. GIGAFACTORY » OU « COTTAGE INDUSTRY » ?

• **La « réinvention digitale » est une réinvention de l'offre**, dans tous les secteurs de l'économie, jusque dans l'industrie. Le nouveau partenariat entre l'humanité, la nature et la technologie réserve ainsi des surprises, en vertu du dynamisme et de la complexité d'organisations toujours plus ouvertes et précipitées dans une instabilité permanente.

Deux tendances semblent toutefois s'affronter aujourd'hui : en lançant son projet de « méga-usine » Tesla, Elon Musk ressuscite l'esprit du complexe bâti par Henry Ford sur les rives de Rivière-rouge (Dearborn) et maintient le cap de la globalisation et de la concentration, tandis que la transformation des produits en services annonce une hybridation et une synergie accrues 1) entre le monde industriel et ce qui, pendant plusieurs siècles, lui sera resté extérieur, et 2) entre les différentes industries proprement dites.

### • « Cottage Industry » - Usine « DIY »

Depuis quelque temps déjà, le *fab lab* réinvente le tissu industriel et tend à le rendre plus riche et plus dense. Cette tendance accompagne les mutations de la globalisation, marquée par une relocalisation de la production. On produit plus près du consommateur, ce qui est meilleur pour l'environnement et pour l'économie locale, pour l'économie des pays européens où le « *manufacturing* » est appelé à connaître un nouvel essor. Mais sous quelle forme ?



La tendance de la culture « *maker* » s'appuie sur l'essor du « *Do It Yourself* » qui incite à imaginer un objet et à le concevoir soi-même en développant ses compétences pratiques et théoriques. Le courant « *hacker* »<sup>40</sup> l'a aussi inspirée en incitant à détourner l'usage de certains biens de consommation pour leur donner une autre vie (le produit est la matière à transformer, on parle de surcyclage). La communauté open source tient un rôle central dans cette dynamique : le savoir est gratuit, échangé librement en vue d'améliorer les produits, au moyen

de logiciels, langages informatiques et tutoriels. Avec la démocratisation des *fab labs*, l'utilisateur devient à la fois ingénieur, designer et innovateur dans plusieurs domaines ou disciplines<sup>41</sup>, les produits ainsi conçus (parfois grâce au *crowd funding*) devant pouvoir être « hackés » à leur tour. La démarche s'inscrit toute entière dans le projet d'une économie durable, chaque objet étant voué à un cycle de vie circulaire. Le plastique ayant lui aussi un cycle de vie circulaire, son recyclage permet de fournir la matière des imprimantes 3D. Ainsi, le compactage des objets plastiques usagés permettra bientôt de produire rapidement des bobines de plastique prêtes à l'impression, ce qui fera proliférer les *fab labs* dans lesquels seront téléchargés et imprimés de nouveaux objets à partir de ceux dont nous n'avons plus l'usage. La conception et l'impression

40. Un appel vient d'être lancé, par une association de « makers », à l'« *hacktivation* » générale. Cf. « Appel du 18 juin », lancé notamment sur Youtube le 17 juin 2017 : <https://www.youtube.com/watch?v=c5Ut1LGfToU>, page consultée le 19/06/2017).

41. Cf. Projet Kinematics : designers et non-designers travaillent ensemble, via une plateforme, pour co-crée de nouveaux produits dans le domaine de la mode (Kinematics est un système d'impression 4D qui crée des formes complexes et pliables, composées de modules articulables).

seront collectivement améliorées. Or, si l'I.A. constitue un « pouvoir artificiel » (Kevin Kelly) que chacun d'entre nous peut acquérir sous la forme d'une simple commodité, au même titre que l'électricité, et qu'un simple logiciel de design génératif nous permet de concevoir et fabriquer à la maison n'importe quel objet dont nous avons besoin ou envie, ne peut-on envisager que chacun devienne son propre *fab lab* ?

Dans le contexte d'une transition des produits fabriqués aux produits cultivés, des produits dessinés et construits aux produits augmentés et développés, des objets isolés aux objets connectés, de l'extraction à l'agrégation de matériaux, et de l'obéissance à l'autonomie des individus, il convient d'envisager que chacun se forme à nouveaux aux métiers de la production. Un tel mouvement suggère aussi que les moyens de production augmentés grâce à l'I.A. intègrent toujours plus la « cellule » familiale ou le domicile personnel de chacun. En ce sens, loin de détourner les êtres humains du travail ou de tout effort, l'I.A. renforcerait la culture « maker » au sein de ce que l'on désigne déjà comme la « *cottage industry* ». Nous deviendrions tous pharmaciens, tous chimistes et transformateurs de matières premières, tous artisans, tous producteurs locaux, au sein de communautés elles-mêmes refaçonnées...

L'offre en serait réinventée non seulement parce qu'il y aurait autant d'offres possibles que de producteurs susceptibles de proposer des produits sur le marché, mais encore parce que ces producteurs seraient leurs propres usagers, outre qu'ils fourniraient les biens produits à d'autres et se procureraient les biens produits par d'autres. Et cela constituerait un retour à une forme d'existence plus autonome (on peut imprimer soi-même sa nouvelle maison ou aller la faire imprimer chez le voisin qui, en contrepartie, nous confie le soin de fabriquer d'autres choses), mais sur fond de technologies inimaginables au XII<sup>e</sup> siècle – des technologies permettant notamment de commercialiser ou échanger dans de brefs délais toutes sortes de produits sur un vaste territoire. S'agissant des produits proprement dits, chacun de nous serait un *Cétautomatix* et un *Assurancetourix* à la fois, les émotions et visions du barde prenant forme dans des objets plutôt que dans les seuls chants et le forgeron consacrant plus de temps à la rêverie ou même à la poésie...

La métaphore du « village gaulois » semble constituer ainsi une réponse à la domination des GAFAs et appelle des approfondissements : à géométrie variable, ce « village » est à la fois résistant et résilient, imaginatif et ouvert sur le reste du monde, non retranché et régulé par des normes inventées au jour le jour dans l'immanence des rapports sociaux.

• **Barcelone, « fab city » localement auto-suffisante et globalement connectée.** Plutôt qu'un village gaulois, Barcelone s'offre, depuis 2014, comme un exemple de grande ville européenne à la pointe en matière de numérisation et relocalisation de la production dans son ensemble.

Au lieu d'acheter des produits fabriqués en Chine, les citoyens peuvent fabriquer eux-mêmes ou faire fabriquer des objets à proximité de leur domicile, sans recourir aux énergies fossiles et au sein de boucles de matières plus courtes, plus locales. Le *fab lab* est bien, en ce sens, l'agent d'une transformation culturelle majeure, en premier lieu des acteurs du système productif traditionnel. « Les entreprises génèrent de la valeur société et pas uniquement du profit »<sup>42</sup> (Tomas Diez). Le projet est politique : d'ici 2054, la ville doit être auto-suffisante ; d'autres métropoles se sont engagées dans la même démarche afin de constituer un réseau international de villes durables, résilientes et productives mettant les technologies numériques au service de l'autonomie – de « l'autonomisation » (T. Diez) – des citoyens. Paris, Toulouse, Amsterdam, Santiago, Detroit et le royaume du Bhoutan ont rejoint le réseau en 2016.

Un tel concept vient percuter le modèle économique des acteurs historiques de l'industrie et, notamment, de Tesla. Des micro-usines numériques installées en centre-ville permettront à chacun de concevoir du mobilier ou toutes sortes d'objets sur mesure qui seront ainsi fabriqués à la demande et diminueront les coûts de gestion des stocks pour les industries qui auront modifié leur *business model* dans cette direction. Ikea, Adidas, Nike, Airbus, Saint-Gobain s'y intéressent et s'en rapprochent.



42. Cf. « La fab city, c'est bien plus qu'une ville remplie de fab lab », Magazine Ouishare, 10 novembre 2016 (<http://magazine.ouishare.net/fr/2016/11/la-fab-city-cest-bien-plus-quune-ville-remplie-de-fab-lab/>, page consultée le 30/06/2017)

## 6. LES ENJEUX PHILOSOPHIQUES ET SOCIÉTAUX DE L'I.A.

Tandis qu'Elon Musk, dirigeant de Tesla, et le Dr Laurent Alexandre, cofondateur du site web Doctissimo, voient dans l'I.A. une menace pour l'humanité, de nombreux rapports soulignent l'opportunité constituée par celle-ci de la profonde transformation des organisations et du travail, en plus de la réinvention de l'offre de services et de produits. Aussi cette section s'intéresse-t-elle de plus près aux enjeux philosophiques et sociétaux de l'I.A., afin de mieux anticiper ses futurs impacts.

### • L'I.A., une « amie » qui ne nous voudra pas que du bien ou une « alien » avec laquelle nous composerons un monde nouveau ?

Nous mettrons ici de côté l'hypothèse d'une I.A. qui, de soutien aux activités et buts des Hommes, deviendrait leur ennemie. Au-delà des débats pour l'heure impossibles à trancher, opposant les tenants d'une intelligence humaine à jamais supérieure à l'I.A. aux tenants des dangers mortels pour l'Humanité d'une I.A. dont les capacités l'amèneraient à tuer ou bien tromper et manipuler les Hommes pour mieux accomplir ses « missions », c'est une conversion de notre perspective actuelle qui s'impose. Toutes ces vues sont anthropomorphiques et anthropocentriques – elles partent de l'Homme et comparent l'intelligence biologique à l'intelligence artificielle comme si celles-ci étaient non seulement en compétition mais encore appelées à se ressembler strictement, au point de semer la confusion et avec cette seule différence que l'I.A. serait alors plus puissante dans chacune des compétences jusqu'alors propres à l'intelligence biologique.

*« Les résultats de l'accélération de la technologie ne seront probablement pas surhumains, mais extra-humains. Étrangers à notre expérience, mais pas nécessairement "supérieurs". »*

Kevin Kelly, *The Inevitable*, 2016

Les êtres humains ne seront pas fatalement « diminués » sur le prétexte de l'intelligence artificiellement « augmentée ». Deux supports physiquement distincts ne peuvent produire la même intelligence, bien que l'I.A. soit conçue sur le modèle de l'intelligence biologique. Comparer leurs performances en certains domaines n'a de sens qu'en vue d'évaluer les progrès de cette intelligence artificiellement créée par les hommes. Il faut donc s'intéresser à la manière dont deux sortes d'intelligence vont se compléter et collaborer en sorte d'améliorer l'existence des êtres humains.

Si, pour améliorer ses propres performances, l'humanité en est venue à imaginer et bâtir un système de cognition dont l'apprentissage – non la capacité à se donner à elle-même ses propres fins – est parfaitement autonome, celui-ci exige un système de contrôle. Contrairement à un simple crayon, il peut en effet agir sans notre aval et certaines des procédures qui l'amènent à une décision ne sont pas rigoureusement intelligibles pour nous. C'est dans cette perspective que Nick Bostrom, chercheur et philosophe à l'Université d'Oxford, souligne l'importance de programmer l'I.A. conformément à des valeurs réputées humaines, non pas strictement conformes à une logique mathématique, et les plus diverses possibles<sup>43</sup>.

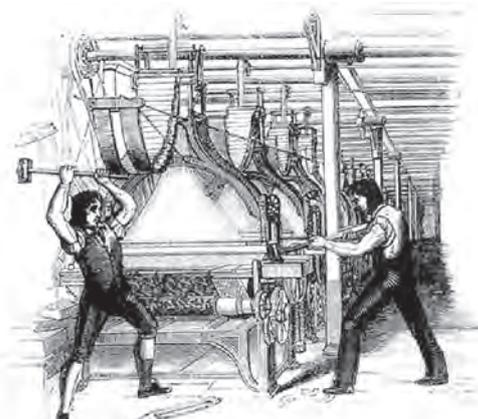
Jusque dans l'horizon ouvert par l'**Anthropocène**, l'I.A. peut alors être envisagée, non comme un problème, mais comme l'une des solutions. Si les bouleversements climatiques et la sixième grande extinction annoncés ne sont pas l'effet des machines mais d'une ancienne philosophie qui soumet la Nature et ses ressources à l'Humanité, il est permis d'imaginer une collaboration Homme-Machine au service d'une autre philosophie – en vue de la préservation de l'environnement, de la vie sur Terre et d'une économie circulaire – faible à forte.

### • L'hypothèse de la destruction massive des emplois

Il n'y a plus de débat à propos de l'impact de l'I.A. et de l'automatisation sur les emplois, le débat portant désormais sur la physionomie des changements à venir. Mais, là où certains prédisent une nouvelle Utopie (où ceux qui voudront travailler continueront de le faire, en accomplissant de nouvelles tâches, en vertu de la « loi » de la destruction créatrice de J. Schumpeter<sup>44</sup>), d'autres anticipent plutôt une « Athènes digitale »<sup>45</sup> ou bien un scénario-catastrophe<sup>46</sup>.

Or, l'I.A. ne constitue pas une disruption dans une branche mais dans toutes les branches de l'industrie et de l'activité humaine, à un rythme exponentiel. Maints spécialistes sont donc fondés à anticiper la dureté de la transition, du fait du découplage entre productivité et emplois humains, du fait que la maintenance et l'amélioration des machines soient à l'avenir assurées par d'autres machines<sup>47</sup> et du fait que les machines produiraient de l'art (musique, peinture, cinéma, littérature, etc.) plus stimulant, divertissant et enrichissant à certains égards. Ainsi, l'accélération sans précédent du progrès technologique et l'accélération corrélée des compétences de l'I.A. dans tous les domaines jusqu'ici réservés aux êtres humains préfigurent une destruction importante de certains emplois avant l'éventuel rééquilibrage des activités proprement humaines (incluant la collaboration avec les machines) et des activités propres à l'I.A.

En ce sens, la société utopique dans laquelle chacun serait de libre de travailler comme et quand il le souhaite n'est donc pas appelée à se vérifier avant longtemps. En outre, la fin de l'effort sinon de tout ce qui est susceptible de nous déplaire signifierait la fin d'une expérience jusqu'ici constitutive de notre humanité. Or, si l'on entend préserver certaines catégories de cette expérience, il faudra une éducation philosophique longue et exigeante ou une discipline sociale encore inédite pour que chacun accomplisse, de son propre chef, une tâche non immédiatement gratifiante. Par conséquent, ni les emplois humains ni les autres domaines dans lesquels les êtres humains produisent des efforts ne sauraient être raisonnablement investis par une I.A. qui rendrait toute prestation humaine superflue – et ce, même dans les pays tels que le Japon où, pour des raisons démographiques, l'I.A. deviendrait nécessaire à la réalisation des travaux et tâches que les nouvelles générations ne pourraient pas accomplir. Dans les tâches nécessaires, comme dans les tâches créatives et les actes de soin – d'amitié, d'éducation, de « care » – ou même d'accouplement, il serait dangereux de s'en remettre complètement à une I.A. car ce serait se séparer sciemment de l'Humanité par l'intermédiaire de l'I.A., et non plus seulement déposséder (sur le prétexte d'améliorer l'existence à moyen terme) une partie des êtres humains de leurs emplois, de leurs sources de revenus et de leurs projets actuels.



La prédiction elle-même fort optimiste d'une « Athènes digitale » ne tient, quant à elle, pas suffisamment compte de l'interaction entre l'Homme et son nouvel environnement, autrement dit de l'impact de l'I.A. sur la subjectivité, la sensibilité et l'intelligence humaines. C'est une prédiction qui, à l'Athènes des Anciens, se contente d'ajouter l'I.A., comme si les Hommes du XXI<sup>e</sup> siècle étaient, aujourd'hui déjà et demain encore, férus de philosophie, de poésie, de gymnastique et d'un certain type de relations sociales – comme si leur culture devait les y encourager demain ainsi que c'était le cas dans la Grèce antique ou bien comme si le temps libre devait suffire à la revalorisation de ces loisirs.

Nous devons raisonner à partir de l'état de nos aspirations, individuelles et collectives, de nos prédispositions et de nos relations sociales, en considérant nos propres forces – par rapport à

43. Cf. Nick Bostrom, *Superintelligence : paths, dangers, strategies*, Oxford, Oxford University Press, 2014.

44. Cf. J.-A. Schumpeter, *Capitalisme, Socialisme et Démocratie*, Paris, Payot, 1965.

45. On doit l'expression à Erik Brynjolfsson (économiste du MIT Center for Digital Business), qui voit dans le développement des machines et de l'I.A. en particulier l'opportunité, pour les êtres humains, d'accomplir demain surtout des tâches créatives, non plus les tâches nécessaires qui, d'ici 30, 50 ou 100 ans seront prises en charge par les robots. Il ne sera plus nécessaire de travailler, toutes les tâches rébarbatives étant accomplies par des « esclaves-robots » tandis que les hommes se consacreront à la philosophie, à la poésie, au sport et à leurs relations sociales.

46. Selon une étude d'Oxford réalisée en 2013 par Carl Benedikt Frey et Michael Osborne, les machines s'approprient d'ici 20 ans près de la moitié des métiers actuels et pourront aussi prendre en charge le travail intellectuel, la question se posant dès à présent de ce que vont faire les êtres humains, dans l'industrie et ailleurs. Caissiers, agents d'assurance, agents immobiliers, cuisiniers sont les plus rapidement exposés. Créatifs, compositeurs, chercheurs, ingénieurs et tous les métiers exigeant de l'intelligence sociale (ex. : enseignants) seraient beaucoup moins menacés. La colère des laissés-pour-compte est déjà sensible aux États-Unis et en Europe.

46. Cf. <https://futurism.com/googles-new-ai-is-better-at-creating-ai-than-the-companys-engineers/> (page consultée le 16/06/2017).

l'I.A.– et leur *possible* démultiplication dans le contexte d'une collaboration, autrement dit d'une interaction de plus en plus soutenue, avec l'I.A.

Les emplois détruits seront d'abord ceux dont le contenu est le moins intéressant. Et la crainte que l'I.A. soit à terme plus efficace que le top-management et les gouvernants de la planète, les humains devenant des collaborateurs secondaires puis superflus d'une I.A. se chargeant de sa propre maintenance, de sa propre amélioration et de l'invention de nouveaux systèmes d'I.A.<sup>48</sup>, peut être tempérée par l'hypothèse d'un renouvellement des moyens et des buts mêmes de la production, de l'organisation et des échanges, synonyme –grâce à l'I.A.– de l'essor de nouvelles possibilités, de la création de nouveaux métiers et nouvelles responsabilités parmi les humains. D'après C. Benedikt Frey et M. Osborne (Université d'Oxford), l'I.A. est en effet la nouvelle électricité : elle se logera partout en créant de nouveaux métiers que nous ne pouvions pas nous représenter avant son apparition.

Puisque les intuitions et fulgurances créatives de l'I.A. ne sauraient être rigoureusement identiques à celles dont nous sommes déjà capables et à celles dont l'I.A., en nous assistant et en nous augmentant, nous rendra capables, il nous appartiendra plus que jamais de flâner et de rêver, sinon de perdre du temps sans que cela soit considéré comme du « non-travail ». C'est ainsi que nous saurons imaginer d'autres jeux que les échecs et le *go*, construire de nouvelles « cathédrales » mentales ou de nouveaux montages caractérisés par une très haute abstraction.

Pour que nos rêves éveillés et nos pensées les plus rationnelles conservent leur fécondité propre, ils ne doivent justement pas être strictement « *data-driven* » (et les entreprises ne doivent pas aspirer à devenir simplement des « *data-driven organizations* »). D'une part, l'orientation à partir des « data » pâtit de biais et d'une opacité déjà constatés à travers certains résultats produits par l'I.A. ; d'autre part, face à certains problèmes, il est souhaitable de faire abstraction de certaines données ou d'intégrer d'autres données que celles qui sont sélectionnées par des procédés logiques<sup>49</sup>. En ce sens, le recrutement, la sélection de candidats à un emploi ou en d'autres domaines, l'enseignement et les travaux de prospective n'ont pas vocation à être pris en charge par le modèle prédictif d'une I.A. ou à être « *data-driven* ».

---

48. Telle est la théorie du Dr Laurent Alexandre, fondateur de Doctissimo et Président de DNAVision, qui s'est exprimé devant le Sénat le 19 janvier 2017 : <https://www.youtube.com/watch?v=rJowm24piM4> (page consultée le 16/06/2017).

49. Cf. Bill Pardi, « If you want to be creative, don't be data-driven » (<https://medium.com/microsoft-design/if-you-want-to-be-creative-dont-be-data-driven-55db74078eda>, page consultée le 16/06/2017).

- **ANTHROPOCÈNE** : Le terme désigne une ère géologique marquée par l'impact globalement significatif des activités humaines sur la Terre.
- **BIG DATA** : L'expression désigne l'explosion du volume de données numériques aujourd'hui disponible et que les outils classiques de gestion de base de données ou de gestion de l'information ne peuvent pas traiter (le « big bang » de la quantité d'informations stockées et des données numériques est encore récent et a motivé le nouvel essor de l'I.A.)
- **CLOUD COMPUTING** : L'informatique en nuage ou nuagique désigne l'exploitation de la puissance de calcul ou de stockage de serveurs informatiques distants par l'intermédiaire d'un réseau, généralement Internet.
- **COBOTIQUE** : Le terme désigne la technologie qui promeut la collaboration entre l'humain et le cobot (robot collaboratif intelligent qui comprend ordres et démonstrations), en automatisant une partie des tâches de l'Homme.
- **COTTAGE INDUSTRY** : Le phénomène désigne la fabrication « à la maison », plutôt que dans un contexte industriel, de produits et services qui sont, le plus souvent, uniques et personnalisés.
- **CROWD-SHIPPING** : Le *crowd-shipping* désigne un mode de livraison qui fait appel à des particuliers pour assurer tout ou partie de la livraison d'un produit.
- **DESIGN GÉNÉRATIF** : Cette technique consiste à concevoir une machine, généralement un logiciel, capable de générer des formes à partir d'informations (paramètres, contraintes, ...). De la sorte, des formes inédites, auxquelles une intelligence humaine n'aurait pas songé, sont imaginées, sous le contrôle des utilisateurs.
- **DESIGN BIO-SOURCÉ** : Le bio-mimétisme est la source du design génératif. Il consiste dans l'étude de la manière dont la nature accepte ou rejette une forme, un concept. Le design bio-sourcé désigne alors la technique d'imitation des schémas de développement naturel pour la conception et la fabrication de nouvelles formes.
- **DIGITAL TWIN** : Le « jumeau numérique » ou « *digital twin* » de l'entreprise est constitué par l'ensemble des jumeaux numériques de ses machines et outils nécessaires à la conception, à la production et à la commercialisation. Ces jumeaux numériques dupliquent les machines et outils connectés, autrement dit équipés de capteurs qui permettent de renseigner constamment le système à propos de leur fonctionnement. La modélisation 3D est un exemple de duplication numérique d'objets physiques dans le but de les étudier.
- **DISRUPTION** : La disruption désigne particulièrement l'arrivée de nouveaux entrants qui perturbent un marché par le bas, en se servant des nouvelles technologies pour proposer des produits ou des services moins chers. Il s'agit, plus largement, d'une méthodologie dynamique tournée vers l'invention, la création de produits et services radicalement innovants, si bien que la disruption n'est pas seulement réservée aux start-up.
- **DIY (« do it yourself »)** : L'expression désigne, bien sûr, le fait de concevoir soi-même un objet et implique, au-delà, une certaine philosophie ou un certain état d'esprit qui consiste à ne pas demeurer simplement spectateur ou consommateur de quelque chose (d'un produit, d'un service, d'un bien culturel, d'une expression artistique...).
- **ÉCONOMIE D'USAGE ET DE PARTAGE** : Au lieu de posséder les produits, les consommateurs les louent, en étant rémunérés par ailleurs pour les biens qu'ils offrent à la location, ou bien les empruntent en prêtant eux-mêmes certains de leurs biens, sur des plateformes synonymes de désintermédiation. Cette nouvelle économie, qui génère un nombre si important de données à traiter par l'I.A., tend à simplifier la vie quotidienne, tout en contribuant à accélérer celle-ci à travers le raccourcissement de tous les délais et le rapetissement du monde qui lui est assorti. Elle accélère la disruption de nos modes de vie en disruptant d'abord un grand nombre de services et industries structurées verticalement.

- **ECONOMY ON DEMAND** : L'expression désigne la capacité technologique augmentée de certaines sociétés à délivrer un bien ou service pour satisfaire un besoin immédiat. Amazon one hour delivery, Uber, AirBnB, BlaBlaCar, Shoppable ou Keep sont les parfaites illustrations de ce phénomène. En « mixant » la proximité de l'économie de village aux possibilités des nouvelles technologies, ces sociétés remettent les individus, les contacts directs et la confiance au cœur des processus commerciaux.
- **EDGE/FOG COMPUTING** : Le *Cloud computing* désigne un monde encore centralisé, plus exactement un monde dans lequel les informations restent centralisées. Tandis qu'une recherche sur Google est traitée dans le *Cloud*, un objet connecté n'a *a priori* pas besoin de communiquer avec ce dernier et d'attendre que les informations soient traitées afin que lui soient retransmis des ordres. Le traitement des données en temps réel peut se faire au plus près des objets connectés, autrement dit de l'endroit où l'information est collectée. Nous basculons alors du *Cloud* vers le *Fog computing* ou le *Edge computing*, lesquels constituent deux manières de rapprocher l'intelligence des différentes sources de données. La connectivité est locale (*ad hoc* et *peer-to-peer*), tout comme le contrôle et la décision.
- **FAB LAB** : Le « fab lab », contraction de « *fabrication laboratory* », est un lieu alternatif de fabrication dont le fonctionnement s'inspire du cadre constitué par le MIT (Massachusetts Institute Technology) qui en a défini la forme et la charte de gouvernance, à la fin des années 1990.
- **FABRICATION ADDITIVE** : Celle-ci désigne les procédés de fabrication par ajout de matière, précisément par empilement de couches successives, généralement assistés par ordinateur. Elle s'oppose à la fabrication soustractive ou par retrait de matière, telle que l'usinage.
- **INTERNET OF THINGS (IOT)** : L'IoT ou Internet des Objets désigne l'extension d'Internet à des objets et dispositifs physiques. Ces derniers communiquent des informations et des données au réseau en étant directement connectés. L'IoT est en grande partie la cause de l'explosion de la quantité de données numériques désormais exploitables par l'intelligence biologique et par l'intelligence artificielle. Il constitue la troisième évolution de l'Internet, après l'émergence du web social et l'apparition du web proprement dite. D'ici 2025, plus de 100 milliards d'objets devraient ainsi pouvoir communiquer entre eux et communiquer avec des milliards d'individus. Les algorithmes intelligents seront seulement capables, alors, de traiter la masse d'informations générées, ce qui fait peser des menaces sur les données personnelles et sur la nature des décisions visant l'IoT.
- **MACHINE LEARNING (& DEEP LEARNING)** : Le « *Machine Learning* » désigne cette branche de l'I.A. qui permet aux machines d'accomplir des tâches à partir d'un apprentissage autonome. En imitant la connaissance et l'intelligence humaines en certains domaines et en traitant un nombre immense de données, la machine crée elle-même un modèle général de prédiction plus précis, plus complexe et plus performant que les modèles produits par les êtres humains (qui produisent au mieux un ou deux bons modèles par semaine, là où le « *Machine Learning* » permet d'en produire des milliers). Le « *real-time machine learning* » permet d'ajuster le modèle en permanence, selon les données recueillies : ses usages sont notamment l'orientation d'un client vers les produits adéquats sur un site web, la réécriture d'un contenu web dans le but de le rendre plus adéquat pour l'utilisateur, la détection immédiate des fraudes, le renforcement de la sécurité grâce à une meilleure authentification des individus... On parle de « *Deep Learning* » lorsqu'il y a plus de deux couches au sein d'un réseau de neurones artificiels.
- **REINFORCEMENT LEARNING** : Le « *Reinforcement Learning* » désigne la capacité d'une machine à apprendre toute seule, non plus en traitant des millions ou milliards de données (exemples ou données brutes) mais en étudiant la manière dont certains agents se comportent, jouent ou décident dans telle ou telle situation. Ce mode d'apprentissage par essais-erreurs est le plus proche du fonctionnement biologique du cerveau humain et du cerveau animal.



“ Dans un avenir plus ou moins proche, on peut donc avoir des ateliers de production encore plus flexibles, ayant la capacité de produire le produit unique pour la personne ou le marché qui le demande. ”

**Sylvain LEGRAND**, Territory sales executive, Autodesk.

Autodesk est une société américaine qui édite des logiciels de création et de contenu numérique, notamment spécialistes des techniques de fabrication additive, combinées ou non au design génératif (à des solutions d'Intelligence Artificielle).

### En quoi consiste le design génératif ?

Par rapport aux méthodes classiques de conception, le design génératif consiste à donner des critères à une solution, à un ordinateur, pour aider le concepteur à réaliser un objet ou une fonction. Traditionnellement, on passe par une phase de design quand on veut créer un objet. On va le dessiner soit dans sa forme actuelle, soit dans la forme qu'on souhaite lui donner, puis on va faire tout un travail d'adaptation du concept à l'outil industriel. **Avec le design génératif, on ne va pas passer par cette phase de dessin mais donner à l'ordinateur des contraintes et des objectifs**, qui peuvent être de type volumique : « *propose-moi une forme dans cet espace donné* ». Ensuite, il peut y avoir des contraintes de poids et de matière, pourquoi pas de prix, ou bien des contraintes mécaniques. À partir là, la solution va analyser et combiner l'ensemble de ces critères pour aboutir à des milliers voire des millions d'options possibles, basées sur l'ensemble des objectifs et contraintes. Elle arrivera finalement à un sous-ensemble d'options qui semblent les plus proches de ce que le concepteur aura demandé. Puis le travail du concepteur sera justement d'analyser ces options et de sélectionner celles qu'il lui semble le plus intéressant d'industrialiser. L'approche est complètement différente.

### En quoi, précisément ?

On prend souvent l'exemple de la chaise conçue grâce au design génératif, parce qu'il est assez simple. Dans le domaine des drones, un certain nombre de travaux ont été effectués avec le design génératif. Il est très compliqué de demander à un ingénieur de réduire le poids ou le volume d'une pièce de 30 % tout en respectant, par ailleurs, un certain nombre de critères déjà évoqués, pour atteindre une forme qui respecte tous les critères. Or, le design génératif permet d'atteindre tous ces objectifs. Il prend notamment en considération les spécificités des matériaux et va proposer un design qui correspond aux propriétés mécaniques du matériau. Vous pouvez avoir un châssis de voiture, par exemple, dont la forme sera différente selon le matériau utilisé. Le design génératif ne génère donc pas strictement ou seulement une forme. En combinant certains critères, quel que soit leur nombre, la forme du produit va être orientée. S'agissant du design d'une chaise, la solution va proposer 100 ou 150 designs, tous les designs correspondant à vos objectifs de départ. Mais tous ne seront pas effectivement industrialisables, pour tout un tas de raisons liées soit à votre sensibilité, soit à votre outil de production, soit au marché ou à un tout un tas d'autres choses. **La source du design génératif est le biomimétisme**. Cela consiste à étudier la manière dont la nature accepte ou rejette une forme. On utilise deux algorithmes qui correspondent aux deux schémas de croissance que l'on trouve dans l'univers du vivant – celui du développement cellulaire et celui du développement osseux

des mammifères. Pour une paroi destinée à un avion Airbus, la structure extérieure a été conçue sur la base du développement cellulaire, la faculté des organismes micro-cellulaires à s'accrocher simultanément en différents points ayant été mise en équation et utilisée pour ladite structure. Et pour l'intérieur, le développement s'est basé sur un quadrillage que l'on retrouve dans le développement des squelettes de mammifères, en intégrant le fait qu'on va mettre plus de matière aux points de tension. La paroi est un ensemble d'enchevêtrements avec des points de tension à certains endroits où il va falloir rajouter de la matière. Toutes ces contraintes sont déjà prises en charges, calculées par les algorithmes de conception. Ce qui n'empêche pas de passer ensuite par une phase de simulation pour bien valider que le design généré réponde à l'objectif initial. Les deux schémas de croissance ou de développement tout juste évoqués sont utilisés en d'autres domaines pour d'autres types de conception.

### Quel est son lien avec la fabrication additive ?

On fait souvent le lien entre les deux sujets parce que si on est capable de donner vie à une forme très complexe, il n'y a aujourd'hui que la fabrication additive pour réaliser la pièce. Or, aujourd'hui, le design génératif est utilisable par les industriels sans avoir forcément recours à de la fabrication additive. La combinaison des deux va permettre à chacun d'avancer de façon très importante. Mais un industriel qui, aujourd'hui, veut revoir le design d'une pièce a tout intérêt à s'appuyer sur le design génératif, soit au travers de l'optimisation technique soit en ayant recours à des étapes de design génératif dès le début de la conception. Si la pièce que vous obtenez de la solution est très complexe à fabriquer, vous pouvez peut-être réduire ou revoir vos critères et vos objectifs de conception pour que la solution vous donne des formes plus proches de vos contraintes industrielles. Prenons l'exemple de Hack rod, ce fabricant de véhicules indépendants, de petites séries de véhicules particuliers, qui a utilisé le design génératif et a pu ainsi alléger de 25 % le poids du châssis. Or, la réalisation a impliqué un procédé de soudage, donc un procédé traditionnel. Le design génératif a un intérêt pour le monde industriel, que l'on aille ou non vers la fabrication additive. De même qu'aujourd'hui, la fabrication additive a déjà un intérêt pour certains industriels sans nécessité de recourir au design génératif. La combinaison des deux permet cependant d'ouvrir des perspectives beaucoup plus importantes, notamment dans le secteur aéronautique et dans le secteur médical. On va alors vers des formes complexes que l'on peut réaliser en petites séries, parce que l'un permet d'avoir des designs non conventionnels –le design génératif– et l'autre permet de réaliser ces concepts –la fabrication additive. D'ailleurs, **on entend souvent par celle-ci l'impression 3D alors que la fabrication additive ne s'y réduit pas**. L'impression 3D consiste à fabriquer une pièce dans un matériau X ou Y. Or, la fabrication additive, c'est aussi la technologie de soudage par robot. Considérez une hélice ou une turbine d'avion ou de bateau. Imaginez qu'un objet a cassé un ou deux pales de celle-ci. Ce sont des objets de très haute précision, comparables à la fabrication horlogère, en termes mécaniques. Aujourd'hui, avec la fabrication additive, il est possible de fabriquer, sur la turbine en question, uniquement le pale ou les deux pales dont on a besoin, puis de faire de l'usinage pour traiter la surface nécessaire. [...] Il n'y a pas de lien, ici, avec le design génératif dans la mesure où l'on reconstruit la pièce à partir de sa forme d'origine. Mais avec ces nouvelles formes de fabrication additive, par exemple celle qui recourt à un robot de soudage, on a pu concevoir un pont à Amsterdam. Son design a été réalisé en génératif puis il a été fabriqué, sans intervention humaine, avec des technologies de soudage par robot<sup>1</sup>. Voilà donc un exemple de lien entre le design génératif et d'autres technologies de fabrication additive qui ne sont pas de l'impression 3D.

### De quelle manière le design génératif peut-il transformer le système productif ?

Le design génératif peut transformer le système productif de différentes façons : d'une part, parce qu'on aboutit à des formes qu'aucun ingénieur ne pourrait imaginer de lui-même –c'est une première forme de rupture puisque les formes imaginées sont non conventionnelles– et, d'autre part, le concepteur va adapter la situation en fonction de l'outil industriel à sa disposition. Soit il veut continuer d'aller vers un outil industriel classique, vers des moyens de

1. Cf. <http://tempsreel.nouvelobs.com/immobilier/vieurbaine/20160713.OBS4593/construire-un-pont-grace-a-une-imprimante-3d-amsterdam-le-fait.html> (page consultée le 12/06/2017).

fabrication classique tels que l'usinage ou le moulage ou encore d'autres types de technologie traditionnelle, et il peut alors choisir de se limiter dans son design par rapport à ce qui est aujourd'hui possible et disponible. Soit il choisit d'aller vers des outils de fabrication qui n'ont quasiment aucune limite, tels que la fabrication additive. Les seules limites actuelles de la fabrication additive sont : 1) la taille des pièces : dans certains cas, les machines ne sont pas assez volumineuses pour fabriquer les pièces en question ; 2) la contrainte de matériau : il n'y a aujourd'hui que quelques dizaines de matériaux disponibles quand, dans le domaine industriel au sens large, on a plusieurs milliers de matériaux à sa disposition ; 3) le coût de fabrication : fabriquer aujourd'hui des pièces en 3D, selon le matériau utilisé, peut s'avérer relativement coûteux. Il s'agit d'établir la balance entre le côté très novateur, disruptif, du concept que la solution de design génératif vous a proposée et les moyens de production que vous avez à votre disposition. [...] Si l'on va vers une approche intégrant complètement la fabrication additive, on peut aller plus loin, mais il faut alors des machines plus volumineuses dans certains domaines ou des matériaux plus adaptés à la réalisation de la pièce. [...] Aujourd'hui, **la fabrication additive apporte une réelle plus-value pour la fabrication de pièces sans recourir à des méthodes de fabrication susceptibles d'être trop lourdes.** Là où vous avez besoin d'un moule pour fabriquer une pièce, il faut concevoir ce moule, l'usiner et le mettre en service au travers de machines, ce qui s'avère coûteux au démarrage mais qui, lorsque vous avez des centaines de milliers de pièces à produire, permet de réaliser des économies d'échelle sur la fabrication de la pièce en tant que telle. Mais si vous avez des petits volumes de pièces ou des pièces très spécifiques à réaliser, les méthodes traditionnelles peuvent s'avérer coûteuses et longues en termes de mise en service. Avec la fabrication additive, vous allez donc vers des approches beaucoup plus rapides et beaucoup plus flexibles. Et si l'on combine design génératif et fabrication additive, alors s'étend encore plus la capacité des entreprises à concevoir des produits totalement novateurs et à leur donner vie.

### Quels sont les départements et métiers de l'entreprise industrielle les plus immédiatement transformés par l'essor du design génératif ?

Aujourd'hui, à l'instant T, les services Méthodes et les départements qui sont en relation avec la fabrication. Prenons l'exemple d'une société qui travaille dans le domaine médical. Ils ont trois ou quatre imprimantes 3D pour faire des prothèses. Il y a, du reste, un certain nombre d'industriels dont les départements, je songe à leurs services Méthodes et services de fabrication, qui sont directement en prise avec cette nouvelle manière de produire. Et nous, avec la partie conception, nous remontons en amont dans le cycle de design, de conception de la pièce. En termes de jargon, on parle de design pour parler de conception mais si vous êtes dans l'automobile ou dans l'aéronautique, les gens qui font du design sont des gens qui font de la forme. La forme, c'est le domaine des créateurs, de celui qui va dessiner et créer une nouvelle forme comme une nouvelle automobile, un nouveau fuselage, une pièce esthétique. On les appelle les designers. Et ceux qui font du design, dans le jargon de la 3D, ce sont ceux qui sont en amont, au tout début du cycle. Les bureaux d'étude, eux, vont prendre le concept et commencer à l'industrialiser au cours de cette étape de conception qui va consister à faire le lien entre le produit que l'on imagine et sa fabricabilité, c'est-à-dire la façon dont on va pouvoir le fabriquer, le réaliser d'un point de vue économique, etc. Or, nous remontons jusqu'aux premières étapes du design, en fournissant aux designers des solutions permettant de rompre avec leur environnement actuel, avec les connaissances établies. **Aujourd'hui, les gens les plus ouverts à nos technologies sont les designers car ils sont créatifs, doivent réfléchir à de nouvelles approches, à de nouveaux produits,** et ils voient bien l'intérêt de donner libre cours à de nouvelles voies. Les bureaux d'étude sont un peu plus réfractaires. Ils considèrent la chose sous l'angle de la dépossession de leurs attributions, de leurs compétences, plutôt que sous l'angle de la collaboration. Néanmoins, nos solutions permettent de récupérer un modèle de conception pour passer ensuite à la phase de fabrication additive.

### Comment ?

Nous avons une solution, un outil qui s'appelle Netfabb, centrée sur le passage du monde de la conception vers la fabrication additive. Dans notre solution de conception 3D Inventor, nous

avons des fonctionnalités d'optimisation topologique, ce qui a un lien avec le design génératif sauf que vous partez d'un concept existant. Par exemple, j'ai une pièce rectangulaire qui sert de soutien à d'autres éléments dans mon assemblage et je veux optimiser le poids de cette pièce ; cela va être long et laborieux pour un ingénieur de savoir comment évider la pièce et/ou modifier sa forme pour en diminuer le poids, alors on utilise quelques fonctionnalités de design génératif pour permettre aux dessinateurs, aux techniciens, d'alléger la pièce de tant de grammes ou de kilos, ce qui permet d'économiser du matériau et le prix de revient de la machine. Au niveau du bureau d'étude, c'est ce qu'on appelle l'optimisation technique et cela peut être fait aujourd'hui avec nos solutions. Cela peut conduire à la réorganisation des fonctions du bureau d'étude ou en tout cas des étapes au travers desquelles on aboutit à un nouveau design. Cela peut, à terme, réorganiser les tâches au sein du bureau d'étude même si le design génératif, en soi, n'évite pas de passer par les autres étapes de la conception : la simulation mécanique, par exemple, qui est l'étape au travers de laquelle on va valider que la forme, le concept obtenu, est bien en adéquation avec les contraintes de fabrication, soit de résistance, soit des critères comportementaux assignés au nouveau produit ou à la nouvelle pièce.

### Vous avez certainement été amené à observer quels secteurs de l'industrie en sont aujourd'hui les plus friands...

Il y a un vrai bouillonnement. On voit que les fabricants d'imprimantes 3D s'encastrent, en nombre, dans les marchés de l'après-vente. On peut prendre une pièce et la fabriquer pour la remplacer dans n'importe quel système électrique, de plomberie, etc. Ce qui manque aujourd'hui, d'un point de vue « grand public », c'est que les coûts de fabrication de l'impression 3D soient suffisamment attractifs pour que le produit proposé soit accepté par le marché, par le client. On comprend aisément que, même si vous remplacez la pièce d'un appareil électroménager et que cela vous coûte plus cher que l'appareil en question, vous allez éviter de dépenser plus que pour obtenir le même produit neuf, sauf si cet appareil a une très grande valeur et que vous souhaitez le faire fonctionner à nouveau. Mais si, enfin, la pièce à remplacer est proposée à un prix raisonnable, cela peut amener le consommateur à dépenser peut-être un peu plus que s'il achetait une pièce normale dans le commerce, à ceci près que cela lui permet de prolonger la vie de son appareil de 6 mois, 1 an, 2 ans. Le prix de production des pièces dans la fabrication additive est donc un facteur-clé, au-delà du fait que de nouveaux matériaux arrivent sans cesse dans ce domaine. **Là où l'on a besoin de faire des produits unitaires ou à très forte valeur ajoutée, le design génératif combiné à la fabrication additive a un véritable intérêt** et l'on voit que cela commence doucement à prendre de l'ampleur dans le monde industriel. L'industrie médicale est à la pointe actuellement. Elle a besoin de fabriquer des pièces unitaires, telles qu'une prothèse interne ou externe, dans des matériaux résistants et très légers. L'aéronautique également. Ce secteur recourt à la fabrication additive depuis plus longtemps. Les travaux réalisés avec Airbus en vue d'alléger le poids des avions suscitent un grand intérêt. Plus vous économisez le poids des avions, plus vous pouvez soit intégrer plus de confort et d'équipements pour les passagers, soit réduire les consommations de carburant sans remettre en question la sécurité des passagers ni l'efficacité de l'avion. Des pièces de petites séries caractérisent souvent le secteur aéronautique et la fabrication additive est alors plus efficace. Le reste du monde industriel n'a pas les mêmes contraintes. Dans le secteur automobile, il y a déjà eu beaucoup de réflexions sur l'allègement des véhicules. On est passé, il y a quelques années, à de nouveaux matériaux pour les châssis. Depuis 20-30 ans, on a normalement réduit la consommation des moteurs. Sauf que si vous regardez les 15-20 dernières années, les moteurs consomment quasiment la même quantité de carburant. C'est que, désormais, dans les voitures, vous avez beaucoup plus d'équipements qu'il y a 20 ans. [...] L'automobile commence à venir à la fabrication additive mais sa problématique est vraiment celle de la fabrication de pièces en grande série, là où la fabrication additive n'est pas adaptée. [...] Ici, il vaut mieux envisager le design génératif indépendamment de la fabrication additive dans un premier temps, notamment pour alléger le châssis d'un véhicule, en passant par des techniques de fabrication traditionnelles.

En vous écoutant, on pense à cette phrase d'Elon Musk à propos de la Gigafactory de Tesla où « les machines fabriqueront les machines ». Peut-on envisager déjà ou pour bientôt une solution de design génératif qui prenne tout en charge, sans intervention humaine ?

[...] Comme on est aujourd'hui capable de relier un design physique, une pièce existante, à des réseaux de neurones ou à d'autres solutions permettant de réaliser des calculs, on peut remonter les résultats d'utilisation de la pièce en situation pour que la solution ait de nouveaux critères exploitables en vue d'optimiser la pièce. **On est donc déjà dans un système où la solution conçoit d'elle-même, ou presque, le produit ou le fait évoluer elle-même.** Une telle tâche est très compliquée pour un ingénieur alors que des dizaines de capteurs sur un véhicule remontent directement des informations à la solution qui dit : « là, en tenant compte de la contrainte du châssis à tel endroit, je vais modifier ce critère à un autre endroit mais sans altérer l'ensemble de ma conception ». Seules les solutions d'Intelligence Artificielle peuvent y parvenir.

**La combinaison du design génératif et de la fabrication additive peut-elle conduire à une production plus durable, plus ciblée et plus pondérée ou à une inflation de produits manufacturés ?**

Ce qui est sûr aujourd'hui, c'est que la demande est de plus en plus exigeante, avec la nécessité d'offrir des produits de plus en plus personnalisés en particulier. Prenons l'exemple de *Under Armour*<sup>2</sup>, qui a conduit avec nous des travaux sur la conception de semelles fabriquées en design génératif associée à l'impression 3D. Lorsque vous voyez le design de la semelle, celui-ci est impossible à réaliser au travers de technologies d'injection plastique et de moulage comme celles qu'on utilise pour les semelles habituelles. Là, il n'y a que la fabrication additive qui puisse réaliser ce type de semelle. Or, nous allons vers des produits de plus en plus personnalisés réalisés grâce aux mêmes procédés. **Cela ne veut pas forcément dire beaucoup plus de produits demain sur le marché ; cela veut dire qu'on aura peut-être chacun, à l'avenir, la paire de chaussures unique qui correspondra à notre morphologie** comme cela veut dire qu'on aura peut-être plus d'équipements spécifiques pour répondre à des besoins particuliers. Il pourrait donc y avoir, en effet, plus de produits spécifiques mais, a contrario, ces produits pourraient être encore plus polyvalents. On pourra avoir une chaussure couvrant encore plus de contraintes, dont on fera des usages encore plus larges. Si demain vous avez besoin d'un nouveau lampadaire, –prenons l'exemple de Leroy Merlin ou d'une société qui fabrique des produits pour la maison–, vous n'allez pas mettre plus de lampadaires au mur que vous n'avez de prises ou de besoins d'éclairage chez vous. Par contre, avoir un éclairage unique au monde parce qu'il a été fabriqué suivant votre goût, cela a un intérêt. Je ne suis pas sûr que cela amène plus de produits sur le marché.

**S'il ne s'agit plus d'acquérir le lampadaire de telle série, chez Ikea par exemple, mais d'avoir son lampadaire, son objet façonné selon sa personnalité, son goût personnel, alors on peut supposer que la production de masse soit remise en cause dans certains secteurs.**

Oui, parce que si l'on prend l'exemple d'Ikea, le fait qu'ils aient des prix aussi attractifs leur a permis d'optimiser leur approche de standardisation de manière assez extraordinaire. On a le même nom de produit dans tous les pays et on retrouve les mêmes meubles un peu partout. Or, au lieu de cette standardisation extrême, on peut avoir, demain, des unités de production beaucoup plus réduites, parce qu'on fabriquera des produits unitaires. Alors peut-être qu'on fabriquera en plus grande quantité parce que les gens auront accès au produit qui leur va bien alors qu'aujourd'hui ils ne le trouvent pas encore sur le marché. Cela contredit un peu ce que j'ai dit tout à l'heure. Disons que dans certaines situations, on pourrait voir une augmentation de la production de produits correspondant à un besoin particulier, avec des unités de production qui seront certainement amenées à changer puisque la production de masse sera moins

2. Cf. <https://www.youtube.com/watch?v=bEYIzZEs2TY&list=PLVO1TEpjO6F0Y0DxhYCKrCmrT4f1uwE4m&index=12>

adaptée. Là où l'on a déjà commencé à optimiser les cycles de production avec des productions « juste à temps », par exemple dans l'industrie automobile, dans les unités de production de PSA, Mercedes ou ailleurs dont la cadence est de 10 ou 20 véhicules de telle référence, les sous-traitants sont capables de lancer sous 24-48 heures la production de 10 sièges pour tel modèle, 10 sièges pour tel autre, sans stock. On produit très exactement les sièges qui vont correspondre aux véhicules qui sont sur la chaîne de production. **Dans un avenir plus ou moins proche, on peut donc avoir des ateliers de production encore plus flexibles, ayant la capacité de produire le produit unique pour la personne ou le marché qui le demande.** Une production plus durable, on peut l'imaginer en effet, car si l'on met en œuvre moins de matière et moins d'énergie pour fabriquer la pièce, donc *in fine* moins d'énergie également pour la recycler, on est dans un contexte de développement durable plus abouti. On produit mieux en limitant l'énergie et la matière nécessaires à la fabrication. Au niveau de l'utilisation, le recyclage est lui aussi amélioré. Et puis la quantité d'énergie nécessaire à cet usage est également limitée. Si l'on prend l'exemple de l'avion, Airbus annonce des économies de kérosène assez importantes après avoir mis en œuvre le design génératif, [...] ce qui signifie moins de rejet de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. On ne peut pas obtenir, pour autant, une industrie sans déchet. Les matériaux utilisés pour la fabrication additive, pas forcément le plastique mais par exemple les matériaux métalliques qui sont souvent en poudre pour être ensuite fusionnés lors de la phase de fabrication de la pièce, génèrent tout de même un surplus de poudre qui ne peut pas être remis dans la machine afin de relancer un cycle de production. Il y a des contraintes, d'hygro-métrie par exemple, liées aux propriétés physiques, pour atteindre l'objectif de fabrication. [...] Ceci dit, si l'on compare avec la fabrication soustractive ou à de l'usinage traditionnel lorsque vous partez d'un « brut », d'un bloc de matière, qui est usiné à 80 % afin d'obtenir la pièce voulue, on a certainement une consommation de matière et d'énergie beaucoup plus importante que si vous recourez d'emblée à la fabrication additive. Même si l'on a aujourd'hui des procédés de fabrication additive qui nécessitent un peu d'usinage, autrement dit même si vous avez des traitements de surface, dans la fabrication additive, qui ne permettent pas d'obtenir des surfaces aussi lisses, d'une qualité aussi élevée, que celles obtenues par l'usinage. Même si vous concevez votre pièce en une fois et assez rapidement, sans les contraintes déjà évoquées, il faut passer par une étape d'usinage pour réaliser le traitement de la surface nécessaire. Il y a toutefois un vrai bouillonnement dans ce domaine. Assurément, on va vers quelque chose de plus durable, de plus économique et de plus écologique.

### Quel rapport voyez-vous entre le design génératif associé à la fabrication additive et le phénomène des fab labs ?

Le Techshop de Leroy-Merlin a déjà une certaine notoriété auprès du grand public mais, sur la place parisienne, il y a aussi Usine IO, Station F, le concept de Xavier Niel récemment inauguré, qui sont des espaces de « makers ». Il s'agit d'une mouvance nouvelle qui ne consiste pas simplement à partager une machine et des compétences mais à offrir un laboratoire d'accès aux nouvelles technologies pour travailler sur des concepts novateurs là où les industriels n'ont pas encore franchi le pas pour les intégrer à leur cycle de fabrication. Ce sont des incubateurs.

### Reste-t-il à imaginer les synergies de demain entre l'industrie et ces incubateurs, fab labs, lieux d'innovation, espaces « makers » ? Peuvent-ils joindre leurs forces ?

Nous parlions des bureaux d'étude un peu plus tôt. Je pense qu'on va voir à très court terme leur rôle évoluer aussi au travers de ce phénomène des fab labs. Si historiquement et aujourd'hui encore le bureau d'étude est vraiment la tête pensante de l'entreprise, ce n'est pas parce que vous n'êtes pas au bureau d'étude que vous n'êtes pas un inventeur, un créateur, un « maker » pour employer la terminologie actuelle. On voit aujourd'hui déjà des personnes dans l'entreprise avoir des idées et aller à la rencontre de ces lieux qui proposent des nouvelles technologies, que ces personnes peuvent utiliser à titre individuel et qu'elles peuvent ensuite rapporter dans le monde professionnel. [...] Là où vous êtes incapable de concevoir certains produits selon certaines contraintes parce que vous n'avez pas les connaissances ni les outils

de base pour le faire, il devient possible, sans recourir à des moyens très importants, d'accéder à des solutions, d'être éventuellement guidé par quelqu'un qui va vous permettre de créer un objet, par exemple une paire de rollerblades conçue en design génératif. [...] **On peut alors voir évoluer le rôle du bureau d'étude et l'envisager, non plus comme le lieu unique de la création, mais comme un incubateur ou un lieu de centralisation de la réflexion autour de l'évolution des produits.** Si l'on fait un parallèle avec l'évolution observée s'agissant de la donnée 3D, notamment de toute la technologie de Réalité Virtuelle, on voit que cela intéresse le service marketing, le service commercial, le S.A.V., de pouvoir manipuler des modèles soit dans des lunettes de réalité virtuelle, soit sur un PC, une tablette, alors que les images ou les modèles étaient auparavant beaucoup trop gros pour être manipulés par tout le monde et étaient par conséquent réservés aux gens du bureau d'étude. [...] Du fait d'ouvrir à d'autres équipes l'accès aux données et de partager la connaissance avec d'autres personnes, viennent des discussions et des idées émanant d'autres services. Les technologies et la créativité ne sont plus réservées à un sous-ensemble de personnes dans l'entreprise. On passe désormais d'un concept à un produit réel en des temps très resserrés et l'on a donc aujourd'hui des sociétés qui nous demandent déjà si nous sommes capables, avec nos solutions, de passer très rapidement d'un modèle 3D à un produit réel en quelques heures. Si l'on adopte les techniques de fabrication traditionnelles, la réponse est oui. Et si l'on adopte le design génératif associé à la fabrication additive, la réponse est encore oui. Cela signifie qu'on va voir à très court terme des fonctionnalités dans l'entreprise qui vont s'intégrer, notamment le bureau d'étude avec la fabrication qui sont aujourd'hui souvent deux pôles séparés. ■



“L’I.A. ne supplante pas l’humain mais permettra d’automatiser des travaux répétitifs(...) et de mettre au point des systèmes de détection des comportements.”

**Laurent HAUSERMANN**, cofondateur et directeur de Sentryo

Société spécialisée dans la cybersécurité industrielle, Sentryo permet aux entreprises, d’assurer la disponibilité, la résilience et la cybersécurité de leurs systèmes industriels tout en luttant contre les cyberattaques. Son offre ICS CyberVision utilise une technologie unique de surveillance des systèmes industriels pour améliorer leur intégrité et lutter contre les cyber-incidents.

### Comment les systèmes industriels se protègent-ils aujourd’hui contre les menaces et attaques, internes ou externes ?

Aujourd’hui, ils ne se protègent pas, c’est aussi simple que ça ! Les systèmes industriels n’ont pas, à la base, été conçus pour lutter contre des menaces et se protéger contre des actions malveillantes. Ils ont été conçus pour se protéger contre les défaillances, c’est-à-dire contre le fait qu’un élément physique du système puisse tomber en panne, qu’une catastrophe naturelle provoque le débordement d’un réservoir, ou contre tout problème qui relève de l’erreur humaine ou d’une action non autorisée. C’est le domaine de la « sûreté de fonctionnement » qui est différent de la cybersécurité. Là où il y a un risque, on essaie de minimiser soit la probabilité du risque, soit l’impact d’un accident effectif. La cybersécurité industrielle relève d’une démarche différente : il s’agit de lutter contre une personne malveillante qui a du temps mais également des moyens financiers et la volonté pour parvenir à trouver le maillon faible qui va permettre d’attaquer le système. Malheureusement, **le monde de l’industrie n’est pas assez sensibilisé aux problématiques de cybersécurité, on dénote une absence de cette culture** : sécurité et cybersécurité ont tendance à s’opposer alors qu’elles devraient être complémentaires.

### Les systèmes industriels sont-ils particulièrement vulnérables et, si oui, pourquoi et comment ?

**Les systèmes industriels sont vulnérables car ils n’ont pas été conçus pour faire face à des actes malveillants.** De plus, la durée de vie des installations OT (*Operational Technology*) est souvent très longue, elles sont généralement renouvelées tous les 10 ou 15 ans. Il y a donc des vulnérabilités dues à l’obsolescence des installations qui se révèlent alors comme autant de failles s’exposant à des cybermenaces. Ces systèmes industriels sont également de plus en plus ouverts à de multiples intervenants. On note également de nombreuses vulnérabilités techniques : failles non colmatées, automates programmables non sécurisés, etc., qui augmentent le risque de cyberattaque. Enfin, les vulnérabilités des systèmes industriels sont aussi organisationnelles. En cause, l’absence de culture de la cybersécurité dans la communauté des systèmes de contrôle-commande et chez les industriels qui ont encore trop souvent tendance à penser que leurs infrastructures sont intouchables et impénétrables, mais aussi le manque de collaboration entre le monde de l’IT (*Information Technology*) et de l’OT. Autre point à prendre en compte, l’industrie fonctionne avec une logique de retour sur investissement. Lorsqu’un industriel investit dans un système, il va tout faire pour que ce dernier ait un cycle de vie le plus long possible. Cependant, une installation qui a 20 ans, à l’échelle de la cybersécurité, cela pose un vrai problème. La façon dont les systèmes sont conçus et pensés, implique qu’ils fonctionnent de manière identique pendant des années alors qu’il faudrait les

mettre à jour de façon très régulière, les améliorer, les maintenir. Dans l'industrie on effectue un « maintien en condition opérationnelle ». Il faudrait suivre la même démarche dans le domaine de la cybersécurité, et introduire un « maintien dans les conditions de sécurité » pour faire en sorte que les systèmes soient mis à jour, les failles corrigées et les vulnérabilités identifiées.

### Quels sont les enjeux de la cybersécurité pour le système de production ?

Les attaques sur les systèmes industriels se développent, se diversifient et peuvent avoir de graves conséquences sur l'outil de production, la production en elle-même, voire, dans certains cas, sur le personnel et le public. La modification des configurations nominales des installations peut provoquer des dégradations physiques avec le plus souvent des conséquences matérielles, et demain peut-être humaines. **En cas d'arrêt du système et de la chaîne de production, l'impact économique est important.** On pense forcément au système ferroviaire, à l'énergie, à la distribution d'eau, parce que si ces systèmes s'arrêtent, c'est toute la société qui s'arrête. En cas de prise de contrôle d'un automate ou d'un robot, l'impact peut être la mise en danger du personnel ou la pollution du site industriel et de son environnement. Les risques de cyberattaques sont nombreux et leurs impacts multiples et considérables.

### Ces enjeux devraient amener les industriels à se poser les questions du coût d'un arrêt de leur production et de la possibilité d'accidents graves ou mortels sur leur installation ?

Certains industriels savent précisément évaluer ces risques et leurs impacts. Chez Sentryo, nous avons un client qui exploite des plateformes pétrolières et qui sait que chaque journée de production représente plusieurs millions de dollars de pétrole extraits. En cas d'arrêt de son système par une attaque informatique, les pertes de l'entreprise seraient colossales !

### Les anti-virus et pare-feux traditionnels sont-ils obsolètes ou en voie d'obsolescence et l'I.A. est-elle plus efficace dans le contexte d'une menace de plus en plus logicielle ?

Ce n'est pas tant que la menace soit plus logicielle, c'est qu'elle est beaucoup plus sophistiquée et répliquable à l'infini. Les anti-virus et les pare-feux, ce sont des dispositifs traditionnels de sécurité communs qu'on trouve dans beaucoup d'environnements. Prenons l'exemple d'une maison : c'est un peu comme mettre des fenêtres et des portes à une maison. Est-ce qu'on peut s'en passer ? Évidemment non, car si on n'a pas de portes à sa maison, on ne contrôle pas qui y entre et qui en sort. Mais est-ce que ces protections suffisent à dissuader un cambrioleur motivé ? Non.

**Il faut comprendre que la menace est de plus en plus répliquable.** En effet, il est très facile pour quelqu'un de mal intentionné de reproduire des attaques informatiques pour les mener contre une nouvelle cible. Dans l'informatique, il est facile de récupérer un virus, sans pour autant le comprendre complètement, et de le retourner contre une autre cible. C'est ce qui fait que les protections traditionnelles sont souvent obsolètes. Dans ce contexte, il faut plus d'intelligence pour détecter les menaces. C'est pourquoi l'Intelligence Artificielle est de plus en plus utilisée dans les systèmes de cybersécurité. Elle intervient à deux niveaux : d'abord pour ajouter des critères plus fins et précis en vue d'une meilleure analyse des problèmes, ensuite pour faire le tri dans d'énormes volumes de données. Les opérateurs humains sauraient sûrement faire les mêmes analyses mais il faudrait un temps considérable pour trier toutes les data et reconnaître « l'aiguille dans la botte de foin ». Ainsi avec l'I.A., « les pupitreurs » disparaissent et sont remplacés par des analystes plus compétents et mieux formés. Il analyse 0,1 % des événements de sécurité, ceux qui sont significatifs. L'I.A. ne supprime pas l'humain mais permettra d'automatiser des travaux répétitifs.

Cette tendance va se poursuivre. Des recherches intéressantes portent sur l'« interactive learning » : vous donnez les données brutes à un système I.A. qui vous montre en retour les anomalies (« tout ce qui est bizarre »), et qui vous les montre en grappes ; alors, vous lui dites que telle ou telle grappe vous semble la plus intéressante et là, il refait les calculs sur la grappe en question pour « zoomer » à l'intérieur. Il s'agit d'une collaboration interactive avec l'analyste. Les systèmes en question expliquent beaucoup mieux pourquoi ils signalent tel ou

tel problème. Mais ce ne sont pas des « boîtes noires » ; ils suggèrent tel problème à l'opérateur qui a ensuite des éléments pour fonder sa décision, tout en ayant lui-même sa propre expertise et sa propre intuition.

### Les pirates peuvent-ils attaquer les systèmes d'I.A. dédiés à la cybersécurité ?

Oui, probablement. Les gens qui mettent en place les systèmes de sécurité essaient eux-mêmes, en premier lieu, d'en tester les limites. Nos produits sont, par exemple, évalués par des sociétés tierces qui font cela. Un vrai *hacker* fait cela pour s'auto-évaluer. Il y a aussi des I.A. offensives. **On a vu apparaître des recherches en I.A. dédiées au *hacking***, pour créer des I.A. *hackers* : l'ordinateur apprend des mécanismes pour pouvoir attaquer tout seul, pour trouver des vecteurs d'attaque que les humains n'auraient pas trouvés.

### Les attaques les plus connues sont celles qui ont visé les centrales électriques ukrainiennes, les centrifugeuses nucléaires iraniennes et le rançongiciel #Wannacry, sans oublier NotPetya. À chaque fois, c'est un employé qui a ouvert la porte au logiciel malveillant. L'I.A. détecte-t-elle et peut-elle stopper les comportements humains inappropriés ?

Oui, l'I.A. permet de mettre au point des systèmes de détection des comportements. Elle va ainsi apprendre les interactions soit d'une machine avec une autre machine, soit d'un utilisateur avec une machine. Sentryo surveille les réseaux machines to machines. D'autres sociétés ont des produits et services appliqués à l'interaction avec les utilisateurs, ce qui va permettre de détecter des anomalies dans les traces de connexion de certaines personnes, des actions qu'elles ne devraient pas faire, etc. Il y a aussi beaucoup d'applications qui s'appuient sur l'I.A. pour détecter des opérations improbables comme des utilisations frauduleuses de cartes bancaires. Cela permet d'intervenir avant que tout problème se généralise.

On me dit : « *votre solution ne bloque pas les attaques !* » Et c'est vrai. **De nombreuses start-up qui œuvrent dans la cybersécurité sont dans une posture de détection mais pas forcément de blocage**, parce que bloquer, quand on n'est pas sûr à 100 %, c'est compliqué. Pour prendre un vocabulaire médical, il est beaucoup plus important de détecter les « patients zéro » à l'intérieur du système, ceux qui sont les premiers vecteurs d'infection.

### Quels sont les enjeux de souveraineté nationale, notamment pour notre système productif, que soulève l'I.A. appliquée à la cybersécurité ?

Les recherches académiques dans le domaine de l'I.A. sont globalement insuffisantes. Il n'y a pas assez de start-up dans ce domaine et le système technico-économique français n'est pas assez développé là-dessus.

Cela tend à se développer mais je pense que le milieu académique français a tendance à chercher des solutions absolues, –ce sur quoi on est très fort en France, ce sont les aspects mathématiques, et en matière de cybersécurité on cherche à mettre en place un système qui est sûr dans l'absolu–, la démarche n'est pas assez empirique. Ensuite, les chercheurs dans ce domaine n'appliquent sûrement pas assez leurs recherches, ce qui les rend non transférables à des industriels ou des entrepreneurs.

Le pays qui fait figure de référence dans le monde en matière de cybersécurité, c'est Israël, parce que vous y trouvez des labos publics et privés qui sont plus appliqués que les labos français. Les gens qui font de la recherche appliquée, qui dépendent soit d'Universités soit du Ministère de la Défense israélien, peuvent partir créer des boîtes avec le résultat de leurs recherches, ce qui est rendu compliqué en France par le système de licence, brevet, etc. En Israël, le système encourage les gens à créer des entreprises, à exploiter ces recherches-là et à essaimer le plus possible. En support, il y a de l'argent pour financer ces technologies, avec du financement culturellement adapté à la cybersécurité. Car ces projets impliquent des délais très longs. **Les technologies « cyber » doivent être vues comme des technologies avec un énorme potentiel de marché mais avec des cycles longs, un peu comme dans la « biotech ».**

Aujourd'hui, en France, nous ne sommes pas dans ce cycle vertueux. Il faut le développer dans une logique de souveraineté nationale, afin de maîtriser la chaîne complète. Sans cela, la France comptera uniquement de toutes petites structures qui vivoteront parce qu'elles n'ont pas eu les moyens de se développer.

Les grandes entreprises françaises ont aussi un rôle à jouer. Trop souvent, la grande entreprise regarde la start-up comme une petite boîte qui détient une technologie très intéressante mais qui ne sera peut-être plus là dans 3 ans, dont le produit n'est peut-être pas complètement fini au sens où l'entend la grande entreprise –le cœur de la technologie est là mais, pour l'intégrer dans tout le système de la grande entreprise, il faut plein de fonctionnalités complémentaires qui n'existent pas– si bien que le manager de la grande entreprise voit autant de risques que d'opportunités à travailler avec une start-up. La « grosse boîte » fait de petits tests à droite, à gauche, alors qu'elle a un rôle de « déclencheur » en investissant quelques centaines de milliers d'euros. Ces premières références permettraient aux entrepreneurs via des investisseurs privés pour lever des fonds plus importants et se développer davantage à l'international. Ce cycle, qui existe bien dans des pays leaders comme Israël, n'existe pas encore en France.

### Comment l'I.A. appliquée à la cybersécurité peut-elle impacter l'ensemble du système productif, dans un avenir plus ou moins proche ?

Dans un monde plus numérique et plus connecté, la cybersécurité doit être intégrée de façon intrinsèque à toutes les nouvelles technologies. Dit autrement, vous ne pouvez pas déléguer la production à des robots, la conduite de votre voiture à une I.A., tirer partie des technologies IoT ou de la fabrication additive etc., s'il n'y a pas un minimum de confiance dans ces systèmes. La « promesse » de confort, de facilité, d'originalité ou de personnalisation, d'efficacité énergétique, de moindre impact sur l'environnement, ne peut être tenue que s'il y a ces systèmes sont sécurisés et dignes de confiance. Donc, il faut des technologies de sécurité déployées selon deux grands axes : d'abord au moment de la conception du système –technologies de cryptographie, d'identification, de design sécurisé... ensuite tout au long du cycle de vie dans une logique d'amélioration continue, de surveillance, de correction des failles connues. *Sans cesse remettre l'ouvrage sur le métier.* ■

---

WWW.  
MILLENAIRE3.  
COM

RETROUVEZ  
TOUTES LES ÉTUDES SUR

MÉTROPOLE DE LYON  
DIRECTION DE LA PROSPECTIVE  
ET DU DIALOGUE PUBLIC  
20 RUE DU LAC - 69399 LYON CÉDEX 03