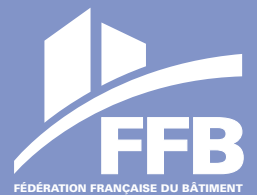


# CONSTRUCTIF

Des contributions  
plurielles  
aux grands  
débats  
de notre temps

Octobre 2019 • n° 54

## Intelligence artificielle



**C**ONVAINCUE QUE LES ACTEURS DE LA SOCIÉTÉ CIVILE ONT UN VRAI RÔLE À JOUER DANS LES GRANDS DÉBATS DE NOTRE TEMPS, ET PRENANT ACTE DE LA RARETÉ DES PUBLICATIONS DE RÉFLEXION STRATÉGIQUE DANS L'UNIVERS ENTREPRENEURIAL, **LA FÉDÉRATION FRANÇAISE DU BÂTIMENT A PRIS L'INITIATIVE DE PUBLIER LA REVUE *CONSTRUCTIF*.**

DEPUIS 2002, AVEC COMME UNIQUE PARTI PRIS LE PLURALISME DES OPINIONS, *CONSTRUCTIF* OFFRE UNE TRIBUNE OÙ S'EXPRIMENT LIBREMENT LA RICHESSE ET LA DIVERSITÉ DES ANALYSES, DES EXPÉRIENCES ET DES APPROCHES DANS LES CHAMPS ÉCONOMIQUE, POLITIQUE ET SOCIAL.

EN DONNANT LA PAROLE À DES ACTEURS DE TERRAIN AUTANT QU'À DES CHERCHEURS DE DISCIPLINES ET D'HORIZONS MULTIPLES, *CONSTRUCTIF* A L'AMBITION DE CONTRIBUER À FOURNIR DES CLÉS POUR MIEUX IDENTIFIER LES ENJEUX MAIS AUSSI LES MUTATIONS ET LES RUPTURES D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN.

DIFFUSÉE TROIS FOIS PAR AN AUPRÈS D'UN PUBLIC DE PLUS DE 5000 DÉCIDEURS, REPRODUITE INTÉGRALEMENT SUR INTERNET. *CONSTRUCTIF* OFFRE AU LECTEUR DES ÉCLAIRAGES TOUJOURS DIVERS POUR L'AIDER À NOURRIR SA RÉFLEXION, PRENDRE DU REcul ET FAIRE DES CHOIX EN PRISE AVEC LES GRANDS ENJEUX COLLECTIFS.

## **constructif.fr**

---

**Retrouvez tous les numéros de *Constructif* sur son site Internet.**

Les contributions y sont en libre accès avec une recherche par numéro, par mot-clé ou par auteur. Chaque auteur fait l'objet d'une fiche avec sa photo et ses principales ou plus récentes publications. Accédez à des contributions étrangères dans leur langue d'origine, mais aussi à des articles développés et à des bibliographies complémentaires. Informez-vous des thèmes des prochains numéros en remplissant un formulaire de contact.



# 1

## Intelligence artificielle : définitions et défis

- 6 Intelligence artificielle : de quoi parle-t-on ?  
Benoît Georges
- 11 Les fumeuses prévisions sur le futur de l'emploi  
Olivier Ezratty
- 16 L'augmentation artificielle de l'intelligence humaine  
Pierre-Yves Cusset
- 20 Ville intelligente et intelligence artificielle, pour de vrai  
Isabelle Baraud-Serfaty
- 24 Vers une révolution des assurances ?  
Grégory Kron
- 28 Limites de l'IA : le cas de l'automobile  
Eudoxe Denis
- 33 L'IA en Chine : état des lieux  
Aifang Ma



# 2

## Le bâtiment dans l'intelligence artificielle, l'intelligence artificielle dans le bâtiment

- 40 L'IA dans la construction en Amérique du Nord  
Roger Vandomme
- 45 Optimiser la performance du bâtiment  
Cécile Jolas
- 49 Révolutions et innovations dans la filière construction  
Pascal Asselin
- 53 Cyberstructure et cinquième fluide : des révolutions dans le bâtiment  
Emmanuel Olivier
- 58 Intelligence artificielle et bâtiment : que se passera-t-il demain ?  
Quentin Panissod
- 64 Les compétences technologiques : pierre angulaire de la construction de demain  
Frédéric Remond
- 68 Quand les bâtiments sont intelligents, les murs ont des yeux et des oreilles  
Élisabeth Grosdhomme
- 73 Des défis majeurs pour l'IA dans le bâtiment  
Bertrand Pailhès
- 77 L'IA, une incitation à travailler mieux  
Alain Piquet



AVANT-  
PROPOS

# Bâtiment naturel et intelligence artificielle



© David Morganti

L'intelligence artificielle fait à la fois peur et rêver. Elle pénètre dans la production du bâtiment, dans la vie du bâtiment et dans les entreprises du bâtiment. Cette nouvelle phase de la révolution numérique imprègne toute la filière. Avec l'ensemble des inquiétudes et interrogations que soulève l'IA.

Algorithmes apprenants et traitement du déluge des données paraissent si abstraits, quand le bâtiment se présente de façon si concrète! Les deux domaines ont pourtant de plus en plus à voir. L'intelligence naturelle du secteur doit composer harmonieusement avec l'intelligence artificielle des ordinateurs.

Le bâtiment a toute sa place dans l'IA, et l'IA toute sa place dans le bâtiment. C'est ce que montre, à sa manière, cette livraison de *Constructif*. Proposant un tour d'horizon des réalisations et défis en la matière, elle veut nous aider à mieux maîtriser une perspective essentielle.

**Jacques Chanut**

**Président**

de la Fédération Française du Bâtiment



# Intelligence artificielle : définitions et défis

---

- 6 **Intelligence artificielle : de quoi parle-t-on ?**
  - Benoît Georges
- 11 **Les fumeuses prévisions sur le futur de l'emploi**
  - Olivier Ezratty
- 16 **L'augmentation artificielle de l'intelligence humaine**
  - Pierre-Yves Cusset
- 20 **Ville intelligente et intelligence artificielle, pour de vrai**
  - Isabelle Baraud-Serfaty
- 24 **Vers une révolution des assurances ?**
  - Grégory Kron
- 28 **Limites de l'IA : le cas de l'automobile**
  - Eudoxe Denis
- 33 **L'IA en Chine : état des lieux**
  - Aifang Ma

# Intelligence artificielle : de quoi parle-t-on ?

**Benoît  
Georges**

Journaliste.





Faite d'innovations technologiques et d'un peu de science-fiction, l'intelligence artificielle est devenue un enjeu économique essentiel. Nourrie de puissantes capacités chaque jour renforcées de traitement de l'information ainsi que de possibilités d'apprentissage automatique, l'IA se trouve au cœur de la révolution numérique à l'œuvre dans le monde. Avec un certain retard européen.

**Q**u'est-ce que l'intelligence artificielle ? La question peut paraître simple, mais la réponse est loin de l'être. Car si l'on peut définir l'intelligence artificielle (IA) en quelques mots – la science de rendre les machines intelligentes, pour reprendre la formule utilisée par un des plus brillants spécialistes du domaine, le cofondateur de DeepMind, Demis Hassabis<sup>1</sup> – un tel résumé recèle des questions en cascade. Qu'est-ce que l'intelligence ? Existe-t-elle sous une seule ou plusieurs formes ? Est-elle le propre de l'homme ou peut-on considérer que certains animaux, dans certaines circonstances, peuvent en faire preuve ? Voilà comment une expression devenue courante, et même omniprésente depuis une poignée d'années, peut s'avérer complexe à appréhender.

### Aux origines de l'IA

Marvin Minsky (1927-2016), professeur au MIT et l'un des pères fondateurs de l'intelligence artificielle, en avait une définition plus longue, mais sans doute plus satisfaisante : « *La construction de programmes informatiques capables d'accomplir des tâches qui sont, pour l'instant, accomplies de façon plus satisfaisantes par des êtres humains.* » Cela fait de l'IA non pas une science en tant que telle, mais plusieurs branches qui se sont développées au cours des six dernières décennies : reconnaissance de la parole ou d'images, apprentissage automatique et même jeu – nous y reviendrons.

Le terme d'intelligence artificielle fut d'ailleurs inventé, par Marvin Minsky et son collègue du MIT John McCarthy, dans une démarche clairement pluridisciplinaire. Il apparaît pour la première fois à l'occasion d'un colloque scientifique organisé à l'été 1956, sur le campus de l'univer-

sité de Dartmouth, dans le New Hampshire (États-Unis). Confidentielle, la conférence réunissait une petite vingtaine de chercheurs pionniers de disciplines alors balbutiantes comme l'informatique, les sciences cognitives ou l'électronique. Plus que de construire une machine capable d'égaliser le cerveau humain, l'idée était de voir comment des tâches différentes pourraient être accomplies par des programmes informatiques.

***Le terme d'intelligence artificielle apparaît pour la première fois à l'occasion d'un colloque scientifique organisé à l'été 1956, sur le campus de l'université de Dartmouth, dans le New Hampshire (États-Unis).***

Si, encore aujourd'hui, nous imaginons tous l'intelligence artificielle comme une machine surdouée pouvant dépasser voire détruire l'homme, c'est un peu à Marvin Minsky que nous le devons. Il servit en effet de conseiller à Stanley Kubrick et Arthur C. Clarke pour l'une des premières apparitions de l'IA dans la culture populaire : l'ordinateur HAL<sup>2</sup> du film *2001 : l'Odyssée de l'espace*, sorti en 1968.

Un demi-siècle plus tard, il est frappant de constater à quel point Minsky imaginait déjà très bien l'intelligence artificielle de 2019. L'ordinateur du film assure sans relâche des tâches de conduite autonome, de maintenance prédictive et de planification que, désormais, nous commençons à confier aux machines. HAL analyse les images et maîtrise le langage, ce qui lui permet de lire sur les lèvres, et donc

1. « Artificial intelligence and the future », conférence de Demis Hassabis au Collège de France, novembre 2018.

2. L'acronyme HAL (*heuristically programmed algorithmic computer*) est aussi un clin d'œil à IBM, les trois lettres suivantes dans l'alphabet.

de comprendre les astronautes à leur insu. Surtout, la façon dont les humains dialoguent avec l'ordinateur est incroyablement semblable à celle que nous utilisons pour parler aux assistants vocaux d'Apple, Google ou Amazon. De HAL à Alexa, l'assistant personnel d'Amazon, il n'y a qu'un pas, mais ô combien important : à ce jour, aucune enceinte connectée n'a décidé, comme dans le film, de se débarrasser d'êtres humains par peur qu'ils ne l'empêchent d'accomplir sa mission.

**À ce jour, l'intelligence artificielle reste cantonnée à des tâches bien précises, et s'avère totalement incapable d'en accomplir plusieurs à la fois.**

Il y a une autre différence : à ce jour, l'intelligence artificielle reste cantonnée à des tâches bien précises, et s'avère totalement incapable d'en accomplir plusieurs à la fois. Elle égale, et parfois dépasse, l'humain pour des tas de choses qu'il fait sans vraiment y penser : reconnaître un visage ou un morceau de musique, retranscrire une phrase lue ou entendue, etc. Parfois, l'IA est même supérieure aux meilleurs des humains, que ce soit pour jouer aux échecs ou au jeu de go, mais aussi pour identifier une tumeur sur une radiographie ou prévoir les pannes d'une machine à partir de ses vibrations. Elle est en revanche incapable d'utiliser toutes ces compétences à la fois pour analyser une situation ou former un raisonnement.

### Ce que n'est pas et ce qu'est l'IA

Comme l'explique le Français Luc Julia, l'un des inventeurs du système de commande vocale Siri d'Apple, « toutes ces technologies ont pour but de nous assister dans des tâches ponctuelles, souvent répétitives et fortement codifiées. Elles nous fournissent une aide qui vient amplifier notre humanité, et augmenter nos capacités intellectuelles, mais elles ne peuvent en aucun cas nous remplacer ». Aujourd'hui vice-président de l'innovation de Samsung, il récuse même le terme d'intelligence artificielle<sup>3</sup>, pour lui préférer celui d'intelligence augmentée. Julia voit donc l'IA plus comme un outil au service des humains que comme un concurrent potentiel de ces derniers.

Cela ne doit pas masquer les progrès spectaculaires accomplis par l'IA en soixante ans d'existence, et l'accélération qu'elle a connue au cours de la dernière décennie, en particulier dans le domaine de l'apprentissage automatique (*machine learning*). Cette approche, qui s'appuie sur des modèles mathé-

matiques et des statistiques pour donner aux ordinateurs la capacité d'apprendre à partir d'exemples, n'est pourtant qu'un des deux grands domaines de l'intelligence artificielle. Car, très tôt, les chercheurs se sont affrontés sur les deux façons possibles de confier aux machines des tâches accomplies par les humains.

La première approche considère que la pensée peut être assimilée à un traitement de l'information, c'est à dire un ensemble de symboles obéissant à des règles. Dans ce cas, l'IA cherche à modéliser ces symboles et à reproduire, dans le code, les règles qui les gouvernent. Cette vision a connu son heure de gloire dans les années 1980 et 1990, à travers les « systèmes experts » : des logiciels d'aide à la décision, conçus pour imiter le raisonnement des spécialistes d'un métier, qui se sont répandus dans la finance, la médecine ou... les échecs, comme l'avait montré la victoire de Deep Blue d'IBM sur Garry Kasparov en 1997.

**L'idée n'est donc pas de programmer une machine, mais de l'entraîner, comme un animal savant, en lui fournissant des données qu'elle doit analyser.**

À l'inverse, l'apprentissage automatique cherche avant tout à se passer de règles, car, après tout, notre cerveau peut s'en passer. Pour reconnaître le visage de ses parents ou commencer à parler, un jeune enfant n'a pas besoin de connaître les règles : il apprend seul, à partir de ses expériences. Avec cette approche, l'idée n'est donc pas de programmer une machine, mais de l'entraîner, comme un animal savant, en lui fournissant des données qu'elle doit analyser (un objet dans une image, un caractère d'imprimerie, un son...). À chaque exemple, le modèle statistique se modifie légèrement jusqu'à parvenir au résultat souhaité. Par analogie avec le cerveau humain, dont les neurones biologiques transmettent et modifient les informations, ces systèmes utilisent des « réseaux de neurones » artificiels.

### Révolution numérique et apprentissage automatique

Imaginé dès les années 1940, ces réseaux de neurones ont suscité énormément d'espoirs, mais aussi de grandes déceptions. S'ils ont permis de reconnaître l'écriture manuscrite sur des chèques dès les années 1990, ils ont été beaucoup moins performants dans d'autres domaines. Du moins jusqu'au début des années 2000, où un trio de chercheurs a développé une nouvelle technique d'apprentis-

3. Luc Julia, *L'intelligence artificielle n'existe pas*, First Éditions, 2019.

sage automatique, qu'ils ont appelée *deep learning*, ou (« apprentissage profond »)<sup>4</sup>. Le Français Yann LeCun (université de New York) et les Canadiens Yoshua Bengio (université de Montréal) et Geoffrey Hinton (université de Toronto), tous trois passés par les prestigieux Bell Labs de l'opérateur américain AT&T à la fin des années 1980 et au début des années 1990, ont longtemps fait partie des rares spécialistes à croire à la piste des réseaux de neurones, à une époque où la quasi-totalité des experts en IA les considéraient comme une voie sans issue. « Publier des articles sur le *deep learning* dans les revues ou les conférences était très difficile, racontait en 2018 Yann LeCun aux *Échos*. Quand on parlait des réseaux de neurones, les gens rigolaient un peu dans notre dos. On passait pour des doux dingues. »<sup>5</sup>

### **À partir de 2009, les systèmes de deep learning ont commencé à s'imposer face aux autres méthodes, d'abord pour reconnaître la voix, puis pour les images ou la traduction, avec des performances jamais obtenues auparavant.**

Mais l'amélioration des algorithmes, l'augmentation de la puissance de calcul et l'avènement du *big data* (les mégadonnées), qui permet d'entraîner les systèmes sur d'immenses quantités de données, ont finalement donné raison aux « doux dingues ». À partir de 2009, les systèmes de *deep learning* ont commencé à s'imposer face aux autres méthodes, d'abord pour reconnaître la voix, puis pour les images ou la traduction, avec des performances jamais obtenues auparavant<sup>6</sup>.

Ces progrès n'ont pas échappé aux géants du numérique, toujours à l'affût de nouvelles méthodes pour exploiter les gigantesques masses de données qu'ils collectent en permanence. En 2012, Google a recruté Geoffrey Hinton, et Yann LeCun est devenu le maître d'œuvre de la recherche en IA de Facebook. Cela a marqué le début d'une ruée des Gafam (Google, Amazon, Facebook, Apple et Microsoft) vers les meilleurs talents en intelligence artificielle. Les embauches de chercheurs des plus grandes universités se sont multipliées, comme les acquisitions d'entreprises pionnières : entre 2012 et 2015, les financements de start-up d'intelligence artificielle sont passés de 559 millions de dollars à 3,7 milliards par an, pour atteindre près de 5 milliards en 2016<sup>7</sup>.

La même année, un événement fera découvrir au grand public ce réveil spectaculaire de l'intelligence artificielle. En mars, dans un grand hôtel de Séoul, le programme AlphaGo, conçu par les équipes de Demis Hassabis chez DeepMind, bat par quatre parties à une l'un des plus grands champions mondiaux de jeu de go, le Sud-Coréen Lee Sedol. Comme la victoire de Deep Blue sur Garry Kasparov vingt ans plus tôt, celle d'AlphaGo aura un retentissement mondial, d'autant que la plupart des experts en IA ne s'attendaient pas à ce que la machine dépasse l'humain avant une dizaine d'années. Elle illustre aussi la puissance des nouveaux systèmes d'apprentissage automatique : l'essentiel de l'entraînement d'AlphaGo, qui combine l'apprentissage profond et une autre méthode appelée apprentissage par renforcement, s'est fait en laissant la machine jouer des millions de parties contre elle-même.

Ce match fut également un moyen pour Google, qui avait racheté DeepMind en janvier 2014 pour 400 millions de livres (650 millions de dollars), de montrer son avance. Car le géant californien s'est converti à grande vitesse à *deep learning* : en 2012, relèvent les deux spécialistes Erik Brynjolfsson et Andrew McAfee, « l'entreprise n'utilisait pas encore cette technologie pour améliorer des produits comme Search, Gmail, YouTube ou Maps. Au troisième trimestre de 2015, l'apprentissage profond, dont les résultats avaient dépassé ceux de toutes les autres approches, était utilisé dans toute l'entreprise dans près de 1 200 projets »<sup>8</sup>.

### **Des enjeux colossaux**

Pour Google, mais aussi pour Facebook ou Amazon, l'intelligence artificielle est désormais le cœur du réacteur, que ce soit pour cibler au mieux les internautes, leur proposer de nouveaux services (assistants vocaux, géolocalisation...), traduire et comprendre leurs propos, filtrer les quantités exponentielles de contenus publiés en ligne... Et même proposer aux autres entreprises des outils d'intelligence artificielle « à la demande », comme le fait Amazon Web Services, la branche d'informatique en nuage (*cloud computing*, ou services informatiques à distance) du groupe de Jeff Bezos.

### **Près de soixante-cinq ans après la conférence de Dartmouth, moins de dix ans après les premiers succès du deep learning et trois ans après la victoire d'AlphaGo, l'intelligence artificielle fait désormais partie de notre réalité.**

4. Yann LeCun, Yoshua Bengio et Geoffrey Hinton, « Deep learning », *Nature*, vol. 521, mai 2015.

5. « Hinton, LeCun, Bengio : la "conspiration" du deep learning », *Les Échos*, 9 août 2018.

6. En mars 2019, Hinton, LeCun et Bengio ont reçu le prix Turing, considéré comme un équivalent du prix Nobel en informatique, pour leurs travaux sur le *deep learning*.

7. « The state of artificial intelligence », CB Insight, 2018.

8. Erik Brynjolfsson et Andrew McAfee, *Des machines, des plateformes et des foules*, Odile Jacob, 2018.

Près de soixante-cinq ans après la conférence de Dartmouth, moins de dix ans après les premiers succès du *deep learning* et trois ans après la victoire d'AlphaGo, l'intelligence artificielle fait désormais partie de notre réalité. La reconnaissance vocale entre dans les foyers grâce aux enceintes connectées, les prototypes de véhicules autonomes sont sur nos routes, la reconnaissance faciale est utilisée dans les aéroports et dans certaines rues en Chine, l'apprentissage automatique promet d'optimiser la logistique, le contrôle qualité, la maintenance...

Mais l'IA suscite aussi, et de plus en plus, des interrogations et des craintes, parfois exagérées mais toujours légitimes. Sur l'avenir du travail, bien sûr, et la façon dont des machines dotées de certaines de nos compétences pourraient, selon que l'on est optimiste ou pessimiste, nous assister ou nous remplacer. Sur l'opacité des algorithmes, également, car à la différence des anciens systèmes d'IA basés sur des règles, ceux mis au point grâce au *deep learning* ne permettent pas d'avoir une explication précise de la façon dont ils décident – les recherches sur l'explicabilité de l'IA se multiplient, mais sans qu'une solution particulière ne se distingue. S'y ajoute le problème des biais, car les jeux de données qui servent à entraîner les algorithmes ne correspondent pas toujours à la réalité qu'ils devront traiter – on a ainsi vu des outils de recrutement privilégier « automatiquement » les candidatures masculines<sup>9</sup>.

Mais l'intelligence artificielle soulève également de grands enjeux de souveraineté. Car l'essentiel de la recherche, ainsi que les entreprises les plus avancées, se trouvent aujourd'hui aux États-Unis, partis les premiers dans ce qui est devenu une course mondiale. Derrière, la Chine affirme clairement son

intention de devenir leader mondial de l'IA à l'horizon 2030. L'accès presque sans limites aux données de 1,4 milliard d'habitants, ainsi que la mobilisation de toutes les ressources de l'État, peuvent lui permettre d'y arriver.

***Malgré la qualité de sa recherche, notre continent, coincé entre deux superpuissances ayant des visions différentes de l'intelligence artificielle, dépourvu d'acteurs majeurs du numérique et de l'électronique, semble mal armé dans cette bataille mondiale.***

Et l'Europe ? Malgré la qualité de sa recherche, notre continent, coincé entre deux superpuissances ayant des visions différentes de l'intelligence artificielle, dépourvu d'acteurs majeurs du numérique et de l'électronique, semble mal armé dans cette bataille mondiale. Il semble au moins en avoir pris conscience. En décembre 2018, Bruxelles a présenté un plan de coordination entre les États membres qui ambitionne d'atteindre au moins 20 milliards d'euros d'investissement public et privé en IA d'ici à la fin 2020, puis 20 milliards par an la décennie suivante. L'Europe souhaite également être en pointe dans la mise au point de systèmes d'IA qui soient « dignes de confiance », afin de répondre aux préoccupations des populations et des entreprises. Espérons que cela lui permettra de rattraper au moins un peu de son retard. ●

9. Cathy O'Neil, *Algorithmes, la bombe à retardement*, Les Arènes, 2018.

# Les fumeuses prévisions sur le futur de l'emploi

**Olivier  
Ezratty**

Consultant et auteur.



**Il a publié notamment :**

- *Les usages de l'intelligence artificielle*, 2018  
(à télécharger sur [www.oezratty.net](http://www.oezratty.net)).

Nombre de prévisions impressionnantes circulent sur les conséquences de l'intelligence artificielle sur l'emploi. Aucune de ces études ne saurait être définitive. Dans la plupart d'entre elles se mêlent allègrement science et fiction. Les données doivent être considérées avec précaution et méthode. Si des changements sont à l'œuvre, la totale mutation des emplois n'est pas pour demain.

**L**es prévisions sur la destruction et la création d'emplois liées au déploiement de l'intelligence artificielle (IA) sont pléthoriques. Depuis 2013, on y trouve aussi bien de sombres prophéties sur le rôle même de l'humain dans l'économie que des prévisions plus optimistes, croyant fermement à la destruction-crédation de valeur schumpétérienne avec un équilibre positif. Il y en a donc pour tous les goûts et tous les angles de vue ! Le tri s'impose.

### **Des prédictions souvent infondées**

La destruction nette d'emplois liée à l'IA à l'horizon 2023-2025 se situe, selon les études, entre 6 % et 47 %, avec des prévisions qui suivent une tendance baissière, la principale prévision de 47 % datant de 2013 et celles de 6 à 7 % de 2016. Fin 2018, des études ont même prévu un solde d'emplois positif à un horizon d'une douzaine d'années !

***La destruction nette d'emplois liée à l'IA à l'horizon 2023-2025 se situe, selon les études, entre 6 % et 47 %, avec des prévisions qui suivent une tendance baissière, la principale prévision de 47 % datant de 2013 et celles de 6 à 7 % de 2016.***

Pour que tel ou tel emploi disparaisse d'ici cinq ans, il faudrait que les technologies correspondantes soient disponibles aujourd'hui compte tenu de l'inertie du marché, des budgets et des déploiements. Si elles ne le sont pas encore, il faudra alors attendre plus de dix ans pour qu'elles aient un impact sur l'emploi !

Bon nombre de technologies sont lentes à déployer à l'échelle mondiale, surtout si elles nécessitent des infrastructures. Or, nombre de prévisions s'appuient sur des technologies qui ne sont pas encore disponibles, même dans l'amont de la recherche fondamentale. C'est par exemple le cas du remplacement des personnels soignants par des robots.

### ***Les premières prédictions sur les pertes d'emploi liées à l'IA ou à la robotique sont arrivées dès les années 1960.***

L'économiste John Maynard Keynes se faisait déjà l'écho des risques de pertes d'emploi liés à l'automatisation, avant même que les ordinateurs ne fassent leur apparition. Les premières prédictions sur les pertes d'emploi liées à l'IA ou à la robotique sont arrivées dès les années 1960. Au démarrage des précédentes révolutions industrielles, les disparitions de métiers ou l'apparition de nouveaux ont rarement été bien anticipées. Comme ne l'ont pas été les ouvertures, créations ou élargissements de marchés permis par les nouvelles technologies.

La principale leçon à retenir des prévisions du passé est de conserver un peu d'humilité ! On peut cependant faire quelques hypothèses. Elles sont notamment utiles pour mener certaines politiques publiques, dans l'éducation comme dans les choix de développement d'infrastructures et de politique industrielle. On sait par exemple qu'il faudra privilégier la formation à des métiers qui ne sont pas trop répétitifs, surtout dans les métiers non manuels, et où la créativité et l'adaptation jouent un rôle clé.

## IMPACT SUR L'EMPLOI DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET DE L'AUTOMATISATION, SELON DIFFÉRENTS RAPPORTS DEPUIS 2013



### Études et prévisions très contrastées

Septembre 2013 : l'université d'Oxford publie la première grande étude d'impact de l'IA sur l'emploi. Signée par Carl Benedikt Frey et Michael Osborne, l'étude – très médiatisée – évoque la disparition de 47 % des emplois aux États-Unis à l'horizon 2023<sup>1</sup>. L'analyse segmente avec précision les métiers et leurs risques d'être remplacés par des machines. Le calcul du risque s'appuie sur trois formes d'intelligence des métiers : l'intelligence motrice (perception et manipulation), l'intelligence créative et l'intelligence sociale. On y constate que la situation est très polarisée : d'un côté, des métiers à très faible risque d'automatisation (< 20 %), comme les fonctions de management, dans la finance, dans le numérique, l'éducation et même la santé ; de l'autre côté, des métiers à très fort risque d'automatisation (> 60 %), surtout dans les services, la vente et l'administratif. Plus d'une demi-décennie plus tard, les transformations en question sont loin d'avoir eu lieu. Cette étude raisonnait au niveau des métiers sans décomposer leurs tâches et celles qui étaient automatisables ou pas. Nombre d'études qui ont suivi ont repris cette méthodologie mais en la corrigeant. Août 2014 : le Pew Research Center publie une étude qualitative qui recense l'avis de divers spécialistes, dont certains estiment que la moitié des emplois

sont menacés à l'horizon 2025<sup>2</sup>. Les experts sont très divisés sur la question. Le pessimisme provient du risque d'impact rapide de l'automatisation sur les cols blancs, avec un risque de déclassement pour un grand nombre d'entre eux, orientés alors vers des métiers moins bien payés. Le système d'éducation ne serait pas en mesure de s'adapter aux nouveaux enjeux. Certains experts sont optimistes, car les métiers qui disparaîtraient seraient naturellement remplacés par d'autres, au gré de l'évolution de la demande. La relation avec le travail serait aussi redéfinie de manière plus positive.

***Cette étude raisonnait au niveau des métiers sans décomposer leurs tâches et celles qui étaient automatisables ou pas. Nombre d'études qui ont suivi ont repris cette méthodologie mais en la corrigeant.***

Mai 2016 : l'OCDE publie une étude qui anticipe que 9 % des emplois seront automatisables dans les pays de l'OCDE ; seulement 6 % en Corée du Sud, contre

1. « The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? » ([www.oxfordmartin.ox.ac.uk/publications/the-future-of-employment/](http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/publications/the-future-of-employment/)).  
2. « AI, robotics and the future of jobs » ([www.pewinternet.org/2014/08/06/future-of-jobs/](http://www.pewinternet.org/2014/08/06/future-of-jobs/)).

12 % en Autriche<sup>3</sup>. La France est dans la moyenne à 9 %. L'OCDE s'appuie sur l'étude Frey-Osborne de 2013 qu'elle ajuste en corrigeant leur approche par une analyse de l'automatisation des tâches plutôt que des emplois, réduisant ainsi la destruction d'emplois. L'OCDE n'indique pas d'horizon de temps ni n'évalue les créations d'emplois liées au développement d'innovations et de nouveaux services.

Juin 2016 : l'entreprise américaine Forrester prévoit que 16 % des emplois aux États-Unis vont être remplacés d'ici à 2025 par de l'IA, des robots ou de l'automatisation classique<sup>4</sup>. Cela sera compensé par la création de 9 % d'emplois nouveaux (8,9 millions), soit une perte nette de 7 %. L'étude estime que ce sont les emplois administratifs qui seront les plus touchés. La création concernera la gestion des robots, les *data scientists* et autres techniciens de la robotique et de l'IA ainsi que les curateurs de contenus. Mais cette étude n'anticipe pas la création d'emplois nouveaux indépendants des impacts technologiques. Ce sont les limites du modèle ! En avril 2017, Forrester revoit ses prévisions à la baisse. D'ici à 2027, l'automatisation devrait déplacer 17 % des emplois américains et en créer 10 %. On a donc toujours un solde de 7 %, mais à une échéance plus lointaine.

Décembre 2017 : McKinsey évalue la perte d'emplois à 7 millions aux États-Unis en seulement trois ans ; 14 % des salariés devraient y changer de métier d'ici à 2030. McKinsey parle pudiquement de *displaced jobs* (« emplois déplacés ») pour les métiers qui vont être automatisés. Le cabinet ne précise pas vraiment ce que vont devenir les salariés occupant ces emplois qui vont disparaître<sup>5</sup>.

Mars 2018 : France Stratégie publie un rapport sur l'impact de l'IA sur l'emploi en se focalisant sur trois marchés (les transports, la banque, la santé) qui représentent 15 % du PIB de la France<sup>6</sup>. C'est une étude qualitative qui résulte de l'audition d'environ 80 personnes. L'étude aboutit à quelques recommandations portant sur la formation et sur le lancement d'un « chantier prospectif ».

Juillet 2018 : PwC publie une nouvelle étude sur l'impact de l'IA et de la robotisation sur l'emploi au Royaume-Uni<sup>7</sup>. Selon le cabinet, l'IA détruira à peu près autant d'emplois qu'elle en créera à un horizon assez lointain de douze ans. Au Royaume-Uni, la création-destruction d'emplois portera sur 20 % des emplois, avec un solde positif de 200 000 emplois sur un total de 7 millions concernés d'ici à 2030, soit 0,5 % des emplois.

Septembre 2018 : le Forum économique mondial, organisateur du forum de Davos, évoque la création de 58 millions d'emplois liés à l'IA d'ici à 2022<sup>8</sup>. Ce chiffre est le solde de la création et de la destruction de respectivement 122 et 75 millions d'emplois liés à l'IA, à l'échelle mondiale. Cela semble bien élevé, même si 122 millions ne représentent qu'à peine 1,6 % de la population mondiale. Mais ces prophéties ne se réaliseront qu'à une condition : que les gens soient bien formés. Avec des si, on peut faire toutes les prévisions imaginables !

**Septembre 2018 : le Forum économique mondial, organisateur du forum de Davos, évoque la création de 58 millions d'emplois liés à l'IA d'ici à 2022. Ce chiffre est le solde de la création et de la destruction de respectivement 122 et 75 millions d'emplois liés à l'IA.**

Mars 2019 : une étude publiée par l'organisme américain National Bureau of Economic Research, signée Daron Acemoglu et Pascual Restrepo, fait un point sur l'impact de l'automatisation entre 1947 et 2017<sup>9</sup>. Elle montre que lors de la période 1987-2017, et contrairement à la période 1947-1987, l'automatisation aurait généré une perte d'emplois nette. Mais cela ne concerne que les États-Unis, n'intègre pas l'effet des délocalisations dans la production qui ont démarré vers les années 2000, ni un quelconque impact de l'IA, ni le fait que les États-Unis connaissent le plein emploi avec un taux de chômage résiduel de 3,6 % et que nombre de travailleurs pauvres sont obligés d'avoir deux emplois pour subvenir aux besoins de leur famille.

### Des chiffres et études très imparfaits

Pourquoi donc sommes-nous ainsi dans le brouillard quant à ces prévisions sur l'emploi ? Tout simplement parce qu'elles sont généralement bâties sur des modèles trop simplistes. Davantage de précautions devraient être prises pour mesurer les conséquences de l'automatisation sur l'emploi.

Nombre d'études présentées sont, en réalité, le résultat de sondages de dirigeants, pas d'analyses factuelles des technologies à venir et des rythmes

3. « The risk of automation for jobs in OECD countries. A comparative analysis » ([www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/the-risk-of-automation-for-jobs-in-oecd-countries\\_5j1z9h56dvq7-en](http://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/the-risk-of-automation-for-jobs-in-oecd-countries_5j1z9h56dvq7-en)).

4. Pour les études Forrester, voir [www.forrester.com](http://www.forrester.com).

5. « Jobs lost, jobs gained: Workforce transitions in a time of automation » ([www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/jobs-lost-jobs-gained-what-the-future-of-work-will-mean-for-jobs-skills-and-wages](http://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/jobs-lost-jobs-gained-what-the-future-of-work-will-mean-for-jobs-skills-and-wages)).

6. « Intelligence artificielle et travail » ([www.strategie.gouv.fr/publications/intelligence-artificielle-travail](http://www.strategie.gouv.fr/publications/intelligence-artificielle-travail)).

7. Voir les études PwC sur [www.pwc.co.uk](http://www.pwc.co.uk).

8. « 2022 skills outlook » ([reports.weforum.org/future-of-jobs-2018/shareable-infographics/](http://reports.weforum.org/future-of-jobs-2018/shareable-infographics/)).

9. « Automation and new tasks: How technology displaces and reinstates labour » ([www.nber.org/papers/w25684](http://www.nber.org/papers/w25684)).



prévisibles des innovations. Les enquêtes d'opinion sur le futur sont, comme en politique, à interpréter avec précaution.

Ces travaux entretiennent souvent une confusion entre métiers et tâches. L'IA peut parfois automatiser certaines de ces dernières mais pas les métiers en entier. L'automatisation amène à une recombinaison complexe des métiers difficile à anticiper.

Les capacités de l'IA sont surestimées. Les prévisionnistes extrapolent abusivement à partir de prouesses comme les victoires d'AlphaGo au jeu de go ou celles de robots de Boston Dynamics. Ils oublient que certaines de ces démonstrations relèvent d'une IA étroite (pour AlphaGo) ou ne sont pas extrapolables à tous les métiers manuels (Boston Dynamics), quand elles ne sont pas, parfois, truquées (robots télécommandés, par exemple).

***Ces travaux entretiennent souvent une confusion entre métiers et tâches. L'IA peut parfois automatiser certaines de ces dernières mais pas les métiers en entier.***

De fait, sont d'abord automatisables les métiers pratiqués de manière homogène, faciles à décrire et à automatiser, dans des contextes où les ressources humaines sont soit rares soit trop chères, ce qui n'est pas le cas partout. Nombre de métiers sont relativement protégés : ceux qui sont très manuels et difficiles à réaliser par des robots, les métiers créatifs et à fort contenu relationnel, ceux dont les tâches ne sont pas répétitives, ceux qui nécessitent des sens très pointus. Et puis bien sûr, ceux qui seront créés entre-temps. Les prévisions s'accrochent trop souvent à notre vision actuelle des métiers, sans anticiper la création de métiers inconnus aujourd'hui, notamment dans le domaine des loisirs et de l'intelligence émotionnelle (capacité à gérer des émotions).

Sur le plan temporel, on se trompe souvent quant au terme et même à la nature des chamboulements. Ils sont généralement surestimés à court et moyen terme et sous-estimés à long terme, mais surtout mal appréhendés dans leur réalité technique et économique. Dans l'abondante littérature sur le futur de l'emploi, les fondements scientifiques et technologiques des prédictions sont rarement analysés.

***Dans l'abondante littérature sur le futur de l'emploi, les fondements scientifiques et technologiques des prédictions sont rarement analysés.***

Les prévisions oublient un autre phénomène induit par le numérique : le transfert du travail non seulement vers les machines mais aussi vers les clients, que l'on observe avec les distributeurs et caisses automatiques, l'e-commerce, les *chatbots* (assistants virtuels). Ces mouvements sont particulièrement puissants dans certains secteurs, notamment dans les banques et l'assurance en ligne. Dans d'autres domaines, la question de l'automatisation et de la disparition doit appeler à la pondération.

Dans le secteur médical, l'automatisation ne réduira pas forcément l'emploi car le monde manque de médecins, notamment dans de nombreuses spécialités. Les oncologues ne sont pas remplacés par Watson d'IBM. La société a d'ailleurs récemment abandonné ce marché, constatant l'inefficacité de son système en la matière !

Du côté du logement, les progrès à venir dans l'automatisation de la construction serviront à résorber la pénurie endémique de logements, en France comme ailleurs.

En somme, la prochaine fois que vous découvrirez sur les réseaux sociaux une affirmation péremptoire du type « selon les études, x % des emplois vont disparaître d'ici à... », prenez-la avec du recul ! ●

# L'augmentation artificielle de l'intelligence humaine

**Pierre-Yves  
Cusset**

Chef de projet à France Stratégie.



**Il a notamment publié :**

• *Le lien social*, Armand Colin, 2011.

L'intelligence artificielle est généralement définie comme un assortiment de programmes et de machines capables de simuler l'intelligence humaine. Elle peut aussi s'entendre comme un ensemble de techniques et produits visant à stimuler l'intelligence humaine. Tour de piste des perspectives et des enjeux de l'amélioration artificielle de l'intelligence des êtres humains par une action directe sur leur cerveau.

**D**epuis le début des années 2000, à la faveur notamment de la convergence des nanotechnologies, des biotechnologies, de l'informatique et des sciences cognitives (dites NBIC), la mise au point de nouvelles technologies d'amélioration de nos capacités physiques et intellectuelles est de plus en plus souvent évoquée dans le cadre de rapports officiels. Cette perspective a notamment été traitée de front dans un rapport de 2003 de la National Science Foundation américaine, qui envisageait ouvertement l'amélioration des capacités physiques et intellectuelles de l'être humain comme un but légitime de la recherche<sup>1</sup>. Cette perspective suscite pourtant un scepticisme important chez une majorité de scientifiques ainsi qu'une réprobation assez générale des divers comités d'éthique, particulièrement en Europe. Quelle est la réalité des avancées scientifiques à partir desquelles se fondent les visions les plus futuristes ? Quels sont les arguments en présence s'agissant de la désirabilité ou non de telles technologies ?

### Dopage cognitif : quelles réalités ?

Si le débat sur l'amélioration artificielle des performances humaines émerge aujourd'hui, c'est en grande partie parce que la connaissance du vivant et la capacité de l'homme à le manipuler ont beaucoup progressé, de même qu'a augmenté sa capacité à intervenir sur la matière à des échelles de plus en plus petites.

Ainsi, William Bainbridge, l'un des coauteurs du rapport de la National Science Foundation américaine, envisage la possibilité qu'un jour les scientifiques soient capables de totalement comprendre

et décrire les processus biochimiques et neuroélectriques associés à nos raisonnements, à nos intentions, à nos sentiments, à nos croyances, et de traduire cette connaissance en termes de processus formalisés<sup>2</sup>. Cette connaissance pourrait à son tour permettre la mise au point de technologies de stimulation et d'amélioration des performances cognitives, que ce soit au moyen de produits pharmaceutiques, de modifications génétiques ou de dispositifs techniques tels que des implants ou des prothèses neurales. Certains imaginent même que l'on puisse un jour numériser le contenu d'un cerveau humain et le télécharger dans un ordinateur, ce dernier étant capable ensuite de simuler son fonctionnement<sup>3</sup>. L'esprit d'une personne pourrait alors continuer à vivre sans son corps physique.

***Certains imaginent même que l'on puisse un jour numériser le contenu d'un cerveau humain et le télécharger dans un ordinateur, ce dernier étant capable ensuite de simuler son fonctionnement.***

Pourtant, nous sommes encore très loin de pouvoir réellement envisager des développements de ce type. Si l'on commence effectivement à comprendre assez bien les processus en jeu dans notre cerveau, c'est soit au niveau d'un seul neurone, soit à celui d'aires cérébrales relativement importantes. En revanche, le fonctionnement d'ensembles qui se situent entre ces deux extrêmes est encore très peu compris.

1. Mihail Roco, William Sims Bainbridge, *Converging technologies for improving human performance: nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science*, Springer, 2003 ([www.wteec.org/ConvergingTechnologies/Report/NBIC\\_report.pdf](http://www.wteec.org/ConvergingTechnologies/Report/NBIC_report.pdf)).  
 2. William Bainbridge, « Survey of NBIC applications », in *Managing nano-bio-info-cogno innovations. Converging technologies in society*, Springer, 2006.  
 3. Plus largement, des experts vont jusqu'à imaginer que nous disposerions, chacun d'entre nous, de notre double numérique, une sorte de clone digital qui contiendrait l'ensemble des informations qui nous concernent. Voir Serge Soudoplatoff, « Le numérique au secours de la santé », Fondapol, 2019.

C'est la raison pour laquelle certains chercheurs ont tenté, et tentent toujours, de simuler le fonctionnement du cerveau. Ici, l'intelligence artificielle désigne une forme de rétro-ingénierie qui n'est destinée ni à augmenter les capacités des machines ni à augmenter celles de l'homme, mais simplement à mieux comprendre comment fonctionne notre cerveau.

Pour autant, à ce jour, notre meilleure connaissance du cerveau n'a pas encore donné lieu à des innovations majeures permettant d'envisager une amélioration sensible de nos fonctions cognitives par voie chimique, électromagnétique ou génétique.

Du côté de la pharmacologie, les amphétamines, par exemple, sont tout sauf des substances nouvelles et elles agissent principalement sur des sujets fatigués. De plus, elles ont des effets secondaires importants. Parmi les médicaments disponibles qui permettent d'améliorer les performances cognitives, on peut citer le méthylphénidate (Ritaline), utilisé dans les troubles de l'attention, ou le modafinil, utilisé dans le traitement de la narcolepsie, qui peuvent être détournés pour améliorer la concentration. En ce qui concerne spécifiquement l'amélioration de la mémoire, les recherches avancent lentement, malgré les sommes importantes investies dans la recherche contre la maladie d'Alzheimer.

### ***En ce qui concerne spécifiquement l'amélioration de la mémoire, les recherches avancent lentement, malgré les sommes importantes investies dans la recherche contre la maladie d'Alzheimer.***

D'autres techniques, dites de neuromodulation, ont été développées dans un but thérapeutique. Ces techniques donnent des résultats encourageants, sans que les mécanismes en jeu soient nécessairement bien compris. La neuromodulation non invasive, tout d'abord, fait référence à des dispositifs qui changent le fonctionnement du cerveau depuis l'extérieur du crâne. La stimulation magnétique transcrânienne (TMS) influence l'activité électrique du cerveau *via* une bobine, placée à l'extérieur du crâne, qui induit un champ électrique dans le tissu cortical. Des résultats positifs ont été enregistrés pour le traitement de dépressions sévères, et, dans une moindre mesure, dans le traitement de la schizophrénie. La neuromodulation invasive, ensuite, fait référence à des techniques qui changent le fonctionnement du cerveau depuis l'intérieur du crâne, *via* des électrodes implantées dans le cerveau. Parmi ces techniques, la stimulation cérébrale profonde peut aider à réduire les symptômes comme les tremblements, la rigidité, la

raideur, les mouvements ralentis et les problèmes de marche. Cette stimulation peut aussi traiter le tremblement essentiel, un trouble neurologique du mouvement. Des erreurs d'implantation ont montré, de façon décisive, qu'il était possible par stimulation profonde d'agir sur des comportements, des affects, des cognitions, en modulant de façon très précise de toutes petites zones au cœur du cerveau. Certains imaginent donc que des techniques de neuromodulation puissent être utilisées à des fins d'amélioration des capacités cérébrales, en favorisant notamment la mémorisation.

### ***Certains imaginent donc que des techniques de neuromodulation puissent être utilisées à des fins d'amélioration des capacités cérébrales, en favorisant notamment la mémorisation.***

Qu'en est-il d'éventuelles manipulations génétiques ? Il ne fait pas de doute que la génétique influence grandement les performances cognitives. Mais l'influence de la génétique sur l'intelligence est largement polygénique. Chaque variation dans le génome d'un individu n'est corrélée qu'avec une part très faible des différences de performance constatées d'un individu à l'autre. Du coup, il est très peu probable que l'on puisse améliorer significativement l'intelligence d'un individu en lui transférant la mutation d'un seul gène ou même d'un nombre limité de gènes, sans parler des innombrables difficultés tenant au transfert de gènes lui-même.

Toutes les technologies dont il a été question ont été développées dans un but thérapeutique et non à des fins d'amélioration des capacités d'un sujet sain. Le passage d'une visée à l'autre n'aurait rien d'évident, tant il soulève, en règle générale, une forte désapprobation.

### ***Une perspective le plus souvent dénoncée***

Avant d'évoquer ce qui motive la réprobation d'hypothétiques technologies d'amélioration des capacités cognitives, il convient de rappeler que, si de telles technologies devenaient disponibles tout en garantissant des conditions de sécurité suffisante, elles rencontreraient probablement une forte demande.

Ainsi, aux États-Unis, la Ritaline, médicament utilisé dans le traitement des désordres de l'attention et de l'hyperactivité, semble avoir fait l'objet d'un détournement massif par les étudiants, aux fins d'amélioration de la concentration. Selon une étude de 2013<sup>4</sup>, près d'un quart des étudiants des universités améri-

4. Barbara Prudhomme White, Kathleen Grace-Bishop, Lana Ciali, « Non-medical use of prescription stimulants among US college students: An updated Report », *International Journal of Health Science*, 2016, vol. 4, no 1 ([www.ijhsnet.com/journals/ijhs/Vol\\_4\\_No\\_1\\_March\\_2016/3.pdf](http://www.ijhsnet.com/journals/ijhs/Vol_4_No_1_March_2016/3.pdf)).

caines affirmaient avoir déjà utilisé des psychostimulants pour des usages non thérapeutiques, c'est-à-dire pour améliorer leurs performances cognitives et leur réussite aux examens. En janvier 2008, la revue *Nature* avait réalisé un sondage auprès de ses lecteurs sur l'utilisation de psychostimulants ; 1 400 lecteurs, issus de 60 pays, avaient répondu à l'enquête<sup>5</sup>. Un cinquième des répondants affirmaient avoir déjà consommé des médicaments pour des raisons non médicales afin de stimuler leur concentration ou leur mémoire. Quatre répondants sur cinq estimaient que des adultes devaient pouvoir décider librement d'utiliser ces substances s'ils le désiraient et un tiers des répondants affirmaient qu'ils se sentiraient poussés à administrer ces substances à leurs propres enfants si d'autres enfants à l'école en consommaient.

Quels sont alors les arguments avancés pour refuser la perspective d'une amélioration substantielle des capacités cognitives par des voies technologiques nouvelles ?

### **La plupart des médicaments détournés aujourd'hui aux fins de dopage cognitif présentent des risques d'addiction et/ou d'effets secondaires.**

Une première ligne d'argumentation relève du principe de précaution. La plupart des médicaments détournés aujourd'hui aux fins de dopage cognitif présentent des risques d'addiction et/ou d'effets secondaires. Ces risques sont connus. Mais les nouvelles techniques envisagées pour améliorer les performances humaines, *via* la convergence NBIC, reposeraient sur des technologies dont les risques à long terme ne sont pas connus. On ignore par exemple encore largement quels peuvent être les effets sur la santé ou l'environnement de la diffusion des nanoparticules.

La deuxième ligne d'argumentation tient aux effets aliénants de cette course à la performance. L'adoption croissante de ce type de technologies signerait l'émergence d'une société quasi eugéniste. Comme l'analyse Hervé Chneiweiss<sup>6</sup>, dans cette société de la performance, il s'agirait d'améliorer ses performances non pas pour être meilleur que les autres, mais simplement pour être normalement intégré à sa communauté. L'amélioration artificielle des performances, notamment cognitives, deviendrait alors une norme imposée directement ou indirectement par les employeurs, l'école ou le gouvernement. Une troisième ligne d'argumentation mobilise des considérations d'équité. L'émergence de technolo-

gies d'amélioration des performances cognitives se traduirait par une forte croissance des inégalités, entre ceux qui auront accès à ces technologies et les autres. À cette critique fondamentale, les partisans des technologies d'amélioration des performances humaines font remarquer que les nouvelles technologies sont toujours chères au début de leur développement, avant qu'elles ne se démocratisent.

### **Les partisans des technologies d'amélioration des performances humaines font remarquer que les nouvelles technologies sont toujours chères au début de leur développement, avant qu'elles ne se démocratisent.**

Aujourd'hui, c'est d'abord parce que les technologies ne sont pas près d'être au point que la perspective d'une augmentation artificielle de l'intelligence demeure lointaine. On peut douter en revanche de l'efficacité des garde-fous éthiques qui pourraient être mis en place ici ou là si de telles technologies devaient voir le jour. Ils auraient du mal à contenir le désir de dépassement des uns et la rivalité mimétique de tous. *Quid*, dès lors, des technologies d'amélioration des capacités physiques des êtres humains ? Elles existent déjà, mais restent extérieures au corps humain. On les appelle vêtements, véhicules, outils, armes, lunettes, capteurs. L'exosquelette, qui fait tant fantasmer, n'est ainsi rien d'autre qu'un hybride outil-véhicule. Il ne bouleverse pas la donne, sauf pour des personnes à mobilité réduite à qui l'on redonne ainsi une forme de mobilité plus proche de celle des personnes en bonne santé. Finalement, s'il convient de se méfier de ces technologies qui augmentent nos capacités, physiques ou cognitives « de l'extérieur », c'est peut-être parce qu'elles risquent de nous rendre vulnérables, de corps et d'esprit, dans l'éventualité où nous devrions nous en passer. ●

#### **UN EXEMPLE D'OUTIL D'AMÉLIORATION DES CAPACITÉS COGNITIVES**



5. On pourra trouver un compte-rendu du sondage à cette adresse : <http://www.nature.com/news/2008/080409/full/452674a.html>.

6. Hervé Chneiweiss, *L'homme réparé*, Plon, 2012.

# Ville intelligente et intelligence artificielle, pour de vrai

**Isabelle  
Baraud-Serfaty**

Fondatrice d'Ibicity, cabinet de conseil en économie urbaine.



Les sujets de la ville intelligente et de l'intelligence artificielle nourrissent nombre d'affirmations, d'espoirs et de craintes. Concrètement, il s'agit d'un ensemble de défis, faits de menaces et d'opportunités, relatifs à la production des villes et à la gestion des services urbains. Bien traiter ces enjeux passe par un meilleur équilibre entre les performances de l'artificiel et les attentes réelles.

**L**e titre de cet article contient une forme de syllogisme : les villes sont intelligentes, or l'intelligence est artificielle, donc les villes sont artificielles. Mais, lit-on, « *l'intelligence artificielle n'est pas intelligente* »<sup>1</sup>, et le contraire d'une ville intelligente n'est pas une ville stupide<sup>2</sup>. Alors oublions les concepts et les mots pour nous demander : qu'en est-il « pour de vrai », c'est-à-dire dans le vécu même des villes et de leurs habitants ?

Le concept de « ville intelligente » est encore jeune (IBM en aurait créé le concept en 2010<sup>3</sup>), et souvent imprécis, mais il a un mérite : mettre en avant les conséquences de la révolution numérique sur les villes. Et assurément, le développement récent et exponentiel du *deep learning* (c'est-à-dire de l'apprentissage automatique)<sup>4</sup>, qui est une des composantes essentielles de l'intelligence artificielle, doit conduire à s'interroger sur la manière dont les villes sont concernées.

### Une amplification des tendances à l'œuvre

Plus qu'elle ne viendrait donner une nouvelle orientation au développement des villes, l'intelligence artificielle renforce les tendances déjà à l'œuvre dans les villes intelligentes.

Une première évolution que décrit le terme *smart city*<sup>5</sup> est que la ville est de plus en plus gérée à partie de données. Bourrée de capteurs, on la dit « monitorée ». Concrètement, les systèmes techniques permettent de traiter les données récoltées, dans tous les domaines (du remplissage des pou-

belles à la maintenance des réseaux), et d'optimiser son fonctionnement.

L'intelligence artificielle devrait renforcer encore l'efficacité de ce *monitoring* urbain, et contribuer à sa généralisation. L'exemple d'Alibaba illustre cette promesse. L'« Amazon chinois »<sup>6</sup> a réalisé en 2018 un investissement considéré comme un record dans une société chinoise leader dans l'intelligence artificielle<sup>7</sup>, avec pour but de rendre plus performant son « système intelligent pour les villes intelligentes ». D'abord déployé dans la ville de Hangzhou, en Chine, où se situe son siège, puis à Kuala Lumpur, en Malaisie, le programme *City Brain* sert à optimiser les feux de signalisation, solliciter une patrouille de police ou encore adapter en temps réel la cadence des transports publics en fonction du trafic.

### Les villes sont saisies par la révolution numérique et l'intelligence artificielle, lesquelles transforment l'économie dans son ensemble.

Deuxième évolution derrière le terme de ville intelligente : les villes sont saisies par la révolution numérique et l'intelligence artificielle, lesquelles transforment l'économie dans son ensemble. Le sujet et les perspectives concernent donc toutes les villes et pas seulement celles qui choisiraient d'être une *smart city*.

1. « L'intelligence artificielle n'est pas "intelligente" », interview de Gérard Berry, professeur au Collège de France, *L'Express*, 12 juillet 2018.

2. Cédric Verpeaux, « Smart city versus stupid village », Caisse des dépôts ([www.caissedesdepots.fr/smart-city-versus-stupid-village](http://www.caissedesdepots.fr/smart-city-versus-stupid-village)).

3. Francis Pisani, « Mais d'où vient cette idée bizarre de "ville intelligente" ? », *La Tribune*, 16 janvier 2015.

4. Voir notamment le chapitre « Intelligence artificielle » dans Dominique Cardon, *Culture numérique*, Presses de Sciences-po, 2019. Sur les termes urbains, voir Julien Damon, Thierry Paquot, *Les 100 mots de la ville*, PUF, « Que sais-je ? », 2014.

5. Même si les deux termes *smart city* et ville intelligente sont employés comme synonymes, on peut considérer que le premier renvoie à une approche plus technologique et le second au nouveau fonctionnement de l'économie.

6. Il sera intéressant d'observer l'arrivée d'Alibaba en France à l'occasion des Jeux olympiques de Paris en 2024. Alibaba est l'un des principaux sponsors mondiaux du CIO.

7. Notamment avec l'entreprise Senseime, spécialisée dans la reconnaissance faciale ([www.senseime.com](http://www.senseime.com)).

Dans ce nouvel environnement urbain, l'habitant-usager-consommateur change de rôle : il n'est plus seulement consommateur mais devient aussi producteur – d'énergie, de places libres dans sa voiture ou son logement, d'informations –, traduisant l'émergence de la « multitude »<sup>8</sup>. C'est aussi un habitant-usager qui peut être dorénavant saisi « sur mesure », en fonction de son usage et de ses caractéristiques propres (âge, comportement, revenus, dépenses), et en temps réel. Ces nouvelles potentialités, qui permettent d'activer la valeur des actifs sous-utilisés et de proposer des offres individualisées à des prix standardisés, sont notamment activées par des plateformes, ces nouveaux acteurs qui mettent en relation offre et demande et qui se développent d'autant plus vite que leur économie repose sur les effets de réseau et la loi des rendements croissants, renforçant ainsi la course à la taille.

### **Si l'auto-stop existait avant Blablacar, le numérique permet un changement d'échelle, grâce notamment au smartphone.**

Exemple : si l'auto-stop existait avant Blablacar, le numérique permet un changement d'échelle, grâce notamment au smartphone, qui permet à chacun de se connecter à tout moment, aux systèmes de scoring (appréciation de la fiabilité d'un prestataire) qui créent la confiance, à la dématérialisation qui lève les barrières d'accès physiques, au cloud et aux nouvelles capacités de calcul.

Les plateformes existent depuis plus de dix ans, mais les progrès du *deep learning* devraient accentuer leur poids, puisque l'apprentissage profond – au cœur de l'intelligence artificielle – permet précisément de renforcer ce qui est la fonction même des plateformes et leur proposition de valeur, l'appariement (*matching*, ou complémentarité entre une offre et une demande à un instant T) : appariement entre des offres et des demandes de trajet en voiture (Uber), entre des offres et des demandes de biens de consommation (Amazon). Ces sujets sont très connus dans le commerce des biens et services. On les trouve dans bien d'autres domaines, par exemple la reconnaissance faciale, qui permet d'apparier un visage à une identité.

L'essor de l'IA devrait aussi renforcer la capacité des plateformes dans les systèmes de paiement, qui deviennent un élément très structurant pour agréger des bouquets de services urbains<sup>9</sup>.

### **Des défis qui s'accroissent**

L'intelligence artificielle devrait aussi bien consolider l'instrumentation de la ville qu'accroître le poids des plateformes. Elle contribue ainsi à accentuer des défis qui étaient certes présents, mais qui prennent, compte tenu de leur développement, une importance accrue.

Une première question porte évidemment sur le type de société, et de ville, que l'on souhaite. Renforcer l'efficacité de la ville monitorée, c'est en même temps renforcer ses effets pervers. La promesse de *City Brain* d'être capable d'analyser les vidéos de quelque 50 000 caméras de surveillance pour adapter la signalisation en temps réel induit la crainte d'une société de surveillance généralisée. De son côté, *Cloud Town*, le projet de ville connectée financé par Alibaba qui repose sur l'intelligence artificielle, ressemble à s'y méprendre à un laboratoire de surveillance de masse pour le Parti communiste chinois<sup>10</sup>. On retrouve les mêmes questions avec le système de crédit social, qui, toujours en Chine, « recourt à un ensemble de systèmes de notation qui attribuent à chaque citoyen une note calculée à partir de différents paramètres (capacité à tenir les engagements commerciaux, comportement sur les réseaux sociaux, respect du code de la route, consommation, etc.) »<sup>11</sup>. Sans doute la France n'est-elle pas la Chine, mais la vigilance s'impose.

### **De telles tendances menacent le financement des fonctions aujourd'hui assurées par les infrastructures traditionnelles, notamment dans leurs dimensions de continuité et de pérennité.**

La deuxième question est celle du gouvernement des villes, particulièrement concernant la place respective des acteurs publics et des nouveaux acteurs privés. Cette question se pose notamment en France et questionne le rôle des maires et des collectivités locales. Alors que, traditionnellement, celles-ci avaient le monopole de la production des services urbains (y compris *via* des délégations de service public), ces nouveaux acteurs que sont les plateformes s'invitent dans la production de ces services urbains, tandis que leur capacité à être au plus près de l'utilisateur leur permet de capter l'essentiel de la valeur créée<sup>12</sup>. De telles tendances menacent le financement des fonctions aujourd'hui assurées par

8. Nicolas Colin et Henri Verdier, *L'âge de la multitude. Entreprendre et gouverner après la révolution numérique*, Armand Colin, 2012.

9. Ces modèles d'agrégation par les données des usagers, encore peu structurants en France, sont déterminants en Asie : les systèmes de paiement Alipay (Alibaba) ou WeChat Pay (Tencent) sont des facteurs d'agrégation essentiels. Voir Isabelle Baraud-Serfaty, Clément Fourchy, Nicolas Rio, « Qui sera le fleuriste de la ville intelligente? Ou de l'art de composer des bouquets de services urbains », *Third*, n° 2, mai 2019 (<https://third.digital/numero-2-a-la-recherche-de-la-smart-city/qui-sera-le-fleuriste-de-la-ville-intelligente/>).

10. « Cloud Town, le laboratoire de la ville totalitaire connectée », *Demain la ville*, 18 mars 2019, ([www.demainlaville.com/cloud-town-laboratoire-ville-totalitaire-connectee/](http://www.demainlaville.com/cloud-town-laboratoire-ville-totalitaire-connectee/)).

11. Florian Forestier, « Emergence de nouvelles formes de contrôle social en Chine », *Futuribles.com*, 11 octobre 2018 (<https://www.futuribles.com/fr/article/emergence-de-nouvelles-formes-de-contrôle-social-e/>). 12. Isabelle Baraud-Serfaty, Clément Fourchy, Nicolas Rio, « Étude sur les nouveaux modèles économiques urbains » ([www.modeleseconomiquesurbains.com](http://www.modeleseconomiquesurbains.com)).

12. Isabelle Baraud-Serfaty, Clément Fourchy, Nicolas Rio, « Étude sur les nouveaux modèles économiques urbains » ([www.modeleseconomiquesurbains.com](http://www.modeleseconomiquesurbains.com)).



les infrastructures traditionnelles, notamment dans leurs dimensions de continuité et de péréquation. Cela pose également la question de la manière dont les collectivités locales peuvent continuer à maîtriser l'organisation des services urbains.

### Comment répondre à ces défis ?

Face à ces nouveaux défis, quelles peuvent être les réponses à apporter ? Trois peuvent être identifiées.

La première réponse est la mise en place de nouvelles régulations. Face au renforcement du pouvoir des plateformes, cette exigence d'encadrement se renforce. C'est ce à quoi s'attellent notamment aujourd'hui les États, qu'il s'agisse des États-Unis ou de l'Europe. Mais sans doute faut-il que les maires eux-mêmes soient en première ligne et on peut imaginer que le C40, réseau mondial de villes<sup>13</sup> qui a montré son ambition en matière climatique, joue un rôle en la matière, car c'est d'abord dans les métropoles que l'avenir de ces plateformes se joue.

**Sans doute faut-il que les maires eux-mêmes soient en première ligne et on peut imaginer que le C40, réseau mondial de villes qui a montré son ambition en matière climatique, joue un rôle en la matière.**

La deuxième réponse viendra sans doute des habitants-usagers-consommateurs. En même temps que le numérique se développe, les appels à la déconnexion ou à des modes de vie *low tech* se multiplient. Sans doute sont-ils encore minoritaires, et les attitudes restent souvent schizophrènes. Qui, en effet, ne promet pas de se « débrancher » tout en pilotant sa vie avec son smartphone ? Un élément clé est aussi le caractère colossal de ces plateformes géantes. S'il s'agit certes de colosses, ce sont des colosses aux pieds d'argile<sup>14</sup>. Et les changements de comportement ont des effets sensibles. Le numérique, et tout particulièrement l'intelligence artificielle, a un coût environnemental très élevé<sup>15</sup>, et, alors que la sensibilité environnementale augmente, il est possible qu'à la « honte de prendre l'avion » succède la « honte de recourir à l'intelligence artificielle ».

Enfin, la troisième réponse émanera sans doute du retour de la réalité. Plus l'immatériel se développe, plus le tangible prend de la valeur. De même que les concerts n'ont jamais eu autant de succès depuis que le numérique a saisi l'industrie musicale, les actifs tangibles de la ville (les espaces publics, les trottoirs, les immeubles) devraient voir leur valeur augmenter. Ainsi, Softbank Vision Fund, le plus important fonds de placement dédié aux technologies du monde, vise à investir là où les besoins ou les désirs humains ne seront ni remplacés ni détruits par la technologie, notamment dans l'immobilier. « *Même si les robots et l'IA occupent une place importante dans nos vies, lit-on dans un article sur la vision du futur de Softbank, nous aurons toujours besoin de manger et d'avoir un toit au-dessus de notre tête ; nous aurons toujours le désir d'apprendre, de voyager et de nouer des relations plus profondes et plus personnelles.* »

**Plus l'immatériel se développe, plus le tangible prend de la valeur. De même que les concerts n'ont jamais eu autant de succès depuis que le numérique a saisi l'industrie musicale, les actifs tangibles de la ville (les espaces publics, les trottoirs, les immeubles) devraient voir leur valeur augmenter.**

Le besoin d'atterrir, dont parle le sociologue Bruno Latour, se traduit par une certaine revanche de la ville « réelle », en chair, en os et en brique, sur la ville « artificielle ».

Ainsi, l'intelligence artificielle qui saisit les villes comporte aussi bien des menaces que des opportunités. Favoriser les dernières tout en atténuant les premières, tel est l'objectif d'une ville vraiment intelligente. ●

13. Dont la présidente est aujourd'hui la maire de Paris ([www.c40.org](http://www.c40.org)).

14. Uber a par exemple fini l'année 2018 avec une perte de 1,8 milliard de dollars.

15. « Quand une IA émet autant de CO<sub>2</sub> que cinq voitures », *les Échos*, 11 juin 2019.

16. « Pourquoi "la honte de prendre l'avion" inquiète les compagnies aériennes », *le Monde*, 3 juin 2019.

17. Erin Griffith, « SoftBank's Futuristic Vision Fund Takes on the Real (Estate) World », *Wired.com*, 16 avril 2018 ([www.wired.com/story/softbanks-futuristic-vision-fund-takes-on-the-real-estate-world/](http://www.wired.com/story/softbanks-futuristic-vision-fund-takes-on-the-real-estate-world/)).

Merci à Élisabeth Grosdhomme de nous avoir signalé cet article.

18. Bruno Latour, *Où atterrir*, la Découverte, 2017.

# Vers une révolution des assurances ?

**Grégory  
Kron**

Directeur général adjoint de SMABTP.



Dans le cadre de l'accélération de la transition numérique, les assureurs sont amenés à collecter un volume de données en croissance ininterrompue. Reliée à des solutions d'intelligence artificielle, l'exploitation de ces données est un enjeu important de transformation du fonctionnement des assurances.

**C**omme beaucoup d'autres secteurs, les assurances possèdent un grand nombre d'informations, notamment sur leurs clients : déclarations de risque, contrats, interactions avec les services mais aussi éventuels rapports d'expertise lors de sinistres ou encore informations disponibles librement sur Internet. Si la révolution des assurances est en cours, elle s'opère particulièrement par le prisme du *big data*, qui est une des composantes majeures de l'intelligence artificielle. L'Autorité de contrôle prudentiel et de résolution (ACPR) conçoit l'intelligence artificielle comme « *des programmes qui disposent au minimum d'une capacité d'apprentissage autonome, autrement dit [des] algorithmes de machine learning* »<sup>1</sup>. Par ailleurs, le *big data*, traduit en français par mégadonnées, correspond à des « *données structurées ou non dont le très grand volume requiert des outils d'analyse adaptée* »<sup>2</sup>. Ces deux notions sont intimement reliées, puisque l'intelligence artificielle est un moyen d'exploiter des données de plus en plus massives. Les utilisations à la fois du *big data* et de l'intelligence artificielle vont donc souvent de pair. Si certaines applications commencent à se dessiner, il ne faut pas oublier que, pour fonctionner correctement, l'intelligence artificielle nécessite un grand volume de données, qui doivent être de qualité mais aussi en adéquation avec l'objectif sur lequel celle-ci va être entraînée.

### La personnalisation du parcours client

L'intelligence artificielle permet d'accroître l'efficacité des assureurs auprès de leurs clients afin de mieux répondre à leurs attentes. En effet, celles-ci évoluent régulièrement et encore plus fortement avec le numérique. Les clients demandent plus de rapidité et plus d'agilité dans leur relation aux assurances.

Le *big data* et l'intelligence artificielle permettent ainsi de créer des parcours clients en phase avec ces considérations. De nombreuses start-up renouvellent les souscriptions, en proposant des parcours rapides et personnalisés. Les algorithmes permettent de proposer une offre en bonne adéquation avec les besoins du client mais aussi de tarifier le contrat au plus près du risque assuré.

***Les algorithmes permettent de proposer une offre en bonne adéquation avec les besoins du client mais aussi de tarifier le contrat au plus près du risque assuré.***

L'intelligence artificielle pourra permettre de fluidifier plusieurs domaines. Certaines applications permettent de répondre automatiquement à des demandes, y compris formulées à l'oral, ou encore être en mesure d'analyser des images pour catégoriser le sinistre voire l'évaluer. Ainsi, beaucoup de procédures pourraient être automatisées.

Par exemple, un maître d'ouvrage pourra probablement recevoir automatiquement puis souscrire en quelques clics son assurance dommages ouvrage car l'assureur se sera connecté sur la maquette BIM (*building information modeling*) qui contiendra toutes les informations nécessaires à la présentation du chantier. Mais toutes les données ne sont pas encore aussi facilement accessibles et la transformation du secteur est encore en cours.

1. Olivier Fliche, Su Yang, « Intelligence artificielle : enjeux pour le secteur financier », ACPR, décembre 2018.  
2. *JORF* n° 0193, 22 août 2014, p. 13972.

## Les données générées par les objets connectés

Les objets connectés constituent un vivier important de données dont le traitement peut être utile d'un point de vue assurantiel en permettant de proposer de nouvelles offres ou services. On entend par objet connecté un objet muni de capteurs et capable d'envoyer des informations directement ou non sur Internet.

L'automobile est un premier exemple concret d'impact potentiel du *big data* dans l'assurance. Certaines compagnies proposent des boîtiers embarqués et connectés qui collectent les données de conduite. Il existe depuis plus de dix ans une offre dite *pay as you drive* consistant en un abonnement mensuel tarifié selon le nombre de kilomètres parcourus. Puis est apparue l'offre dite *pay how you drive*. Elle repose sur une analyse des données de conduite permettant à l'assureur d'accéder à un grand nombre de données pertinentes pour l'évaluation du risque, comme la vitesse moyenne, le nombre de freinages et bien évidemment le nombre de kilomètres parcourus. Mais cela pose bien sûr la question du cadre légal d'utilisation des données personnelles et celle du risque de démutualisation, et donc d'exclusion de l'accès à l'assurance.

***Dans le secteur de l'habitation, on trouve aujourd'hui thermostats, caméras, serrures connectés et des boîtiers domotiques permettant de commander ces différents appareils grâce à une application sur smartphone ou tablette, le but étant notamment de faire des économies d'énergie ou de sécuriser son logement.***

L'intérêt des données et des changements qu'elles peuvent engendrer dans le secteur des assurances ne fait aucun doute. Dans le secteur de l'habitation, on trouve aujourd'hui thermostats, caméras, serrures connectés et des boîtiers domotiques permettant de commander ces différents appareils grâce à une application sur smartphone ou tablette, le but étant notamment de faire des économies d'énergie ou de sécuriser son logement. Mais ces objets peuvent aussi être exploités pour la détection ou la résolution d'un dommage ou d'un sinistre (intrusion, départ d'incendie, fuite d'eau). Ces dispositifs peuvent ainsi constituer des services complémentaires à une offre d'assurance ou être exploités dans

le cadre de la maintenance d'un bâtiment. Et les informations collectées peuvent permettre de régler les sinistres de manière plus efficace et plus rapide ou, dans certains cas, de les anticiper et de proposer de les parer avant qu'ils ne surviennent. Lorsque ces objets seront partie prenante de la construction et du fonctionnement du bâtiment, la question de la propriété des données se posera de façon nouvelle. Les responsabilités en cas de problème seront également à clarifier : promoteur, constructeur, exploitant, fabricant ? Le dysfonctionnement de ces objets connectés dans le logement sera-t-il un motif d'impropriété à destination ?

## L'apparition de nouveaux risques

Le *big data* transforme certains aspects du métier d'assureur mais aussi bien d'autres métiers. Ce changement conduit un grand nombre d'acteurs à stocker des volumes gigantesques d'informations personnelles ou à se reposer de plus en plus sur des calculs d'algorithmes pour prendre des décisions. Ces phénomènes ont créé de nouveaux risques mais aussi une nouvelle branche d'assurance : les cyber-risques.

***Ces phénomènes ont créé de nouveaux risques mais aussi une nouvelle branche d'assurance : les cyber-risques.***

Le plus connu de ces risques, le virus informatique, est apparu avant les années 2000. Il a été détrôné par des méthodes de piratage bien plus sophistiquées. On peut citer les différentes formes de cyberattaques suivantes : *spywares*, ou logiciels espions (introduits dans un système pour collecter des informations à l'insu de l'utilisateur), spams (mails non souhaités, le plus souvent inoffensifs, renfermant tout de même fréquemment des virus ou des *spywares*), *phishing* (méthode ayant pour but de voler les informations personnelles d'utilisateurs telles que données bancaires, mots de passe, identité), *hacking* (consistant à s'introduire frauduleusement dans un système ou un réseau informatique). Le vol de données peut prendre des formes plus rudimentaires telles que le fait de dérober des outils informatiques mobiles (smartphones, tablettes, ordinateurs portables). Les attaques ont pour conséquence la perte de données, facilitées notamment par l'utilisation de plusieurs appareils connectés entre eux. Le pirate réalise son forfait à distance et peut cacher son identité et échapper aux poursuites.

Les entreprises du secteur du bâtiment sont de plus en plus exposées à ce type de risque. Dans le cadre du chantier, elles peuvent être confrontées à des

problèmes plus spécifiques du fait de l'utilisation d'outils numériques tels que le BIM. Le chantier peut subir une panne comme une cyberattaque. C'est pour répondre à ce risque que certains contrats innovants de « tous risques chantier cyber » ont été développés pour protéger automatiquement l'ensemble des intervenants sur un chantier.

***Certains contrats innovants de « tous risques chantier cyber » ont été développés pour protéger automatiquement l'ensemble des intervenants sur un chantier. Ces contrats ont pour objectif d'accompagner l'assuré afin de limiter les dégâts et de les réparer.***

Ces contrats ont pour objectif d'accompagner l'assuré afin de limiter les dégâts et de les réparer.

Au-delà de l'assistance, ils ont vocation à protéger financièrement les entreprises en prenant en charge les frais de décontamination, de gestion de crise voire de rançon.

Il est aujourd'hui prématuré de se prononcer sur la nature exacte et parfaite des transformations à venir. Le *big data* comme l'intelligence artificielle ne constituent pas une solution absolue tant de nombreux facteurs pourront les influencer. Il convient par ailleurs de rappeler qu'au-delà du but à atteindre, la création des conditions permettant de l'atteindre est essentielle. Ces conditions se caractérisent par la flexibilité et l'adaptabilité de tous les acteurs, et parmi eux les assureurs. Cela pourra par exemple être lié aux changements en matière de ressources humaines et d'organisation des modes de travail. Il s'agit ainsi d'oser entreprendre de nouvelles choses, quitte à faillir puis recommencer. Accepter le droit à l'erreur, mais aussi faire évoluer les organisations de manière à être en capacité de réagir rapidement aux transformations qui ne manqueront pas d'arriver. ●

# Limites de l'IA : le cas de l'automobile

**Eudoxe  
Denis**

Directeur des affaires publiques de Plastic Omnium<sup>1</sup>.

**Il a été notamment :**

- corapporteur du rapport « *Quelle place pour la voiture demain ?* », Institut Montaigne, 2017.



1. L'auteur s'exprime ici à titre personnel.

Produire des véhicules totalement autonomes n'est certainement pas pour demain. De tels objets coûteraient si cher que seules de rares personnes pouvant déjà largement rémunérer un chauffeur seraient en capacité de les acquérir. Mais bien au-delà des coûts, le recours massif à l'intelligence artificielle ne saurait réussir à forger une autonomie satisfaisante. La conduite doit rester aussi une expérience humaine.

L'avènement du véhicule autonome illustre de manière emblématique le déploiement de l'intelligence artificielle (IA) dans notre vie quotidienne. Mais le récit de cet avènement – annoncé comme imminent et pourtant sans cesse retardé – témoigne aussi des ambiguïtés associées aux potentialités de cette IA. On se concentrera dans cet article sur trois d'entre elles.

Première ambiguïté : la surestimation de l'intelligence artificielle elle-même. Dans le cas du véhicule autonome, cela conduit à surévaluer les progrès accomplis dans l'automatisation de la conduite et à se focaliser sur les questions « éthiques » posées par la délégation au véhicule de décisions aux conséquences potentiellement fatales (le fameux « dilemme du tramway »)<sup>2</sup>, alors même que les défis posés par la perception et l'interprétation de son environnement n'ont pas encore été résolus.

Deuxième sujet : la relation homme-machine. Les acteurs investis dans le développement du véhicule autonome divergent de manière parfois cruciale sur la manière d'envisager cette relation, avec une vision qui oscille entre antagonisme (l'algorithme de pilotage étant là pour éliminer le facteur humain) et coopération (l'algorithme de pilotage étant là pour « augmenter » les capacités du conducteur).

Troisième problématique : la finalité dans laquelle s'inscrit l'automatisation. Si les promoteurs du véhicule autonome justifient son développement pour résoudre un certain nombre de défis sociaux, des voix critiques s'élèvent pour rappeler qu'il n'existe pas nécessairement d'adéquation entre progrès technologique et progrès social ou anthropologique.

La nouvelle expérience de mobilité qui nous est promise serait en réalité factice, car pauvre en sensations et en interactions sociales. En voulant nous libérer du fardeau de la conduite les promoteurs du véhicule autonome nous priveraient de notre capacité d'agir.

### Un décalage entre annonces et réalité

L'automatisation de la conduite automobile a connu des développements significatifs depuis le début des années 2000, en raison des possibilités nouvelles en matière de puissance de calcul et de collecte à très large échelle des données. Ces développements conséquents, réalisés à l'origine par des acteurs extérieurs au monde de l'automobile, ont été fortement médiatisés car ils allaient dans le sens du discours en vogue sur la « disruption » des industries traditionnelles. Contraints de répliquer, les constructeurs automobiles ont intégré le développement du véhicule autonome dans leur stratégie, tout en remplaçant celui-ci dans la continuité de leurs efforts passés pour développer des systèmes de sécurité actifs et d'assistance à la conduite.

***L'automatisation de la conduite automobile a connu des développements significatifs depuis le début des années 2000, en raison des possibilités nouvelles en matière de puissance de calcul et de collecte à très large échelle des données.***

2. Sur ce point, voir l'article d'Élisabeth Grosdhomme dans ce numéro de *Constructif*. Le dilemme du tramway est une expérience de pensée : une personne peut effectuer un geste qui bénéficiera à un groupe de personnes A, mais, ce faisant, nuira à une personne B ; dans ces circonstances, est-il moral pour la personne d'effectuer ce geste ? Si un tramway ou une voiture est totalement autonome, l'algorithme peut avoir le choix, en cas de perspective d'accident, de choisir une vieille dame ou un enfant à heurter. Comment éthiquement programmer l'algorithme ?

C'est dans le cadre de cette rivalité qu'il convient de replacer certaines promesses tonitruantes, comme celle d'Elon Musk, président de Tesla, annonçant en 2015 que les véhicules commercialisés sous cette marque disposeraient d'une autonomie complète en 2017 et du feu vert du régulateur l'année suivante.

Le témoignage des experts directement chargés du développement du véhicule autonome donne une vision plus mesurée – et plus fiable – de l'état d'avancement du véhicule autonome. Comme l'explique ainsi Bryan Salesky, le fondateur d'Argo AI, une start-up rachetée par Ford, « nous sommes encore au tout début de la concrétisation des voitures autonomes. Ceux qui pensent que les véhicules entièrement autonomes seront omniprésents dans les rues des villes d'ici quelques mois ou quelques années ne sont pas au fait de l'état de la technique et ne sont pas déterminés à déployer la technologie en toute sécurité »<sup>3</sup>.

## Des défis qui persistent

Au-delà de la confusion volontairement entretenue sur les différents niveaux d'autonomie dont disposent réellement les véhicules commercialisables, la raison de ce décalage tient à la complexité des enjeux à résoudre.

Pour être entièrement autonome, une voiture se doit en effet de réaliser trois tâches distinctes : la perception (déterminer ce qui se passe autour d'elle), la prévision (déterminer ce qui se passera ensuite) et la politique de conduite (prendre les mesures qui s'imposent). S'il est tentant de voir dans cette dernière tâche le principal enjeu, dans la mesure où en découleraient d'éventuels dilemmes moraux auxquels serait confronté l'algorithme de pilotage du véhicule dans une situation de danger immédiat<sup>4</sup>, la politique de conduite est en réalité la tâche la plus simple. Le concepteur de Google Car, Sebastian Thrun, estime ainsi qu'elle ne représente que « 10 % du problème ». La perception et la prédiction sont les points difficiles.

**La détection des objets environnants est assurée par une combinaison de caméras et de radars, chacun de ces capteurs disposant de caractéristiques spécifiques, qu'il s'agisse de leur résolution, de leur champ de vision, de leur portée, de leur fiabilité et enfin de leur coût.**

La perception du véhicule autonome repose sur des composants matériels et logiciels. Du côté des composants matériels, la détection des objets environnants est assurée par une combinaison de caméras et de radars, chacun de ces capteurs disposant de caractéristiques spécifiques, qu'il s'agisse de leur résolution, de leur champ de vision, de leur portée, de leur fiabilité et enfin de leur coût. Leur combinaison et leur redondance permettent de viser une certaine robustesse et une certaine fiabilité. Du côté logiciel, les approches combinent vision par ordinateur (*computer vision*) et apprentissage en profondeur (*deep learning*) – cette dernière technique étant aussi utilisée pour les tâches de prédiction.

Si de nombreux progrès sont encore à attendre tant du côté des composants matériels que logiciels, dans l'état des technologies utilisées la perception des véhicules « autonomes » en situation de test reste aujourd'hui très imparfaite. Ils peinent à distinguer leur environnement, notamment lorsque les conditions météo sont mauvaises, et à réagir en cas d'événements atypiques.

Surtout, ils sont encore très loin de pouvoir se déplacer de manière non supervisée dans un environnement urbain, situation qui requerrait par exemple de résoudre les défis suivants : pouvoir distinguer si une personne située à côté d'un vélo marche ou fait du vélo ; grouper ou détecter avec précision deux personnes se tenant côte à côte (ou une personne se situant juste à côté d'une voiture) en tant que deux usagers de la route distincts ; interpréter correctement le contexte d'une scène, par exemple les signaux de la main d'un agent de la circulation ou d'un autre conducteur sur une intersection à quatre voies.

**La conduite en ville consiste en des centaines de contrats sociaux de courte durée entre les agents, imperceptibles aux yeux des machines (les regards, les signes de sympathie, de courtoisie) et sur lesquels l'être humain possède une expertise intuitive.**

Ce dernier exemple illustre l'un des grands défis de la robotique adaptée à la conduite, du moins si l'on envisage une coexistence du véhicule autonome avec d'autres véhicules « standards ». La conduite en ville consiste en des centaines de contrats sociaux de courte durée entre les agents, imperceptibles aux yeux des machines (les regards, les signes de sympathie, de courtoisie) et sur lesquels l'être humain possède une expertise intuitive.

3. Sur les activités de Argo AI, voir [www.argo.ai](http://www.argo.ai).

4. S'il a le choix, par exemple, entre percuter un enfant, entrer en collision avec une personne âgée, ou se projeter contre un mur (et ne tuer que le passager du véhicule autonome).



## Maintenir ou non l'humain dans la boucle

De manière plus générale, conduire fait appel à la fois à nos capacités cognitives – pour lesquelles les progrès actuels de l'IA lui donnent un avantage – et à notre intuition et à nos capacités sensori-motrices – pour lesquelles nous conservons des atouts par rapport à la machine. Le développement du véhicule autonome implique donc une réflexion sous-jacente sur la nature de l'interaction homme-machine.

### Le développement du véhicule autonome implique donc une réflexion sous-jacente sur la nature de l'interaction homme-machine.

Sur cet aspect, différentes stratégies sont à l'œuvre chez les acteurs engagés dans le développement du véhicule autonome. Pour schématiser, là où les constructeurs automobiles traditionnels se sont engagés sur la voie d'une autonomie graduelle, l'ambition d'un Google est de parvenir à mettre sur le marché un véhicule d'emblée 100 % autonome. La première approche se justifie par une logique d'innovation incrémentale, à partir des progrès déjà accomplis en matière de conduite assistée ; la seconde vise à prévenir un risque de distraction chez les conducteurs humains qui serait accru par leur impression de pouvoir s'en remettre totalement à leur véhicule, alors que son autonomie ne serait que partielle.

Pour Gill Pratt, le responsable chez Toyota du développement du véhicule autonome, ces deux approches renvoient à deux conceptions divergentes de l'autonomie : l'autonomie « parallèle » – la machine est un « ange gardien » qui surveille le conducteur et l'aide à ne pas commettre d'erreur –, et l'autonomie « sérielle » : elle se substitue à lui.

Les détracteurs de la première approche s'appuient sur l'exemple de l'aéronautique. Comme l'a tragiquement illustré le crash du vol 447 d'Air France, l'usage du pilote automatique a entraîné une diminution des réflexes et l'augmentation des erreurs de pilotage des opérateurs humains. La diminution des accidents routiers – principal argument brandi par les promoteurs d'une voiture sans conducteur – imposerait donc la voie de l'autonomie complète. Cette seconde approche comporte un double écueil : elle pêche à la fois par utopisme – même si elle devait être considérée comme souhaitable, l'élimination du facteur humain relève d'une tâche impossible – et par optimisme – si les erreurs humaines

sont aujourd'hui responsables de l'essentiel des accidents de la route, le véhicule autonome n'en comporterait pas moins des risques spécifiques.

### L'autonomie complète relève d'un mythe, dans la mesure où la façon dont un système est conçu, par qui et dans quel but, façonne en quelque sorte ses capacités et ses possibilités d'interaction avec les personnes qui l'utilisent.

Pour le professeur au MIT David A. Mindell, dont l'expertise repose notamment sur vingt-cinq ans d'ingénierie autour des robots-explorateurs sous-marins et sur son expérience dans l'aéronautique, l'autonomie complète relève d'un mythe, dans la mesure où la façon dont un système est conçu, par qui et dans quel but, façonne en quelque sorte ses capacités et ses possibilités d'interaction avec les personnes qui l'utilisent. La véritable prouesse technologique ne résiderait pas dans l'autonomie complète, mais dans la capacité à inscrire la machine dans un contexte social et humain : « *Maintenir l'humain dans la boucle requiert une technologie plus sophistiquée que la simple automatisation.* »<sup>5</sup>

### Des finalités poursuivies par l'automatisation de la conduite

Pour ses promoteurs, la voiture sans conducteur est porteuse d'une triple promesse : épargner des vies humaines en réduisant de manière drastique le nombre d'accidents, réduire la congestion, notamment dans les grandes villes, et rendre enfin à ses utilisateurs un temps précieux qui pourrait être consacré à leur travail ou leurs loisirs.

La première affirmation est en réalité assortie de conditions implicites : pour que le risque d'accident soit nul, elle suppose que 100 % des véhicules déployés sur les routes soient entièrement autonomes. Surtout, elle néglige l'apparition d'un risque nouveau, lié à la défaillance de la machine et qui pourrait prendre tant la forme d'une erreur ponctuelle, dans une situation de conduite donnée, que se matérialiser de façon beaucoup plus systémique, en affectant simultanément un très grand nombre de véhicules. Une erreur informatique, ou un piratage, aurait des conséquences à grande échelle. On se trouverait alors confronté à un risque de pointe, c'est-à-dire à la probabilité très faible mais aux conséquences majeures.

5. David A. Mindell, *Our Robots, ourselves: Robotics and the myth of autonomy*, Viking, 2015.

La seconde proposition néglige un élément bien connu des spécialistes des transports : l'effet rebond. On peut en effet considérer que la demande de mobilité s'accroisse dans les grandes villes avec la diminution des coûts de transport liée à l'arrivée des robots-taxis et le fait que la circulation apparaisse dans un premier temps plus fluide. De manière intéressante, dans l'étude très médiatisée du Forum international des transports de l'OCDE de 2015 sur les conséquences du déploiement du véhicule autonome dans une ville comme Lisbonne, c'est le fait que celui-ci soit partagé entre plusieurs utilisateurs, plus que la conduite autonome, qui explique la diminution drastique du trafic<sup>6</sup>. Or, de manière générale, l'appétence des utilisateurs pour le covoiturage est très largement surestimée, tandis qu'à l'inverse on sous-estime combien avoir à sa disposition un véhicule compte autant, sinon davantage, que sa fréquence d'utilisation dans les choix d'équipement d'un ménage.

En apparence la moins contestable, la dernière proposition est en réalité la plus préoccupante – du moins si l'on juge d'après l'analyse du philosophe Matthew Crawford. Selon lui, l'automatisation de la conduite s'inscrit dans une tendance déjà à l'œuvre dans la conception des véhicules – avec l'arrivée de l'électronique, notamment – qui a eu pour effet de rompre le lien qui existe entre le conducteur et la route, en substituant chez ce dernier une expérience acquise *par médiation* à l'expérience *ressentie* : « *La conception des automobiles a été orientée vers l'isolement, offrant une expérience de conduite de moins en*

*moins complexe. L'idéal semble de faire du conducteur un observateur désincarné, traversant un monde d'objets se présentant comme sur un écran.* »<sup>7</sup> L'automatisation de la conduite parachèverait cette évolution, faisant de son passager un individu passif, dont la capacité d'attention pourrait dès lors être « colonisée » par les entreprises des nouvelles technologies.

### ***On peut ici s'interroger sur la recherche d'une autonomie complète du véhicule qui se réaliserait ainsi au détriment de celle de son conducteur.***

On peut ici s'interroger sur la recherche d'une autonomie complète du véhicule qui se réaliserait ainsi au détriment de celle de son conducteur – si l'on entend par là sa capacité d'agir –, alors qu'au contraire l'immense succès de la voiture au XX<sup>e</sup> siècle tient au fait que, davantage encore qu'un instrument, elle était le prolongement – quasi physique – du désir de liberté de son utilisateur.

Le réel défi n'est donc pas de parvenir à l'autonomie complète, mais d'inscrire l'autonomie dans un contexte où celle-ci puisse contribuer à enrichir et non appauvrir l'expérience humaine. C'est en effet ainsi qu'on pourra parler d'une véritable innovation. ●

6. Pour les rapports du Forum international des transports de l'OCDE (*ITF Transport Outlooks*), voir <https://www.oecd-ilibrary.org/fr/transport>.

7. Matthew Crawford, *The world beyond your head: How to flourish in an age of distraction*, Viking, 2015.

# L'IA en Chine : état des lieux

**Aifang  
Ma**

Doctorante et enseignante à Sciences-po.



L'intelligence artificielle occupe aujourd'hui une place croissante dans l'empire du Milieu. Fortement soutenues par le gouvernement, des stratégies tous azimuts visent à faire de la Chine, avec ses start-up et ses géants du numérique, le pays le plus performant en la matière. Ce qui s'observe en matière d'assurance, de santé, de gestion de l'ordre public ou de politiques environnementales. Avec des préoccupations juridiques et éthiques particulières, dans le cadre des recompositions géopolitiques en cours.

**E**n Chine, le 11 novembre marque la fête des Célibataires. Créée pour des raisons commerciales, cette fête profite avant tout aux marchands électroniques. Le 11 novembre 2018, Alibaba, géant chinois de la vente en ligne, a réalisé un chiffre d'affaires de 25,3 milliards d'euros, soit une progression de 39 % par rapport à 2017 et de 87 % par rapport à 2016.

Le succès triomphal de l'e-commerce chinois s'explique par l'application généralisée de l'intelligence artificielle (IA), domaine où la Chine est devenue l'un des pays les plus avancés dans le monde et qui revêt une importance stratégique pour le pays. Lors de la présentation des vœux de nouvelle année du président Xi Jinping en 2018, on pouvait voir derrière lui deux livres importants : *The Master Algorithm*, de Pedro Domingos et *Augmented: Life in the Smart Lane* de Brett King<sup>1</sup>. Et ce n'était pas un hasard.

### Stratégies nationales en IA

Lorsque la Chine s'est lancée dans le développement de l'IA, deux objectifs ont été fixés : relever les défis intérieurs et rattraper le niveau américain. En juillet 2017, le Conseil des affaires de l'État a rendu public son « Plan de développement de la prochaine génération de l'intelligence artificielle pour la période de 2016 à 2030 » (ci-après le Plan). Ce document présente un développement de l'IA en trois étapes, dont l'objectif final est que le pays devienne le leader mondial de l'IA en 2030 ainsi qu'une référence en matière de réglementation. En plus de la fixation de stratégies à long terme, le gouvernement chinois accorde un soutien financier décisif au secteur. Des investissements à hauteur de

l'équivalent d'environ 23 milliards de dollars sont prévus d'ici à 2020 pour aider les universités, les incubateurs et les start-up à développer leur expertise en matière d'IA.

**Des investissements à hauteur de l'équivalent d'environ 23 milliards de dollars sont prévus d'ici à 2020 pour aider les universités, les incubateurs et les start-up à développer leur expertise en matière d'IA.**

Vu son retard dans la production d'équipements clés tels que les puces spécialisées, la Chine redouble d'efforts dans l'achat de technologies issues de pays étrangers. Selon Forrester Research, entreprise de conseil fournissant une expertise sur les enjeux technologiques, la Chine aura augmenté ses achats de technologies de 8 % en 2018, pour un montant total équivalent à 234 milliards de dollars. La Chine applique la « méthode des raccourcis »<sup>2</sup> au secteur de l'IA. Par ailleurs, au regard de l'immense potentiel du marché chinois, les entreprises étrangères adoptent souvent une attitude coopérative par rapport aux règles chinoises.

La Chine s'efforce ainsi de créer un environnement social favorable à l'IA. Dans le Plan, il est indiqué qu'« il faut utiliser tous les moyens de communication traditionnels ou émergents pour informer le peuple chinois des avancées importantes réalisées dans le

1. Pedro Domingos, *The Master Algorithm. How the Quest for the Ultimate Learning Machine Will Remake Our World*, Basic Books, 2015 ; Brett King, *Augmented: Life in the Smart Lane*, Marshall Cavendish International, 2016.

2. La « méthode des raccourcis » est utilisée pour décrire la manière dont la Chine a pu rattraper le niveau de développement économique des pays occidentaux en moins de trente ans. À cette fin, la Chine offre des avantages fiscaux aux entreprises et aux investisseurs étrangers pour des investissements et des transferts technologiques aux entreprises chinoises.

domaine de l'IA. Le développement de cette dernière doit s'ériger en consensus social. En outre, il convient de mobiliser la participation active de toute la société au développement de l'IA ».

## **65 % des citoyens chinois se déclarent confiants en cette technologie, contre 29 % dans d'autres pays.**

Ce n'est donc pas une surprise si 65 % des citoyens chinois se déclarent confiants en cette technologie, contre 29 % dans d'autres pays, à en croire le bureau britannique Dentsu Aegis, multinationale basée à Londres et spécialisée dans les médias et le marketing numériques.

### **Dynamique des champions numériques nationaux**

Depuis 2016, année où le programme informatique Alpha Go a battu le troisième joueur mondial de go, des progrès spectaculaires ont été réalisés en Chine, avec un marché de l'IA en constante expansion. Le dynamisme des géants du numérique (représentés par les BATX<sup>3</sup>) et des start-up ont grandement contribué au développement accéléré du secteur dans le pays.

Les entreprises chinoises de l'IA font preuve d'une expertise très avancée. La société pékinoise iFlytek, créée en 1999, est un leader en matière de traitement de la voix et de reconnaissance vocale. Avec une précision de 95,4 %, la technologie de reconnaissance d'image de Baidu dépasse celle de Google, dont l'exactitude est de 95,2 %.

De plus, les entreprises chinoises ont établi de nombreux partenariats avec leurs homologues britanniques, américaines et allemandes. La coopération sino-française en IA a été lancée officiellement début 2018 avec la visite officielle du président Emmanuel Macron à Pékin. Dans ce cadre, les deux pays se sont accordés sur la création d'un fonds d'investissement commun de 1 milliard d'euros dans la recherche fondamentale et les applications industrielles de l'IA.

## **En plus de la capacité inégalée des supercalculateurs chinois et d'un environnement social favorable, les entreprises du secteur ont la possibilité de collecter un volume**

## **gigantesque de données, avec lesquelles elles peuvent entraîner leurs algorithmes pour les rendre encore plus performants.**

Le dynamisme exceptionnel des entreprises chinoises s'explique par plusieurs facteurs importants. En plus de la capacité inégalée des supercalculateurs chinois et d'un environnement social favorable, les entreprises du secteur ont la possibilité de collecter un volume gigantesque de données, avec lesquelles elles peuvent entraîner leurs algorithmes pour les rendre encore plus performants. Par ailleurs, les conditions dans lesquelles les sociétés chinoises de l'IA se développent sont relativement souples, dans la mesure où, pour le moment, le gouvernement ne leur impose pas beaucoup de contraintes éthiques. Il faut aussi noter l'existence d'une véritable synergie entre les acteurs publics et les acteurs privés. Par exemple, le soutien des autorités locales a été décisif dans le développement, devenu légendaire, de nombreuses sociétés, comme SenseTime et CloudWalk.

### **État des lieux du développement de l'IA**

Les applications de l'IA en Chine se sont développées à une grande vitesse, prioritairement dans le domaine de la santé. Le pays est, depuis 2014, le deuxième le plus avancé du monde concernant l'e-santé. Dans ce secteur, la Chine représente 37 % des parts de marché en Asie-Pacifique. Conscientes du potentiel commercial de l'e-santé, les entreprises chinoises s'y lancent les unes après les autres. Alibaba a développé AliHealth, plateforme qui est devenue aujourd'hui une référence dans l'e-pharmacie et les services pharmaceutiques dits O2O (*online to offline*), c'est-à-dire au croisement du commerce en ligne et du commerce physique.

Mobilisant largement l'IA, le groupe Ping An s'impose aujourd'hui comme le numéro un mondial de l'assurance, dépassant Allianz et Axa. Dans le domaine de la santé, les algorithmes de Ping An parviennent, en analysant des photos et des radiographies, à diagnostiquer vingt-trois affections simples et à détecter les risques de cancer du poumon.

Corollaires d'une dynamique d'urbanisation brutale, de nombreux problèmes posent un vrai défi au maintien de la stabilité sociale en Chine. Au regard des gains de temps et de budget promis par l'IA, celle-ci se voit conférer un rôle important dans la préservation de l'ordre public. De nombreuses villes chinoises utilisent l'IA dans la gestion des transports urbains. Les piétons traversant au rouge verront leur visage apparaître sur des écrans publics. Le visage

3. BATX désigne les quatre géants chinois : Baidu, Alibaba, Tencent et Xiaomi. Ils sont spécialisés respectivement dans les moteurs de recherche, l'e-commerce, les réseaux sociaux et les télécommunications.

ne disparaîtra que lorsqu'une amende sera payée au commissariat local. Concernant la prévention d'actes criminels, l'algorithme de CloudWalk, société pionnière de la reconnaissance faciale, peut effectuer des comparaisons entre les images recueillies et celles stockées dans la base de données des forces de l'ordre, facilitant ainsi l'intervention policière.

**Concernant la prévention d'actes criminels, l'algorithme de CloudWalk, société pionnière de la reconnaissance faciale, peut effectuer des comparaisons entre les images recueillies et celles stockées dans la base de données des forces de l'ordre, facilitant ainsi l'intervention policière.**

À propos de l'utilisation de l'IA à des fins de défense nationale, plus d'une centaine de spécialistes de haut niveau ont été recrutés pour travailler sur l'IA et les technologies quantiques pour des applications militaires. La dernière version du drone de combat Wing Loong II a fait l'objet de commandes, notamment de la part de l'Arabie saoudite (300 appareils). Par ailleurs, la Chine a commencé début 2018 la construction d'un site de test des navires sans pilote à Zhuhai, projet cofinancé par le gouvernement local, la China Classification Society, l'université de technologie de Wuhan et OceanAlpha.

**Dans la concurrence sino-américaine, la Chine est en train de prendre le dessus en termes de publications et d'investissements. Entre 2011 et 2015, la Chine a dépassé les États-Unis pour se placer en première position mondiale en matière de volume de publications.**

Appliquer l'IA à la protection environnementale est l'une des ambitions de la Chine. Des systèmes de prévention et de contrôle intelligents seront construits dans la bande économique du fleuve Yangzi Jiang, la province contiguë de Hebei et les

villes de Pékin et Tianjin. Le 10 juin 2017, Alibaba Cloud, division informatique d'Alibaba, a lancé son initiative appelée ET Environment Brain. Les analyses d'ET Environment Brain, basées sur une technologie de perception intelligente et des images collectées par satellite, peuvent aider les autorités locales à lancer des alertes environnementales.

Dans la concurrence sino-américaine, la Chine est en train de prendre le dessus en termes de publications et d'investissements. Entre 2011 et 2015, la Chine a dépassé les États-Unis pour se placer en première position mondiale en matière de volume de publications. Elle attire, en outre, davantage d'investissements que les États-Unis. En 2017, l'équivalent de 15,2 milliards de dollars a été investi à l'échelle mondiale dans des start-up d'IA. Près de la moitié de cette somme est allée directement vers la Chine, contre 38 % pour les États-Unis. La position privilégiée du pays de Confucius est résumée par l'investisseur américain Lee Kai-Fu en ces termes : « Si les données sont le nouveau pétrole, alors la Chine est la nouvelle Arabie saoudite. »<sup>4</sup>

### Visées nationales et géopolitiques

Les intentions du gouvernement chinois, qui a investi des sommes colossales dans l'IA, sont souvent interprétées d'une façon simplifiée en Occident. Les accusations varient de la domination géopolitique en Asie-Pacifique à l'établissement d'une hégémonie mondiale, en passant par l'application d'une surveillance sociale.

**En tant que technologie extrêmement prometteuse, l'IA est devenue un enjeu géopolitique pour la Chine, qui aspire à être leader mondial, sans être prise de court par les vicissitudes internationales.**

L'importance stratégique accordée par la Chine à l'IA s'explique d'abord par son environnement international. Le développement de la Chine a provoqué une alliance entre le Japon et l'Inde et suscité chez d'autres pays asiatiques l'envie de faire appel à une présence américaine renforcée dans la région. En tant que technologie extrêmement prometteuse, l'IA est devenue un enjeu géopolitique pour la Chine, qui aspire à être leader mondial, sans être prise de court par les vicissitudes internationales. Rien, en l'espèce,

4. Lee Kai-Fu, *AI Superpowers: China, Silicon Valley and the New World Order*, Houghton Mifflin Harcourt, 2018.

n'est illégitime quand un pays a l'ambition de devenir numéro un mondial. Tout simplement, la suprématie américaine est tellement présente dans les esprits qu'il paraît toujours plus ou moins anormal d'imaginer qu'ils soient dépassés par un autre pays.

La Chine a également besoin d'IA pour relever des défis nationaux. Elle est pour l'instant le plus grand émetteur de gaz à effet de serre dans le monde. Elle doit aussi améliorer les services publics au bénéfice de son 1,3 milliard d'habitants, d'autant plus que la Chine est entrée dans la société de vieillissement. L'IA pourrait être une solution efficace, permettant de résoudre ces différents problèmes en même temps, ce qui est dans l'intérêt de tous les pays du monde. Sinon, la Chine risquerait d'exporter ses difficultés et d'attiser une instabilité internationale.

En matière de sécurité nationale, la Chine ne souhaite pas que les données personnelles des citoyens chinois soient usurpées et exportées par les multinationales numériques américaines. Développer une expertise avancée en IA est évidemment une bonne méthode pour défendre la souveraineté numérique nationale.

La Chine a l'ambition de devenir un acteur à part entière dans la réglementation de l'IA, une demande plutôt légitime. Il est grand temps de mettre fin à la situation où les pays développés monopolisent la définition des normes internationales auxquelles les pays en voie de développement sont obligés d'obéir, sous peine d'isolement, voire d'exclusion. D'ailleurs, comme cela a été démontré à travers la *World Artificial Intelligence Conference* en septembre 2018 à Shanghai, la

Chine affiche sa volonté de jouer un rôle important dans la coopération internationale dans le domaine de l'IA. À l'appui de l'initiative *One Belt One Road* (Nouvelle route de la soie), la Chine se lancera dans la création de bases de coopération internationale d'IA, avec notamment des centres de recherche conjoints.

Dernier point, la Chine est accusée d'utiliser l'IA pour exercer une surveillance sociale liberticide. Néanmoins, les 170 millions de caméras installées en Chine servent aussi à lutter contre la délinquance, le terrorisme, l'incivisme et le trafic d'êtres humains. Qui plus est, la surveillance sociale est un phénomène qu'on retrouve partout dans le monde.

### ***Les 170 millions de caméras installées en Chine servent aussi à lutter contre la délinquance, le terrorisme, l'incivisme et le trafic d'êtres humains.***

Les exagérations de la presse occidentale à propos du cas chinois se vendent certes très bien auprès de son lectorat, mais cela encourage le maintien de stéréotypes et surtout, ne contribue en rien à améliorer la situation en Chine. L'utilisation généralisée de smartphones, de cookies, de réseaux sociaux, amène aussi la généralisation de la surveillance, comme en témoignent l'adoption du RGPD et l'existence de nombreuses associations et ONG militant en Occident pour la protection des données personnelles. ●





# Le bâtiment dans l'intelligence artificielle, l'intelligence artificielle dans le bâtiment

---

- 40 **L'IA dans la construction en Amérique du Nord**
  - Roger Vandomme
- 45 **Optimiser la performance du bâtiment**
  - Cécile Jolas
- 49 **Révolutions et innovations dans la filière construction**
  - Pascal Asselin
- 53 **Cyberstructure et cinquième fluide : des révolutions dans le bâtiment**
  - Emmanuel Olivier
- 58 **Intelligence artificielle et bâtiment : que se passera-t-il demain ?**
  - Quentin Panissod
- 64 **Les compétences technologiques : pierre angulaire de la construction de demain**
  - Frédéric Remond
- 68 **Quand les bâtiments sont intelligents, les murs ont des yeux et des oreilles**
  - Elisabeth Grosdhomme
- 73 **Des défis majeurs pour l'IA dans le bâtiment**
  - Bertrand Pailhès
- 77 **L'IA, une incitation à travailler mieux**
  - Alain Piquet

# L'IA dans la construction en Amérique du Nord

**Roger  
Vandomme**

*Chief data scientist* (responsable de la gestion et de l'analyse des données) et président de SMC.ai.



Aux États-Unis comme au Canada, l'effervescence intellectuelle et économique autour de l'intelligence artificielle se traduit par la production de nouvelles applications et des perspectives de révolutions dans l'industrie du bâtiment. Pour autant, le secteur accuse encore un certain retard dans l'adoption de ces technologies.

Un rapport de McKinsey de 2018<sup>1</sup> soulignait le retard pris par l'industrie nord-américaine de la construction, en comparaison d'autres industries, dans l'adoption de l'intelligence artificielle (IA). Avec une clientèle de plus en plus sophistiquée et technologiquement éduquée, cette industrie apparaît étonnamment lente dans l'adoption des sciences de données.

Une autre étude de McKinsey<sup>2</sup> a identifié trois principaux domaines à même de bénéficier rapidement des outils proposés par l'IA : la maîtrise des coûts, la gestion du temps et la prévention des risques. Pour une meilleure définition de ces opportunités, quatre activités ont été distinguées : la conception (outils d'aide au design, visualisation et simulation) ; la pré-construction (études de marché et estimations) ; la construction (planification, productivité, qualité et sécurité) ; la gestion des opérations (gestion des systèmes et des projets, commandes et facturations).

### Des technologies variées pour de multiples applications

Une première étape dans l'adoption des outils d'IA passe par la digitalisation de certaines tâches collaboratives. On pense en particulier à la digitalisation de la conception et du design. Mais aussi à la gestion de la documentation, des contrats et des performances. Le focus est cependant mis tout naturellement sur les actions effectuées sur le terrain. À ce niveau, les défis sont nombreux, de la productivité aux délais d'approvisionnement. Il n'est donc pas étonnant que de nombreuses start-up technologiques concentrent leurs recherches sur des domaines ayant trait à la productivité, à la sécurité et à la qualité.

**Les défis sont nombreux, de la productivité aux délais d'approvisionnement. Il n'est donc pas étonnant que de nombreuses start-up technologiques concentrent leurs recherches sur des domaines ayant trait à la productivité, à la sécurité et à la qualité.**

Nombre d'outils de *data science* sont utilisés dans ces domaines.

- Les drones et l'Internet des objets. Certaines start-up utilisent ces technologies pour améliorer le 5D BIM (modélisation des informations de construction), une représentation numérique des structures physiques, mise en perspective avec les dimensions temps et coûts. Ces entreprises utilisent des drones pour capturer des images de sites et des données de relevés aériens. La société Bechtel, par exemple, utilise des drones pour les relevés de précision et la conformité aux normes de sécurité<sup>3</sup>.
- La réalité augmentée. Certaines entreprises commencent à déployer des outils de réalité augmentée dans le but, entre autres, de renforcer la sécurité. Les sociétés Redpoint Positioning<sup>4</sup> et Skanska<sup>5</sup> utilisent une technologie GPS pour délimiter les zones à risque et activer des avertisseurs.

L'industrie a également identifié cinq outils présentant des applications potentielles et prometteuses dans le secteur de la construction.

1. « Artificial intelligence: Construction technology's next frontier », avril 2018 ([www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/artificial-intelligence-construction-technologys-next-frontier](http://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/artificial-intelligence-construction-technologys-next-frontier)).

2. « The new age of engineering and construction technology », juillet 2017 ([www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/the-new-age-of-engineering-and-construction-technology](http://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/the-new-age-of-engineering-and-construction-technology)).

3. [www.bechtel.com](http://www.bechtel.com).

4. [www.redpointpositioning.com](http://www.redpointpositioning.com).

5. [www.skanska.com](http://www.skanska.com).

- Les algorithmes d'optimisation d'itinéraires. Cette technologie offre aux sociétés de transport la possibilité d'optimiser les itinéraires et d'améliorer la navigation. Dans un avenir proche, l'apprentissage par renforcement permettra une optimisation encore plus efficace en matière de durée du trajet ou de coût du carburant.
- La modélisation prédictive. L'industrie pharmaceutique a lourdement investi dans des solutions d'IA centrées sur la modélisation prédictive afin de réduire les coûts de R&D à long terme. Ces applications peuvent être directement utilisées dans l'industrie de la construction. Les modèles prédictifs peuvent prévoir les risques inhérents au projet, la constructibilité et la stabilité structurelle.
- L'optimisation de la chaîne logistique. L'intelligence artificielle a révolutionné la chaîne logistique du commerce de détail en réduisant les temps d'arrêt de production et l'offre excédentaire et en accroissant la prévisibilité des expéditions, entraînant une réduction considérable des coûts, des charges logistiques et de la variabilité. Alors que la modularisation et la préfabrication tendent à se développer, des applications d'apprentissage supervisé peuvent être directement mises en œuvre dans l'industrie de la construction.

**Alors que la modularisation et la préfabrication tendent à se développer, des applications d'apprentissage supervisé peuvent être directement mises en œuvre dans l'industrie de la construction.**

- La robotique et l'impression 3D pour la construction modulaire. L'utilisation de la modularisation et de l'impression 3D s'imposent lentement. Il pourrait être envisagé d'optimiser les avantages de ces approches grâce à l'apprentissage machine (*machine learning*) et de former des robots aux techniques de préfabrication et aux opérations de maintenance.
- La reconnaissance d'images. Dans le secteur de la santé, les méthodes d'apprentissage profond excellent dans la reconnaissance d'images en appui du diagnostic clinique. Cette technologie peut être appliquée aux images de drones et aux modèles générés en 3D pour évaluer les problèmes de contrôle de qualité, les défauts d'exécution et la détection précoce d'événements critiques.

## Bien des difficultés à dépasser

Tout n'est cependant pas simple et de nombreux obstacles restent à surmonter. Bien que la plupart des entreprises de construction aient déjà déployé des outils logiciels, beaucoup d'entre elles n'en tirent pas pleinement parti. Même lorsqu'une entreprise pilote avec succès un nouvel outil, son adoption à grande échelle peut s'avérer difficile ou s'essouffler rapidement. Dans d'autres cas, les initiatives technologiques peinent à produire des améliorations notables des indicateurs de performance dans un délai suffisamment court pour susciter l'intérêt.

**Même lorsqu'une entreprise pilote avec succès un nouvel outil, son adoption à grande échelle peut s'avérer difficile ou s'essouffler rapidement.**

Les obstacles majeurs sont de plusieurs ordres.

- L'absence d'implication du leadership. De nombreuses entreprises de construction se sentent obligées d'adopter des solutions numériques, en particulier si leurs concurrents les déploient, car elles veulent démontrer leur engagement en faveur de l'innovation. Toutefois, les dirigeants ont souvent du mal à faire perdurer leurs initiatives une fois passé l'enthousiasme suscité par la phase de lancement. Cela signifie que les entreprises obtiennent souvent des rendements plus faibles que prévu pour leurs investissements numériques. Elles sont donc peu incitées à continuer à les financer, en particulier si les pressions budgétaires augmentent.
- Le déploiement des projets à l'échelle de l'entreprise. Comme pour toute nouvelle technologie, les entreprises de construction évaluent généralement leurs nouveaux outils à travers des projets pilotes, afin de déterminer leur impact et d'en identifier les risques avant d'investir à grande échelle. Bien que ces projets pilotes se déroulent souvent sans heurts, les entreprises rencontrent de nombreux obstacles lors du déploiement. Les dirigeants demandent trop souvent à leurs employés d'introduire de nouveaux outils dans les flux de travail sans explication ni formation suffisante. Les équipes considèrent donc ces outils comme une contrainte dictée par le siège, et qui complique leur travail.
- Le manque de compatibilité avec les systèmes existants. Les nouvelles technologies offrent plus de valeur lorsqu'elles peuvent s'intégrer aisément

aux systèmes déjà existants. Par exemple, une application de collecte de données sur le terrain qui se connecte automatiquement aux systèmes de gestion des coûts peut offrir une visibilité en temps réel de la productivité, permettant aux responsables de procéder à des ajustements. Malheureusement les solutions complètes et intégrées existent rarement. Les entreprises doivent faire appel à plusieurs fournisseurs et les processus d'intégration sont semés d'embûches.

Quelques entreprises américaines ont déjà pris des mesures pour relever ces enjeux. Bechtel a mis en place un processus à l'échelle de l'entreprise pour tester de nouvelles technologies, intégrer de nouvelles solutions et favoriser l'innovation. JCE a investi dans une suite logicielle reposant sur l'Internet des objets<sup>6</sup>. Toutefois, ces entreprises sont exceptionnelles. De nombreux acteurs de l'industrie introduisent simplement de nouveaux outils numériques sans informer leurs employés ni modifier les structures organisationnelles. Le manque de soutien explique souvent pourquoi les efforts technologiques génèrent fréquemment des gains précoces mais s'essouffent rapidement.

### Comment surmonter les obstacles

Pour traiter ces difficultés les acteurs de l'industrie et les cabinets de conseil suggèrent de suivre un modèle d'opérations intégrant un certain nombre d'éléments. Cette liste et son contenu sont à mettre en perspective par rapport à la culture nord-américaine.

- Une concentration sur le parcours client. Plutôt que de développer des solutions numériques pour

des fonctions spécifiques, telles que celles des employés de *back-office*, les entreprises doivent se concentrer sur l'optimisation de l'ensemble du parcours client. Elles doivent également veiller à ce que leurs organisations soient à même de fournir un support clientèle en phase avec la manière dont les clients souhaitent interagir avec eux. Cela peut nécessiter de redéfinir les rôles existants ou d'en créer de nouveaux.

- Une suite intégrée et complémentaire d'outils numériques. Les entreprises augmenteront leurs chances de succès si elles associent plusieurs outils numériques, comme une combinaison d'outils de digitalisation, de modélisation prédictive et de robotique.

**Les entreprises augmenteront leurs chances de succès si elles associent plusieurs outils numériques, comme une combinaison d'outils de digitalisation, de modélisation prédictive et de robotique.**

- Un nouveau système de gestion. Un système de gestion intégré garantira la durabilité du nouveau modèle opérationnel.
- Une transformation culturelle. Les programmes de transformation culturelle et de renforcement de capacités permettent aux entreprises de devenir plus agiles et de s'adapter plus rapidement aux besoins en constante évolution de leurs clients.

### RÉFLEXIONS SUR LA NATURE DE L'IA

Parler d'intelligence artificielle fait courir le risque de verser soit dans le sensationnalisme (les algorithmes vont prendre le pouvoir et nous gouverner), soit dans la technicité brutale (modèles supervisés ou non supervisés, régressions ou classifications), et par là manquer la nature même de l'IA. Éviter ce travers demande de recentrer notre attention sur l'humain.

Avant de dissenter *ad libitum* sur l'intelligence artificielle, peut-être est-il utile de définir l'intelligence non artificielle : capacité cognitive d'apprendre, de déduire des informations, de reconnaître des motifs répétitifs, de résoudre des problèmes et de prendre des décisions. Voilà bien le maître mot et le cœur du problème : décider ! Une tâche inhérente à l'être humain, mais une tâche lourde et anxiogène en ce qu'elle confronte à la plus effrayante des réalités : l'incertitude du futur. L'être humain est condamné à ne jamais savoir à l'avance le résultat de ses décisions, condamné à décider dans l'incertitude. L'humanité a désespérément tenté de contrer cette malédiction à travers les arts divinatoires. Ce n'est qu'au XVII<sup>e</sup> siècle que Blaise Pascal jette les premiers principes du calcul des probabilités. L'évolution de la donnée en information puis en savoir, et l'évolution de l'analyse descriptive en analyse diagnostique puis en modélisation prédictive offrent la capacité de mettre au jour des motifs répétitifs et des corrélations. Connaître ainsi la probabilité d'occurrence d'un événement donne au décideur le pouvoir de prendre une décision, sinon avec certitude, du moins de manière informée. À travers l'IA, l'être humain externalise la responsabilité, mais aussi le pouvoir et le privilège de la prise de décision, vers la machine.

6. [www.jceconstruction.net](http://www.jceconstruction.net).

## Au Canada

Si l'on se concentre souvent sur les États-Unis, en Amérique du Nord, le Canada n'est pas en reste lorsqu'il s'agit d'innovations et de réflexions sur l'IA dans le bâtiment.

L'Association canadienne de la construction (ACC) a créé le comité Innovations en construction Canada<sup>7</sup> (ICC ou InnovationsCC), dont le mandat consiste à identifier les tendances et les technologies pouvant avoir un impact sur l'industrie de la construction.

Lors de son congrès inaugural, le 3 novembre 2017 à Toronto, Mathew Kattapuram, *senior vice president* du groupe Aecon<sup>8</sup>, a mis en lumière quatre mégatendances : un marché et une clientèle en évolution ; un besoin grandissant de durabilité et de résilience dans la conception et la construction ; des réalités différentes en matière de société et de marché du travail ; un contexte politique et réglementaire en transformation.

Deux principaux défis ont été relevés, notamment en ce qu'ils entretiennent une certaine résistance au changement : le haut degré de fragmentation de l'industrie ; l'habitude de fonctionner, en grande partie, selon des règles empiriques en s'en tenant au *statu quo*.

Des initiatives méritent l'attention.

- La ville de Toronto développe un concept de ville intelligente (Smart City TO), d'abord concentré sur un quartier de la ville, mais appelé à être étendu. Le projet *Sidewalk Toronto* est financé par Google-Alphabet, qui y établira un de ses plus grands centres de recherche, *Sidewalk Lab*, et son siège social canadien. Cette initiative vise à allier design urbain novateur et technologies digitales les plus sophistiquées, afin de relever les défis de la gestion de l'énergie (une priorité gouvernementale), de la sécurité, du transport et du coût de l'habitat, un point de tension aigu à Toronto.
- Le groupe Aecon, très en pointe sur les initiatives en IA, a créé un supercluster qui promeut l'IA dans les domaines de la logistique et du transport. Une initiative conjointe du gouvernement fédéral et de la province du Québec, financée à hauteur de 190 millions de dollars canadiens.

- Indus.ai, une société basée à Toronto et à San Francisco, se positionne résolument, quant à elle, sur le secteur de l'IA au service de l'industrie de la construction. Avec des clients prestigieux comme SNC-Lavalin, Menkes et Aecon, Indus.ai propose une vaste gamme de produits : gestion des approvisionnements, optimisation de la performance, conformité et sécurité. Leur produit phare est une gestion visuelle du projet en réalité augmentée.
- L'université Concordia de Montréal possède un laboratoire de recherche dirigé par le professeur Amin Hammad dont les travaux, dédiés au secteur de la construction, se concentrent sur les capteurs et l'analyse d'images pour des outils de suivi de projet et de gestion de la sécurité. Pour le professeur Hammad, une cause majeure du retard pris par l'industrie est que « *les projets publics retiennent le soumissionnaire qui offre le prix le plus bas. Donc pourquoi une entreprise investirait-elle en technologie si ses concurrents ne le font pas ? Pourquoi être le premier ?* ».

Malgré la présence de centres de recherche de renommée mondiale, un nombre record de start-up et des investissements massifs dans le domaine de l'intelligence artificielle, l'industrie de l'immobilier en Amérique du Nord accuse le même retard que l'on peut constater dans d'autres pays. En dehors de l'expérimentation de quelques grands acteurs, l'ensemble de l'industrie peine à entamer une révolution digitale inévitable.

**En dehors de l'expérimentation de quelques grands acteurs, l'ensemble de l'industrie peine à entamer une révolution digitale inévitable.**

D'autres industries pourtant ont déjà vu l'avènement de leurs start-up « disruptives », les *fintechs* et autres *cleantechs*.

Il y a donc fort à parier que l'industrie du bâtiment ne pourra y échapper, et que les entreprises qui prendront résolument la décision de commencer dès à présent leur virage digital seront les leaders des dix prochaines années. ●

7. [www.ccinovations.ca/fr](http://www.ccinovations.ca/fr).

8. [www.aecon.com](http://www.aecon.com).

# Optimiser la performance du bâtiment

**Cécile  
Jolas**

Coordinatrice du pôle ingénierie numérique, plateforme Tipee.



**Algorithmes et abondance de données facilitent la conception intégrée des bâtiments. Les analyses, en particulier sur le plan énergétique, peuvent désormais reposer sur une multitude de scénarios se nourrissant des évolutions des maquettes numériques. Qualité des données et interopérabilité des systèmes restent néanmoins à améliorer. Des outils sont disponibles, mais il faut encore progresser.**

**Q**u'il s'agisse de programmes de construction neuve ou de rénovation, les opérations de logements comme celles du tertiaire ou d'équipements complexes reposent traditionnellement sur de multiples axes de conception interférant les uns avec les autres (structure, énergie, acoustique, économie). Aux obligations légales et normatives, s'ajoutent fréquemment des exigences de performance pouvant aller jusqu'à l'attribution d'une ou plusieurs reconnaissances (labels, certifications). En toutes ces matières le recours au traitement des données massives et à l'intelligence artificielle autorise des projets aux performances accrues, notamment dans le domaine énergétique.

### **Le recours au traitement des données massives et à l'intelligence artificielle autorise des projets aux performances accrues, notamment dans le domaine énergétique.**

Le seul axe de la performance énergétique représente depuis de nombreuses années à la fois une thématique réglementaire et structurelle des stratégies de la France afin de respecter ses obligations internationales, et notamment européennes en matière de réduction de ses émissions de gaz à effet de serre (GES), mais aussi une dimension de plus en plus structurante de la valeur d'un bien. De nombreux paramètres sont en jeu : certains liés à la composition de l'ouvrage (géométrie, systèmes de chauffage et de ventilation, vitrage, mode d'isolation, orientation, mode constructif), d'autres au fonctionnement du bâtiment (scénarios d'occupation

par exemple). Tous ces paramètres influent sur les scénarios d'intervention et contraignent certains choix.

En pratique, les alternatives de scénarios énergétiques, environnementaux ou économiques proposées par les concepteurs aux maîtres d'ouvrage sont limitées tant par la durée des études que par les contraintes des projets en eux-mêmes (saisie des métrés et données, modélisation des hypothèses, limite des outils existants). Toutes ces options sont de plus en plus souvent modélisées tout au long du cycle de vie. Sur tous ces plans, l'abondance de données prévaut désormais, et il faut les intégrer dans une vision d'ensemble, ce que rendent possible les algorithmes et l'intelligence artificielle.

### **Optimiser par la conception intégrée**

Les solutions pressenties par les concepteurs sont majoritairement élaborées au regard de leur expérience et de leur pratique associée, avec pour chaque contributeur un ensemble de propositions se limitant à son domaine d'expertise. C'est dans ce contexte que le concept de conception intégrée du bâtiment a été développé afin d'envisager d'optimiser la conception. Il est important de souligner ici la nécessaire prise en compte en amont des projets, d'un niveau de détail suffisant afin de sécuriser les choix et minimiser les correctifs dont les coûts augmentent exponentiellement avec l'avancement des phases.

La conception intégrée d'un bâtiment consiste à intégrer et faire interagir les paramètres interdépendants (choix, résultats, contraintes) de chaque contributeur (architecte, bureaux d'études) dans les phases de conception d'un projet. Depuis ces dernières années, cette démarche est favorisée par l'essor du BIM (*building information modeling*) et les travaux d'interopérabilité entre les outils et les données associées, mais aussi par de nouvelles



méthodes contenues dans les programmes d'optimisation. La combinaison de cet ensemble permet d'envisager cette nouvelle approche de conception avec l'exploration d'un plus grand nombre de scénarios, selon des objectifs multiples et potentiellement contradictoires. On citera à ce sujet plusieurs programmes de recherche qui illustrent le développement de cette approche avec le soutien des pouvoirs publics : l'ANR Cosimphy, l'APR Renoir<sup>1</sup> et plus récemment le projet BEE<sup>2</sup>.

***La conception intégrée d'un bâtiment consiste à intégrer et faire interagir les paramètres interdépendants (choix, résultats, contraintes) de chaque contributeur (architecte, bureaux d'études) dans les phases de conception d'un projet.***

L'exemple suivant est issu principalement du projet APR Renoir, lauréat d'un appel à projets de l'Ademe lancé en 2014. Ce programme a permis de disposer d'un financement pendant deux ans pour le développement d'un applicatif qui, à partir des données extraites de maquettes numériques, va identifier les scénarios optimaux de rénovation énergétique, en fonction de la réglementation thermique et du coût global. Après une première opération test, cet applicatif est aujourd'hui fonctionnel et en déploiement en France et en Europe.

En réhabilitation, la recherche des scénarios optimaux repose également sur l'exploration de nombreuses combinaisons possibles. Une méthode exhaustive, qui consisterait à tester chacune d'entre elles, serait inefficace. En calculant l'ensemble des combinaisons on s'expose même à saisir et à calculer des scénarios absurdes.

***La recherche des scénarios optimaux repose également sur l'exploration de nombreuses combinaisons possibles. Une méthode exhaustive, qui consisterait à tester chacune d'entre elles, serait inefficace.***

Sur le projet Renoir et dans le cadre d'un programme de réhabilitation d'un petit collectif de seize logements, la combinaison de quelques variantes de composants (nature des matériaux, caractéristiques thermiques, épaisseurs) a conduit à 201 600 000 combinaisons possibles qui nécessiteraient, pour être totalement explorées, un temps total de calcul de plus de 300 ans. Avant l'intelligence artificielle il faut donc des choix raisonnables. L'enjeu consiste à dégager les scénarios les plus pertinents vis-à-vis des contraintes de l'opération et des exigences du maître d'ouvrage.

***L'enjeu consiste à dégager les scénarios les plus pertinents vis-à-vis des contraintes de l'opération et des exigences du maître d'ouvrage.***

Afin de répondre à cet enjeu, la conception intégrée doit préalablement optimiser la récupération des données, une opération qui représente encore une part conséquente des temps d'étude. Sur ce point, les maquettes numériques favorisent une récupération centralisée de certaines de ces données. Sur le projet Renoir, elles ont alimenté en informations à la fois les études thermiques et les calculs en coût global.

### **Maquettes numériques et algorithmes génétiques**

Néanmoins, des contraintes existent et limitent les potentialités de ces instruments : entre autres, la faible standardisation des données, le respect de règles de modélisation et de structuration des données. Par exemple, aucune base de données ne centralise les informations des produits concernant le coût, les caractéristiques techniques, les impacts environnementaux. Ces informations sont dispersées dans plusieurs bases, non interopérables et avec des mises à jour différenciées.

***Ces initiatives doivent être encouragées afin que les maquettes numériques produites puissent pleinement assurer l'interopérabilité et une meilleure récupération des données.***

1. Réhabilitation énergétique optimisée et intégrée en logement collectif ; <https://lasie.univ-larochelle.fr/2015-2017-RENOIR-ADEME-343>.  
2. <https://www.ademe.fr/bee>.

Des travaux existent et appuient l'émergence de standards pour la centralisation et la structuration des données. Ces initiatives doivent être encouragées afin que les maquettes numériques produites puissent pleinement assurer l'interopérabilité et une meilleure récupération des données.

Le bâtiment est un système complexe pour lequel le principe d'optimisation, emprunté aux mathématiques, n'est apparu que récemment grâce à l'essor des moyens informatiques et numériques. Les algorithmes d'optimisation, qui s'inspirent de théories issues de la biologie (Darwin par exemple), sont depuis de nombreuses années utilisés en recherche. Ces algorithmes, dits « génétiques », sont de plus en plus déployés dans les outils à destination des concepteurs. Ils permettent de faire converger les scénarios issus de la combinaison d'une ou plusieurs variantes vers les scénarios jugés optimaux vis-à-vis des objectifs recherchés. Pour le projet Renoir, sur la base d'un premier tirage aléatoire d'individus (différents scénarios de conception possibles), l'algorithme va procéder à des sélections, reproductions, mutations entre les scénarios pendant un certain nombre de générations jusqu'à converger vers les solutions les plus optimales. Pour le projet de réhabilitation cité précédemment, l'optimisation a permis de dégager et calculer en automatique les 2 400 scénarios optimaux parmi plus de 200 millions de combinaisons possibles en quelques dizaines d'heures sur ordinateur.

Il faut noter que les algorithmes génétiques intègrent des phénomènes aléatoires (mutations, croisements) afin de garantir une diversité des scénarios. Y sont également intégrées des règles métiers qualifiées d'« expertes » qui ont la capacité de récupérer les résultats issus des calculs pour procéder automatiquement à des modifications des règles de dimensionnement. Il s'agit, par exemple, de modifier la puissance du système de chauffage en fonction des déperditions du bâtiment liées à des choix de conception différents.

## Perspectives

L'optimisation des performances sur des opérations de construction ou de rénovation représente un enjeu important dans un contexte réglementaire,

économique et de marché toujours plus contraignant. Les algorithmes d'optimisation permettent l'identification des scénarios optimaux. L'exploitation de leurs résultats doit cependant être associée à des méthodes complémentaires d'aide à la décision.

***Les solutions techniques existent depuis plusieurs années et le savoir-faire des acteurs permet leur mise en œuvre. L'interaction des disciplines, le foisonnement de ces mêmes solutions, les contraintes de modélisation et les temps associés de plus en plus restreints rendent néanmoins l'optimisation d'un bâtiment systématiquement complexe et pas toujours efficiente.***

Les solutions techniques existent depuis plusieurs années (matériaux, systèmes) et le savoir-faire des acteurs permet leur mise en œuvre. L'interaction des disciplines, le foisonnement de ces mêmes solutions (comment connaître et évaluer la pertinence de chacune d'entre elles ?), les contraintes de modélisation (pour les études analytiques, environ 70 à 80 % du temps d'ingénierie est consacré à la recherche et à la saisie des données) et les temps associés de plus en plus restreints rendent néanmoins l'optimisation d'un bâtiment systématiquement complexe et pas toujours efficiente.

C'est face à ce constat que le déploiement des outils numériques, associé à l'essor du BIM et de l'usage de la maquette numérique, représente une opportunité pour l'ensemble des acteurs de la filière. Si l'interopérabilité des données et des logiciels restent des enjeux structurants qu'il convient d'assurer dans les prochaines années, il n'en reste pas moins que des outils, programmes, démarches sont disponibles et permettent le déploiement d'une conception intégrée en faveur d'une véritable optimisation des performances des ouvrages. ●

# Révolutions et innovations dans la filière construction

**Pascal  
Asselin**

Président de l'Union nationale des économistes  
de la construction (Untec).



L'intelligence artificielle permet le temps réel et le partage de toutes les données. À toutes les phases d'un chantier et dans l'ensemble de la filière construction, l'IA révolutionne les outils et les procédures. Il en va de la maquette numérique comme d'une multitude d'autres applications et innovations. La construction reste cependant d'abord une aventure humaine, qui sera d'autant mieux accompagnée par l'IA que les formations sauront intégrer cette dimension désormais fondamentale.

**D**éfinir ce que chacun entend par intelligence artificielle (IA) et essayer d'en hiérarchiser les différents niveaux est un préalable nécessaire pour éviter de tomber dans un univers fantasmé. On distingue deux grandes familles d'IA. L'IA « faible » se définit par une approche pragmatique permettant de construire des systèmes de plus en plus autonomes. C'est le cas aujourd'hui dans de nombreuses applications. L'IA « forte » s'avère capable non seulement de produire un comportement intelligent, mais d'éprouver une impression, une conscience. Il s'agit d'une seconde étape de l'IA que certains chercheurs prédisent pour dans quelques années.

En ce qui concerne la filière construction, on peut définir l'intelligence artificielle par la reconnaissance et la création de différents systèmes basés sur des données initiales qui s'agglomèrent pour créer des ratios en matière de coûts, de temps de réalisation, d'efficacité technique et de multiples analyses. Ces données sont le résultat d'éléments définis, éprouvés et contrôlés. Et, lorsqu'on en définit un mode opératoire, on crée des algorithmes qui, grâce à un langage de programmation, peuvent être traités par un ordinateur.

Nous parlons donc essentiellement d'une IA faible qui se traduit par des applications telles que : l'aide aux diagnostics (dans le domaine thermique par exemple), l'aide à la décision (analyse des offres, analyse des risques), l'aide à la conception et à l'exploitation (notamment la maquette numérique), la résolution des problèmes complexes (calcul des structures), l'automatisation de tâches (par exemple avec des machines à commande numérique). Toutes ces applications ont un impact sur l'ensemble des opérateurs de la filière construction.

## Des impacts sur toute la filière

On trouve de multiples illustrations du côté des maîtres d'ouvrage. La facturation électronique (système Chorus par exemple) finira son déploiement en 2020. La prochaine étape, qui existe déjà pour certaines opérations, sera la facturation électronique « renseignée » sur des plateformes permettant de calculer les avancements de travaux sans erreurs de calculs, avec gestion des cotraitants, sous-traitants, retenue de garantie, avance forfaitaire, révision de prix... le tout en temps réel. Le temps de traitement est très fortement diminué et les erreurs quasiment nulles.

***La prochaine étape, qui existe déjà pour certaines opérations, sera la facturation électronique « renseignée » sur des plateformes permettant de calculer les avancements de travaux sans erreurs de calculs, avec gestion des cotraitants, sous-traitants, retenue de garantie, avance forfaitaire, révision de prix... le tout en temps réel.***

Pour les maîtres d'ouvrage exploitant leurs bâtiments, l'utilisation de la maquette numérique est un outil extrêmement utile qui, couplé à d'autres systèmes de *monitoring* (traitement d'air, chauffage, structure), permettra de suivre et d'analyser en temps réel le cycle de vie et d'entretien des bâti-

ments ainsi que le système de production d'énergie. À l'échelle d'un patrimoine important, cela aura des conséquences bénéfiques, non seulement pour le confort des usagers mais aussi pour la programmation des travaux de rénovation et d'entretien et, par conséquent, les procédures d'achat.

Du côté des entreprises de construction, nombre d'entre elles sont passées d'un mode de production manuelle de produits finis ou semi-finis à des systèmes industriels de production. En ce qui concerne les travaux de construction et d'usinage des façades, couvertures, charpentes et menuiseries, les outils numériques ont fait leur apparition depuis plus de vingt ans et se développent à grande vitesse. Les coûts d'achat de ces équipements ont fortement chuté et il n'est pas rare de constater que des petites et moyennes entreprises voire de très petites entreprises (moins de 10 salariés) sont équipées de ces dernières technologies. Les machines sont connectées à des logiciels de conception qui peuvent échanger des données avec d'autres équipes de conception qui œuvrent à la construction du même ouvrage. La préfabrication des systèmes constructifs prendra certainement de l'ampleur. De même, pour la gestion des stocks, des équipes, de la rotation des matériels, il existe des applications intelligentes qui permettent de détecter des clashes, des ruptures de commande ou d'approvisionnement et d'envoyer des requêtes automatiques permettant d'agir en conséquence.

### **Les machines sont connectées à des logiciels de conception qui peuvent échanger des données avec d'autres équipes de conception qui œuvrent à la construction du même ouvrage.**

En ce qui concerne les équipes d'ingénierie, composées le plus souvent par l'architecte, les spécialistes ingénieurs et les économistes de la construction, les métiers sont fortement impactés par les outils permettant de développer une intelligence artificielle. La maquette numérique est ici encore l'élément emblématique de cette démarche. L'intelligence artificielle permet de réaliser des simulations complexes avec une aide à la décision renforcée. On peut déjà arbitrer plus rapidement le coût de construction par rapport au programme donné avec un logiciel qui réalise des approches économiques sans plans. L'outil numérique ne demande qu'à grandir et recevoir de plus en plus de données pour concevoir plus facilement, plus rapidement et avec un maximum de garantie de qualité en phase conception. Les données circulent très rapidement

et on constate souvent que le frein au développement de cette intelligence artificielle puissante est le manque de coopération humaine entre les différents acteurs. La formation initiale et continue doit absolument en tenir compte.

### **L'intelligence artificielle permet de réaliser des simulations complexes avec une aide à la décision renforcée.**

D'autres acteurs, comme les bureaux de contrôle ou les coordonnateurs SPS (sécurité et protection de la santé), utilisent et utiliseront des systèmes permettant de détecter des clashes et de proposer des alternatives d'organisation de chantier. Toutes ces applications permettent de réduire les délais mais aussi de définir les process de coactivité afin d'assurer la sécurité, les approvisionnements, les implantations de grue, la rotation de banches, bref de nombreuses activités structurantes des chantiers. Et la communication entre tous ces systèmes ira grandissant, ce qui permettra d'optimiser et d'améliorer de façon significative la façon d'aborder l'organisation et le suivi des chantiers complexes.

Précurseurs des systèmes robotisés permettant d'optimiser leur production, les industriels fabricants de matériaux proposent de plus en plus des solutions de conception intégrées. Ils ne vendent pas simplement des produits bruts mais bien des systèmes complexes, associant plusieurs types de matériaux et matières avec des performances techniques et environnementales éprouvées. La plupart d'entre eux fournissent aujourd'hui des banques d'« objets numériques ». Ces données permettent déjà aux concepteurs de tester en temps réel l'efficacité des produits à l'aide de maquettes numériques. Elles permettront aussi d'augmenter considérablement les analyses par l'ajout de paramètres tels que le calcul du poids carbone, la qualité de l'air ou le cycle de vie.

### **Qu'en sera-t-il des pratiques ?**

Derrière ces quelques exemples l'IA, on le sait, va changer nombre de pratiques et de métiers. Au-delà du BIM, la valeur ajoutée de la maquette numérique se portera sur le suivi de la maintenance et de l'exploitation des bâtiments. La recherche de l'efficacité énergétique y pousse et la puissance des logiciels facilitera la tâche.

Mettons le focus sur la mise en place d'un *monitoring* complet sur un bâtiment comprenant, non seulement le suivi des consommations d'énergie, mais

aussi la pathologie et l'obsolescence des matériaux employés, les flux des usagers, leurs habitudes. Ce n'est pas de la science-fiction car les outils deviendront accessibles et le coût, aujourd'hui significatif, sera très bientôt abordable, très abordable. Tout cela générera une masse formidable de données, les fameuses *big data*.

### **Au-delà du BIM, la valeur ajoutée de la maquette numérique se portera sur le suivi de la maintenance et de l'exploitation des bâtiments.**

Mettons aussi le focus sur un patrimoine complet. Qu'il s'agisse de l'État, de collectivités territoriales, d'un bailleur social, la masse impressionnante d'informations permettra de piloter et d'arbitrer en temps réel la gestion du patrimoine. Formidable ! Enfin, la notion de coût global va-t-elle pouvoir être prise en compte. Mais qui sera l'opérateur et le propriétaire des données ? Le propriétaire maître d'ouvrage ou la société concessionnaire ? Qui manquera ces dernières ? Qui sera en mesure d'arbitrer les choix ?

### **Qu'il s'agisse de l'État, de collectivités territoriales, d'un bailleur social, la masse impressionnante d'informations permettra de piloter et d'arbitrer en temps réel la gestion du patrimoine.**

Admettre que certains bâtiments puissent se concevoir en conception-réalisation-exploitation n'a rien d'illogique. Mais sur chacun des projets, *quid* de la bataille entre les « grands » et les « petits » ? À grande échelle, avec l'IA, c'est une tout autre analyse, et le séquençage des missions par différents opérateurs prendra tout son sens pour la défense des intérêts communs et permettre au maître d'ouvrage de garder la maîtrise de son patrimoine.

### **L'IA : révolution partagée ?**

On peut faire une conclusion hâtive et dire que l'IA ne sera bénéfique que pour un seul acteur : celui qui possède la valeur ajoutée dans sa fonction. Mais, avec du recul, nous avons constaté les trente dernières années des gains de productivité énormes, donc une baisse des coûts et, surtout, une revalorisation de fonctions qui se sont transformées en

tâches expertes. Mais alors, quelles perspectives pour des assistants qui exécutaient les activités à moins forte valeur ajoutée ? Eh bien, depuis trente ans, ces emplois ont évolué dans d'autres fonctions, comme le marketing, la communication, le juridique.

### **Mais alors quelles perspectives pour des assistants qui exécutaient les activités à moins forte valeur ajoutée ?**

L'IA ne cesse de nous faire évoluer vers plus d'expertise humaine. Et le vrai défi d'aujourd'hui, qui pour nombre d'acteurs se vit comme une angoisse, c'est l'accélération phénoménale de ce processus. Aurons-nous le temps de nous former et de changer nos process, nos emplois et nos métiers ?

L'intelligence artificielle est un changement de paradigme qui affecte l'ensemble de l'industrie de la construction, que ce soit dans les modes de prescription, d'analyse, de construction, de suivi de chantier et de management des employés.

Se poser la question d'y aller ou pas ne sert à rien. On y est déjà ! Si nous gardons notre esprit créatif et coopératif, c'est une grande opportunité qui nous est offerte

Il reste une exigence, toujours la même : la formation continue qu'il faudra renforcer et la formation initiale qui devra, elle aussi, être réformée. Cette formation sera de plus en plus transversale et évolutive, engendrant, d'ores et déjà, des méthodes collaboratives d'apprentissage. On se trouve confronté à un double défi en matière de formation. D'abord, celui d'apprendre et de retenir ce qu'on appelle les fondamentaux : lire, écrire compter. Ensuite, celui de faire face à son époque : révolution numérique et IA. Finalement, ce qui fera le succès et la réussite de l'IA dans l'industrie du bâtiment, ce ne sont pas simplement les outils, mais la façon dont nous serons amenés à collaborer. La transmission des savoirs reste au cœur de cette problématique pour prendre le train de l'intelligence artificielle. Restons des acteurs et non pas des observateurs.

L'avenir des missions et des métiers liés à l'industrie de la construction relève de services dont nos clients auront toujours besoin. Certes l'IA modifie et modifiera nos approches, analyses, procédés, relations contractuelles et assurantielles, mais elle nous permettra de travailler sur la valeur ajoutée de notre expertise, de notre connaissance, de nos procédures et de notre créativité, pour offrir à nos clients un service adapté. ●

# Cyberstructure et cinquième fluide : des révolutions dans le bâtiment

**Emmanuel  
Olivier**

Président de la société Ubiant.



Les bâtiments, remplis de capteurs et de serveurs, sont traversés de données et de systèmes d'information connectés. En complément mais aussi en supervision des flux traditionnels d'eau ou d'électricité, la gestion intelligente de ce « cinquième fluide » que représente Internet est l'un des grands défis pour la filière du bâtiment. Des cyberstructures, véritables cerveaux locaux des bâtiments, peuvent se déployer, révisant en profondeur l'économie globale du secteur.

Visionnaire, le canadien Marshall McLuhan parla très tôt de village global (1967), alors qu'Internet n'était encore qu'un projet<sup>1</sup>. Le théoricien de la communication comprit que ces technologies allaient conférer un certain don d'ubiquité, permettant de voir et d'agir à distance sans se déplacer. Anticipant le smartphone dès 1967, il déclara : « *Nous serons tous interconnectés dans une conscience globale grâce à des ordinateurs portables de la taille d'audioprothèses.* » Il en perçut aussi les risques de dérive.

Quarante ans plus tard, avec sa généralisation au niveau mondial, Internet est devenu un phénomène de société qui nécessite, entre autres, un renforcement de la protection de la vie privée. Les médias avaient été désignés comme le quatrième pouvoir, s'ajoutant à l'exécutif, au législatif et au judiciaire. Internet serait devenu le « cinquième pouvoir ».

**Les médias avaient été désignés comme le quatrième pouvoir, s'ajoutant à l'exécutif, au législatif et au judiciaire. Internet serait devenu le « cinquième pouvoir ».**

Dans le bâtiment, la connexion des données est devenue, en quelque sorte, le « cinquième fluide », après l'eau, le gaz, l'électricité et le câblage voix-données-images (VDI). La gestion des données devient un actif immobilier en tant qu'élément déterminant de la création de valeur foncière et

locative tout au long du cycle de vie du bâtiment. On parlera de « cyberstructure » connectée et permanente du bâtiment afin de permettre un traitement local même en cas de coupure d'Internet et de garantir la sécurité, la résilience et la protection de toutes les données produites par le bâtiment.

Ces progrès possibles ne sont pas sans danger, pour les libertés comme pour l'environnement. Au-delà du risque individuel de voir nos données exploitées sans notre consentement, la surconsommation d'énergie générée par les centres de données cause des impacts allant à l'encontre de la logique de développement durable et des différentes réglementations thermiques (RT 2012 et 2020). En effet, avec la généralisation des services hébergés dans le *cloud*, les centres de données (*data centers*) consomment déjà plus de 2 % de l'énergie mondiale.

### Subsidiarité et décentralisation

Afin de mieux préserver la vie privée des occupants, tout en améliorant la performance énergétique des bâtiments, nous devons appliquer le principe de subsidiarité.

Le principe de subsidiarité consiste à laisser agir l'entité la plus compétente et la plus proche de ceux qui sont directement concernés. Cette logique, appliquée au bâtiment, implique prioritairement un traitement local des données avant d'exécuter l'action dans un *data center* sur le *cloud*.

Il en va de même au sujet des fonctions embarquées dans un matériel. Il est peut-être utile que l'objet sache agir seul sans dépendre d'un autre

1. Voir son ouvrage *Message et Massage, un inventaire des effets*, Jean-Jacques Pauvert, 1968. L'édition originale date de 1967.



élément. En revanche, l'objet n'a pas forcément la vision sur le contexte global qui lui permettrait d'agir de manière plus pertinente. Dans ce cas, il doit laisser la tâche à un niveau supérieur qui, lui, possède la vue globale pour agir.

Cette approche distribuée nécessite l'abandon des silos traditionnels du bâtiment, organisés en lots spécifiques étanches, au profit d'une approche transversale et interopérable des systèmes. Aujourd'hui, le monde de l'Internet des objets apparaît à la fois bien trop global et bien trop peu local.

***Cette approche distribuée nécessite l'abandon des silos traditionnels du bâtiment, organisés en lots spécifiques étanches, au profit d'une approche transversale et interopérable des systèmes.***

Concrètement, si un capteur de mouvement a été installé pour les besoins de l'éclairage, il doit pouvoir être utilisé pour la régulation thermique et réciproquement. D'une manière générale, la quantité de données à traiter, la protection des données sensibles (vie privée), l'efficacité énergétique ou l'aspect critique d'une tâche pour la vie humaine (sécurité incendie ou qualité de l'air) sont autant de raisons pour ne pas systématiquement transférer les calculs sur le *cloud* et laisser l'intelligence du bâtiment agir seule.

Installer les serveurs dans les bâtiments s'inscrit aussi dans une logique d'économie circulaire, car la chaleur qui serait un « déchet » devient une ressource, qui sert à chauffer un local ou à produire de l'eau chaude sanitaire en l'associant à une pompe à chaleur.

La société Qarnot Computing produit un radiateur-calculateur sur ce principe. Il en ressort des « cyberstructures », hébergées dans les bâtiments, qui permettront de réduire l'empreinte carbone des *data centers* dont 40 % de l'énergie consommée sert à refroidir les machines. Au contraire, les cyberstructures coordonnées opéreront comme des centres de données distribuées, dont la chaleur servira de ressource énergétique pour les bâtiments.

## Cyberstructure

La racine *cyber* est tirée du mot grec *kubernêtikê*, « gouvernail », c'est-à-dire instrument qui sert à guider. L'expansion des cyberstructures implique une nouvelle gouvernance des services et de nouveaux métiers.

Les premiers acteurs de l'immobilier qui ont produit des logements connectés ont mis sur le marché des logements qui ne possèdent ni cyberstructure native ni gouvernance intelligente. Ce qui devait générer des économies s'est transformé en une perte importante de valeur, car ces promoteurs ont dû gérer des problèmes de réserves qui auraient pu être détectés et traités avant l'entrée des occupants dans les lieux.

***L'expansion des cyberstructures implique une nouvelle gouvernance des services et de nouveaux métiers.***

L'absence de cyberstructure à la livraison des logements est au mieux une perte de données, au pire une perte d'image de marque quand des problèmes sont découverts après la livraison. L'avenir réside dans les bâtiments connectés nativement, les défauts et défaillances y étant détectés avant livraison, ou avant qu'ils ne surviennent, à l'aide d'algorithmes de maintenance prédictive. Pour cela, le bâtiment doit optimiser le cinquième fluide dès la livraison, et l'exploitant doit être identifié en amont des travaux, car cette cyberstructure sert aussi à assister les entreprises en phase chantier par automatisation des contrôles et assistance à distance.

***L'avenir réside dans les bâtiments connectés nativement, les défauts et défaillances y étant détectés avant livraison, ou avant qu'ils ne surviennent, à l'aide d'algorithmes de maintenance prédictive.***

Une cyberstructure est composée d'un BOS (*building operating system*) qui est l'équivalent de l'OS (*operating system*), le système d'exploitation de nos smartphones ou PC. Ce BOS met en relation les appareils connectés et les applications du bâtiment au travers d'API (*application programming interfaces*, interfaces de programmation), pour que des ESN (entreprises de services du numérique) puissent construire des services. Le BOS est prioritairement hébergé sur des serveurs locaux et communique à travers un réseau fédérateur que l'on peut vraiment qualifier de cinquième fluide du bâtiment, sur le modèle du label R2S (*ready to services*) de la SBA (Smart Building Alliance)<sup>2</sup>.

2. Le référentiel R2S est un guide précieux pour la mise en œuvre d'une gestion optimisée du cinquième fluide ([www.smartbuildingsalliance.org](http://www.smartbuildingsalliance.org)).

## **Une cyberstructure est composée d'un BOS (building operating system) qui est l'équivalent de l'OS (operating system), le système d'exploitation de nos smartphones ou PC.**

La cyberstructure devient le centre cognitif d'un bâtiment tertiaire ou résidentiel. Son rôle est de surveiller en permanence les événements qui se produisent dans le bâtiment et d'agir pour décharger les usagers de tâches fastidieuses et répétitives afin d'assurer le meilleur équilibre entre confort, garantie de services et efficacité énergétique.

Cinquième fluide, BOS, BIM et équipements actifs sont des composants essentiels de la cyberstructure. Celle-ci n'est pas qu'une simple fonctionnalité technique pour rendre le bâtiment intelligent, elle opère aussi comme un média : le bâtiment produit des données comme source de création de valeur, et non plus uniquement comme charge d'exploitation.

### **Abandon des silos et dématérialisation**

L'interopérabilité des systèmes permet de diminuer la matière première et l'énergie consommée du bâtiment par mutualisation des moyens matériels. En répercussion, cela permet de diminuer à la fois les dépenses d'investissement et de fonctionnement.

Ce changement de paradigme est vertueux, car il fait économiser de la matière et de l'énergie et écarte le risque d'obsolescence des produits physiques. Il implique cependant de repenser les processus et modes opératoires pour s'adapter à une économie décentralisée et dématérialisée. Cette transition numérique concerne tous les secteurs et représente un enjeu majeur pour la filière BTP.

### **Cette transition numérique concerne tous les secteurs et représente un enjeu majeur pour la filière BTP.**

À l'instar de l'industrie automobile qui doit vendre des services de mobilité à des personnes qui ne sont plus propriétaires de leur véhicule, voire qui ne passent plus le permis de conduire (comme les jeunes urbains par exemple), l'industrie du BTP devra dégager des revenus de services sur le cycle d'exploitation du bâtiment, et plus uniquement sur la phase travaux.

Aujourd'hui, certains industriels du bâtiment font le choix de déléguer aux Gafa la gestion de leurs données et services dématérialisés sur des services *cloud* externes. Ce choix de court terme peut se révéler dangereux à long terme. Au CES 2019 (*Consumer Electronics Show*, à Las Vegas), les assistants vocaux étaient partout, y compris en standard dans les appareillages muraux comme les interrupteurs ou les thermostats. Cela signifie que les usagers ont des micros allumés en permanence chez eux, ce qui pose un problème évident d'intrusion dans la vie privée, qui a un moment donné provoquera un rejet de ces technologies par les habitants.

Une cyberstructure avec traitement local des données est un facteur de confiance. Une telle posture n'empêche pas de collaborer avec les Gafa quand cela est pertinent. Il est évident que l'utilisation de leurs instruments peut aussi créer de la valeur. Mais la gestion des données du cercle privé et intime doit être effectuée au plus proche des intérêts de l'occupant.

Le BOS du bâtiment (jumeau numérique), sa maquette BIM, son DOE (dossier des ouvrages exécutés), le carnet de santé du logement et les données produites tout au long du cycle de vie doivent être sécurisés, stockés et exploités en tant qu'actifs immobiliers, potentiellement dupliqués dans plusieurs lieux, par sécurité, mais exécutés selon les principes de subsidiarité et de cybersécurité réclamés pour le traitement des données personnelles et selon les réglementations en vigueur (RGPD, RT).

### **La généralisation de l'autoconsommation renforcera la nécessité d'une cyberstructure autonome, annonçant progressivement la bascule d'un modèle centralisé de production énergétique et de gestion des données vers un modèle décentralisé.**

La réglementation thermique à venir (RT 2020) impliquera que les bâtiments produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment. C'est la logique des bâtiments à énergie positive (Bepos). La généralisation de l'autoconsommation renforcera la nécessité d'une cyberstructure autonome, annonçant progressivement la bascule d'un modèle centralisé de production énergétique et de gestion des données vers un modèle décentralisé tant pour la production et le stockage de l'énergie que pour le traitement et le stockage des données produites par le bâtiment et ses usagers.

Le transfert des plateformes centralisées vers une logique distribuée rétablirait l'équilibre entre une économie globalisée et une économie locale, revalorisée autour des villes et territoires intelligents.

Le cinquième fluide transforme les bâtiments, dont les qualités ne résidaient que dans l'enveloppe et dans les matériaux utilisés, en bâtiments intelligents qui possèdent une cyberstructure créatrice de valeur.

Dorénavant, une notice descriptive d'un immeuble pour un acquéreur ou un investisseur ne sera pas uniquement la description de l'infrastructure (sous le niveau du sol) et de la superstructure (au-dessus du niveau du sol). Elle contiendra également la descrip-

tion de la cyberstructure qui innerve le bâtiment, en tant que réseau fédérateur de l'ensemble des flux de données (transactions énergétiques, vidéosurveillance, contrôle d'accès, visiophonie, éclairage, domotique, réseaux sociaux du bâtiment, etc.).

Une telle cyberstructure implique de nouvelles expertises. Tout au long de la phase d'exploitation, des relais d'entreprises locales vont être indispensables pour l'installation, la maintenance et l'accompagnement des utilisateurs, en partenariat avec les FM (*facility managers*, services généraux) et les syndics de copropriété. Les modèles d'affaires vont évoluer et les services numériques pourraient devenir la principale source de revenus des industriels. ●

# Intelligence artificielle et bâtiment : que se passera- t-il demain ?

**Quentin  
Panissod**

*Foresight officer (chargé de la prospective), Leonard.*



L'IA est faite de réalités et de perspectives. Au-delà de certaines confusions sur ce qu'elle est exactement, elle s'incarne, dans le secteur du bâtiment, dans de multiples terrains d'application à toutes les étapes des projets. De la conception des plans à l'anticipation des pannes en passant par l'aide à la gestion des chantiers. Prometteuse, elle soulève des problèmes de compétences et de transparence, à prendre en considération pour sa pleine mise en œuvre demain.

L'intelligence artificielle est un sujet particulièrement tendancieux qui mélange à la fois fantasmes, technologies et problématiques de société. En une petite heure de navigation sur le Web, on peut découvrir qu'elle peut potentiellement détruire tous les emplois, conquérir le monde ou encore se doter d'une conscience. À l'inverse, une nouvelle mode s'est plus récemment installée : le créateur de Siri (assistant vocal de la marque Apple) est même allé jusqu'à intituler un livre récent *L'intelligence artificielle n'existe pas*<sup>1</sup>. Pourtant, des logiciels basés sur l'IA<sup>2</sup> ont accompli de réelles prouesses : battre les meilleurs au jeu de go, mieux détecter des cancers, créer des assistants vocaux capables de converser avec nous...

**Des logiciels basés sur l'IA ont accompli de réelles prouesses : battre les meilleurs au jeu de go, mieux détecter des cancers, créer des assistants vocaux capables de converser avec nous...**

Comment revenir à des éléments concrets ? L'intelligence artificielle, c'est tout simplement une palette de technologies qui, en s'entraînant sur des jeux de données, permet de mieux analyser les caractéristiques du présent ou prévoir celles du futur. Il s'agit de briques logicielles qui, concrètement, savent automatiquement détecter un élément sur une image (par exemple, une dalle de béton sur une photo aérienne de chantier), ou encore anticiper une panne de machine en s'entraînant sur l'historique des données de centaines de machines. Ses appli-

cations sont donc aussi variées qu'il y a de formats de données à disposition (images, sons, vidéos, documents écrits). Encore plus concrètement, par exemple, pour prévoir une panne de machine à un instant T, on ne peut pas simplement lister toutes les situations de panne ni les résumer à des règles simples (température trop élevée, courant trop faible...). L'IA, par analyse approfondie des données et par apprentissage, traite globalement ces problèmes, que l'on ne saurait uniquement modéliser dans une série de règles prédéfinies et figées.

### L'IA : de bons plans ?

Dans le secteur du bâtiment, des milliers de projets ont déjà été réalisés et les données à disposition (comptabilité, documents officiels, rapports internes, modèles numériques, etc.) offrent de nombreuses possibilités d'entraînement et de renforcement de l'IA. Des méthodes dites d'apprentissage par renforcement se développent de plus en plus : elles consistent à simuler un grand nombre de situations à partir des contraintes du projet et des objectifs à atteindre pour générer plusieurs solutions optimisées.

**Des méthodes dites d'apprentissage par renforcement se développent de plus en plus : elles consistent à simuler un grand nombre de situations à partir des contraintes du projet et des objectifs à atteindre pour générer plusieurs solutions optimisées.**

1. Luc Julia, *L'intelligence artificielle n'existe pas*, First éditions, 2019.

2. Par commodité, nous utiliserons l'abréviation IA pour désigner l'ensemble du champ des différentes technologies que le concept recouvre.

Ces approches se lancent à la conquête de la conception du bâtiment à différentes échelles.

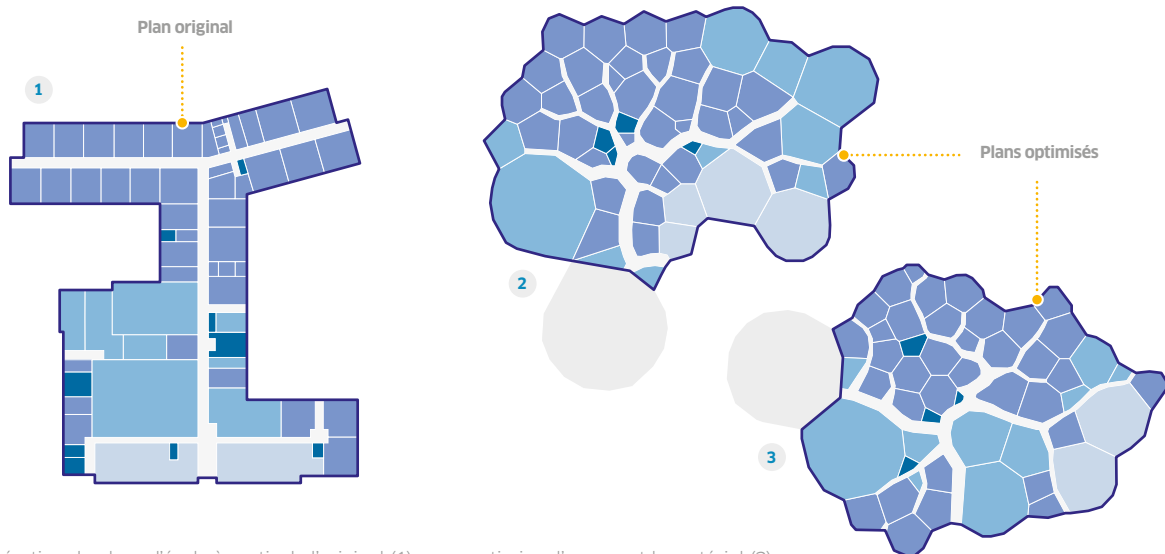
- Dans l'immobilier, pour simuler des projets sur une parcelle ou encore automatiser et optimiser la programmation de logements (comme le propose par exemple la start-up TestFit).
- Pour l'aménagement des espaces intérieurs, l'architecte Stanislas Chaillou a créé et entraîné des algorithmes d'IA pour générer des solutions comprenant l'agencement des différents types de pièce, les portes et fenêtres, le mobilier, tout cela en partant de la surface d'un bâtiment. Il pousse ainsi un cran plus loin l'ambition de tout un champ de recherche et développement du numérique dans la conception automatique des bâtiments.
- Pour la conception et les études liées aux équipements techniques : des projets s'attaquent à la génération de réseaux d'électricité, chauffage, ventilation et climatisation à partir de maquettes numériques du bâtiment. C'est le cas de la start-up Building Automation Systems qui propose depuis 2017 une extension au logiciel de conception Revit permettant de générer des réseaux d'électricité.
- Pour les nombreuses études qui entourent un projet avant sa construction, l'IA est un outil en cours d'appropriation par les logiciels de conception en ce qui concerne notamment l'optimisation énergétique, le chiffrage des opérations, la génération automatique du ferrailage.

Plus largement et dans un champ qui relève encore pour partie de la recherche, l'IA est utilisée dans un esprit d'optimisation multicritères. Ainsi, la start-up Vizcab propose l'équivalent d'une « table de mixage » de projet de construction, afin de mieux en gérer l'impact carbone en fonction de l'ensemble des contraintes et objectifs posés.

**Les plans proposés sont originaux et inattendus. À partir des mesures de l'espace original, le logiciel produit des propositions pour optimiser l'espace et le matériel, ou pour optimiser les parcours en cas d'incendie.**

Enfin, l'approche de l'apprentissage par renforcement peut être intéressante pour déboucher sur des résultats ou des conceptions que les humains n'ont pas l'habitude de penser. Joel Simon, chercheur aux États-Unis, a expérimenté un modèle similaire à de l'apprentissage par renforcement pour générer les plans d'une école. Les plans proposés sont originaux et inattendus. À partir des mesures de l'espace original, le logiciel produit des propositions pour optimiser l'espace et le matériel, ou pour optimiser les parcours en cas d'incendie.

#### DE L'IA POUR DES PLANS D'ÉCOLE



Génération de plans d'école à partir de l'original (1), pour optimiser l'espace et le matériel (2), pour optimiser les parcours en cas d'incendie (3).

Source : Joel Simon, chercheur et entrepreneur en bio-informatique - [www.joelsimon.net](http://www.joelsimon.net), juin 2019.

## **Plus les briques d'IA seront à disposition, plus il s'avérera essentiel d'intégrer dans ces outils l'ensemble du cycle de vie du bâtiment et des besoins des usagers.**

Cet exemple illustre la capacité de l'IA à générer de nouvelles solutions. En revanche, elle remet en question les usages actuels au-delà des plans, puisqu'il s'agirait dans cet exemple d'une structure bien plus complexe et potentiellement plus coûteuse à construire que ce qui existe aujourd'hui. De plus, au-delà des défis techniques qui sont posés, les habitudes des résidents sont également remises en question. Dans l'exemple de ces nouveaux plans d'école, on sort complètement des schémas cartésiens d'organisation de l'espace hérités de la conception millénaire de la ville grecque, dont la configuration en damier a inspiré nombre de planificateurs urbains en Amérique du Nord par exemple. Saurions-nous nous orienter et nous épanouir dans ces nouvelles architectures ? Plus les briques d'IA seront à disposition, plus il s'avérera essentiel d'intégrer dans ces outils l'ensemble du cycle de vie du bâtiment et des besoins des usagers pour confronter aux calculs de l'IA toutes les contraintes du projet quelle qu'en soit l'étape de vie.

### **L'IA sur les chantiers : toujours en chantier**

L'IA, sur les chantiers, porte sur différentes sources potentielles de données.

Tout d'abord, en captant des images au travers de caméras (fixes, scans manuels ou drones), l'IA permet de recenser automatiquement les différents éléments du chantier. Ainsi, on commence à voir émerger des logiciels générant des rapports d'avancement pour des chantiers spécifiques (pour des gratte-ciel par exemple, avec la start-up Disperse) ou des logiciels qui se proposent d'alerter en temps réel sur de potentiels risques (collisions, absence de port des équipements de protection, etc.). Cependant, les solutions d'intelligence artificielle aujourd'hui en test à l'échelle d'un chantier restent complétées et contrôlées par des humains. Ces applications ne sont pas encore réellement matures.

## **Les solutions d'intelligence artificielle aujourd'hui en test à l'échelle d'un chantier restent complétées et contrôlées par des humains. Ces applications ne sont pas encore réellement matures.**

Un autre champ d'analyse est celui de l'utilisation de l'IA en écoutant les bruits de chantier. Ce champ de recherche permettrait d'avoir une source de données complémentaires pour aider à qualifier les activités en cours sur le chantier.

L'IA permet aussi d'outiller les engins de chantier : d'une part, pour en améliorer la productivité et la maintenance (maintenance prédictive) et, d'autre part, pour les rendre progressivement autonomes, même si ce dernier aspect ne relève pas d'un futur proche tant un chantier est complexe et que les risques y sont grands.

En dépit de tous ses atouts et toutes ses promesses, l'IA ne répond pas systématiquement aux nombreux enjeux fondamentaux que sont la créativité, l'empathie, la rentabilité, le bien-être au travail, la relation avec les clients ou encore la vision d'ensemble des projets. Son développement massif sur les chantiers à court terme est peu probable.

En revanche, la gestion de chantier effectuée sa transition numérique et de nombreuses données de suivi et de planification sont stockées sur des plateformes numériques.

L'intelligence artificielle offre ainsi des pistes de soutien à la conduite et au pilotage de chantier en organisant et archivant automatiquement une base documentaire ; en détectant des risques contractuels ou opérationnels à partir des différentes versions des documents de gestion associés aux données météo et de scans de chantier. Son utilité s'affirme à travers des moteurs de recherche ou des assistants vocaux numériques pour accéder à une information dans la base documentaire ou réglementaire, ou à partir d'une maquette numérique.

### **Une nouvelle ère pour la maintenance et l'exploitation des bâtiments**

En phase d'exploitation, l'IA offre la possibilité d'optimiser la gestion du bâtiment en s'abreuvant des données à disposition : maquette numérique, capteurs de température, données météo, plannings, occupation de l'espace, etc. Elle ouvre la porte à la réduction des coûts et de l'impact environnemental par l'optimisation du fonctionnement - notamment - énergétique et des opérations de maintenance (aide au diagnostic, optimisation des interventions). Elle permettra la création de nouveaux services : d'abord par des interfaces et communications augmentées (agents conversationnels ou *chatbots*, communication non verbale, vocale, interactions humain-machine améliorées), ensuite par la prédiction des besoins des résidents et la génération de propositions de services personnalisés. Les possibilités de services sont extrêmement variées : traduction en temps réel, prise de notes et compte-rendu de réunion automatisés, aide à la gestion sur les agendas.

L'exploitation de toutes ces innovations dépend largement du degré de numérisation des équipements. Si le recours au numérique va croissant, de nombreuses possibilités restent encore largement à explorer.

Demain, l'IA interagira avec les logiciels de gestion technique des bâtiments, qui pourront s'intégrer dans de futurs *building operating systems* (systèmes d'exploitation du bâtiment).

***L'IA offre la possibilité d'optimiser la gestion du bâtiment en s'abreuvant des données à disposition : maquette numérique, capteurs de température, données météo, plannings, occupation de l'espace, etc.***

La maintenance pourra progressivement se doter de la puissance prévisionnelle de l'IA sur leurs données de tous les équipements des bâtiments pour améliorer la gestion des ascenseurs, les réseaux, les chaudières, etc. Bref, l'IA permettra une gestion plus intelligente et optimale des bâtiments.

### **Jusqu'où aller avec l'IA dans le secteur du bâtiment ?**

L'intelligence artificielle, outil à forte capacité de transformation, soulève plusieurs enjeux.

En termes de compétences, il faut trouver un format de travail entre les équipes opérationnelles du bâtiment et des experts de l'IA et de la gestion de données. L'IA relevant encore de démarches exploratoires dans le secteur du bâtiment, il faut coordonner l'ensemble des programmes de recherche, d'innovation et de gestion des systèmes d'information des entreprises pour développer des solutions d'IA intégrées aux entreprises et véritablement utiles aux opérationnels. De plus, l'IA vient souvent

automatiser ou optimiser une tâche humaine répétitive, ce qui constitue une évolution des postes de travail à anticiper pour les collaborateurs. Enfin, si la tâche automatisée fait partie d'un processus d'apprentissage du métier (par exemple la revue de contrats), comment faire en sorte que les futurs responsables, ne passant plus par cette étape d'apprentissage, en conservent les compétences ?

***L'IA relevant encore de démarches exploratoires dans le secteur du bâtiment, il faut coordonner l'ensemble des programmes de recherche, d'innovation et de gestion des systèmes d'information des entreprises pour développer des solutions d'IA intégrées aux entreprises et véritablement utiles aux opérationnels.***

En termes de transparence, les algorithmes d'intelligence artificielle rendent parfois difficile l'explication d'une solution proposée par le logiciel : l'IA fait souvent effet de boîte noire. Comment expliquer les choix et processus ayant conduit le logiciel à choisir certains matériaux pour la conception d'un bâtiment au détriment d'autres ? Qui est responsable d'une décision lors d'un litige sur une solution fournie par l'IA ? De plus, l'IA reproduit, voire caricature, les biais des données sur lesquelles elle s'entraîne : comment garantir une certaine diversité des données et quelle gouvernance donner à cet enjeu ? Ces questions s'accumulent à mesure que de nouveaux projets apportent de nouvelles découvertes, comme cette initiative de tri de candidats à l'emploi chez Amazon, qui ne faisait remonter que les candidatures d'hommes pour les postes de développeur informatique... L'IA reflète la réalité des données qu'on lui soumet : lorsqu'elle sera utilisée, elle remettra certaines problématiques générales du bâtiment sur la table.



Enfin, l'utilisation de l'IA pose nécessairement la question des enjeux environnementaux. Non seulement l'IA consomme beaucoup d'énergie pour les calculs et le stockage des données, mais elle engendre des coûts conséquents en composants pour les capteurs et les *data centers* nécessaires à son déploiement. Ces coûts sont faibles pour une application d'IA avec des données déjà collectées et centralisées (données de comptabilité par exemple) mais peuvent être élevés s'il s'agit d'outiller tout un parc de bâtiments en capteurs. Ainsi, une utilisation d'IA pour optimiser la consommation d'énergie d'un bâtiment pourrait-elle jouer contre son camp : par ses coûts propres en énergies et matériaux ; par un usage renforcé des résidents du bâtiment de ses services du fait de l'optimisation (effet rebond).

***Face à une utilisation massive et souvent aveugle de l'IA, sachons, dans le bâtiment, montrer l'exemple par une maîtrise intelligente de l'intelligence artificielle.***

Pour une utilisation raisonnée et responsable de l'IA, il sera essentiel d'appliquer des méthodes d'évaluation de l'ensemble de ces enjeux sociétaux. En France, des cabinets privés, des autorités publiques et des organisations d'intérêt général proposent des méthodes d'évaluation de l'éthique, de l'impact environnemental ou encore de l'impact sur les ressources humaines de l'IA. Face à une utilisation massive et souvent aveugle de l'IA, sachons, dans le bâtiment, montrer l'exemple par une maîtrise intelligente de l'intelligence artificielle. ●

# Les compétences technologiques : pierre angulaire de la construction de demain

**Frédéric  
Remond**

Directeur de projets, McKinsey & Company.



Si le secteur de la construction parvenait à porter sa maturité technologique à un niveau comparable à celui de secteurs tels que l'automobile ou les services aux collectivités, il accéderait à un potentiel de performance majeur. Pour y parvenir, ses défis prioritaires portent sur la montée en compétence des équipes, tant au stade de la conception que sur les chantiers. Dans ce secteur très fragmenté, ces impératifs concernent plus directement les PME et TPE, parfois moins avancées en termes de maîtrise et d'exploitation des opportunités technologiques.

**E**xploiter de manière plus systématique l'ensemble des potentiels offerts par le numérique demeure une priorité pour bon nombre d'acteurs de la construction. En 2016, le McKinsey Global Institute (MGI), centre de recherche de McKinsey, publiait une étude sur la maturité digitale des diverses activités économiques en Europe. À l'instar des secteurs très fragmentés et locaux, la construction affichait alors un certain retard en la matière sur l'ensemble des dimensions analysées<sup>1</sup>. Par ailleurs, comparativement aux autres industries, la marge générée par la construction demeure modeste, avec un Ebidta de 4,4 % quand le secteur le plus performant génère en moyenne 19,8 %<sup>2</sup>. De nombreuses innovations sont à même d'améliorer la qualité et la sécurité des chantiers tout en réduisant sensiblement les coûts et en améliorant la productivité globale du secteur. À titre d'exemple, une coordination plus forte dans la planification de projet entre bureaux d'études et chantiers pourrait être généralisée, en accompagnement d'une digitalisation plus systématique de ce processus de planification. Plus généralement, l'ensemble du secteur gagnerait à intégrer pleinement les nouvelles technologies pour lesquelles la lourdeur des investissements tend à être surestimée et les bénéfices à long terme insuffisamment perçus. De fait, les dépenses de R&D de la construction demeurent inférieures à celles des autres secteurs : moins de 1 % du chiffre d'affaires, contre 3,5 à 4,5 % pour les secteurs de l'automobile et de l'aérospatial. Il en va de même pour l'investissement dans les technologies de l'information, qui représente aussi moins de 1 % du chiffre d'affaires du secteur. La numérisation accrue des activités devient d'autant plus urgente que les projets gagnent en complexité,

avec l'émergence de nouvelles contraintes réglementaires et de nouvelles exigences, notamment celles liées aux normes environnementales.

***La numérisation accrue des activités devient d'autant plus urgente que les projets gagnent en complexité, avec l'émergence de nouvelles contraintes réglementaires et de nouvelles exigences, notamment celles liées aux normes environnementales.***

Le MGI estime que, pour pouvoir maintenir le rythme actuel de croissance du PIB mondial d'ici à 2030, le monde devra consacrer 57 000 milliards de dollars de dépenses aux infrastructures. Cette perspective constitue une puissante incitation pour les acteurs du secteur à intégrer les meilleures pratiques technologiques au profit de gains sensibles de productivité et d'une meilleure maîtrise de l'exécution des projets.

Cinq grands chantiers technologiques permettraient aux acteurs de la construction d'accomplir de manière optimale leur révolution numérique au cours des cinq prochaines années. Chacune de ces pistes repose sur une ou plusieurs innovations déjà applicables, ou en passe de l'être, dans le secteur de la construction.

1. McKinsey Global Institute, « Digital Europe: Pushing the frontier, capturing the benefits », juin 2016.  
2. McKinsey Global Institute, « Reinventing Construction: a route to higher productivity », février 2017.

## Arpentage et géolocalisation à très haute définition

Bon nombre de projets de construction subissent des retards majeurs et des dépassements de budget en raison d'« impondérables géologiques ». Or sur ce point, les nouvelles techniques ayant recours à la photographie haute définition, la numérisation laser 3D et les systèmes d'information géographique, associés aux récents perfectionnement des drones, peuvent augmenter considérablement la précision et la rapidité de la construction.

**Les fournisseurs spécialisés proposent des solutions d'arpentage combinant à la fois le recueil d'image, le transfert et le traitement des données, ainsi que des logiciels permettant un pilotage automatisé des drones ou encore des tableaux de bord exploitant la visualisation de données.**

La technologie d'arpentage moderne est aujourd'hui plus accessible que jamais, ses coûts ayant largement baissé. Les fournisseurs spécialisés proposent des solutions d'arpentage combinant à la fois le recueil d'image, le transfert et le traitement des données, ainsi que des logiciels permettant un pilotage automatisé des drones ou encore des tableaux de bord exploitant la visualisation de données.

## Modélisation des informations du bâtiment en 5D de prochaine génération

La modélisation des informations du bâtiment (BIM) de prochaine génération permet d'obtenir une représentation en cinq dimensions des caractéristiques physiques et fonctionnelles d'un projet. Au-delà des paramètres standards de conception spatiale en 3D, elle intègre également le coût et le planning du projet. Elle prend aussi en compte de nombreux aspects, tels que les données des géomètres, et bien d'autres spécifications concernant l'esthétique, les conditions thermiques et les propriétés acoustiques des bâtiments. Par son caractère visuel et intuitif, le BIM 5D permet aussi aux maîtres d'œuvre de mieux identifier les risques en amont, et d'optimiser la prise de décision. Maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre et sous-traitants se heurtent souvent, à l'heure actuelle, à une hétérogénéité entre leurs plateformes de modélisation, qui entrave la synchronisation de leurs activités et les

prive d'une représentation intégrée et en temps réel de la conception, des coûts et du planning des projets. Et 75 % des acteurs qui ont adopté le BIM se disent satisfaits du retour sur investissement qu'ils en ont obtenu. En conséquence, bon nombre de gouvernements, dont ceux du Royaume-Uni, de la Finlande et de Singapour, imposent l'utilisation du BIM pour les projets d'infrastructures publiques.

**Bon nombre de gouvernements, dont ceux du Royaume-Uni, de la Finlande et de Singapour, imposent l'utilisation du BIM pour les projets d'infrastructures publiques.**

La plus-value de la technologie BIM 5D sera d'autant plus importante que lui sera adjointe la technologie de la réalité augmentée. Dans cet environnement de « réalité mixte », les utilisateurs peuvent intégrer des hologrammes aux objets physiques et interagir avec les données par des commandes gestuelles, visuelles et vocales.

## Collaboration digitale et mobilité

Des solutions de collaboration en ligne et de mobilité commencent à se déployer sur le terrain. Les géants mondiaux de la construction ont conclu avec des éditeurs de logiciels leurs premiers contrats portant sur le développement de plateformes dans le *cloud* afin d'assurer la supervision opérationnelle. Celles-ci intègrent la technologie mobile, de même que la planification, la budgétisation et la gestion documentaire des grands projets.

La digitalisation des flux de travaux offre des avantages substantiels. À titre d'illustration, dans le cadre d'un projet de construction d'un tunnel aux États-Unis impliquant près de 600 fournisseurs, le maître d'œuvre a développé une solution reposant sur une plateforme unique pour les appels d'offres, les soumissions et la gestion des contrats. Cette plateforme a permis d'économiser plus de vingt heures de temps-homme par semaine, de réduire le temps d'établissement des rapports de chantier de 75 % et d'accélérer les remises de documents à hauteur de 90 %.

## Optimisation des chantiers par l'Internet des objets et l'analytique

Les grands chantiers génèrent des volumes croissants de données, qui, faute d'être intégralement enregistrées, mesurées et traitées, demeurent insuffisamment exploitées.

Un déploiement plus massif de l'Internet des objets permettrait de surveiller et de contrôler les machines, les équipements, les matériaux et les structures et d'agrèger l'ensemble de ces données sur une plateforme centralisée intégrant tous les paramètres de performances critiques.

### **Un déploiement plus massif de l'Internet des objets permettrait de surveiller et de contrôler les machines, les équipements, les matériaux et les structures et d'agrèger l'ensemble de ces données sur une plateforme centralisée.**

Les applications de telles technologies sont multiples :

- *Surveillance et réparation des équipements.* Grâce aux capteurs avancés, les machines peuvent détecter et communiquer les besoins d'intervention, et envoyer des alertes automatiques garantissant leur maintenance préventive.
- *Gestion des stocks et passation des commandes.* Les systèmes connectés peuvent anticiper les risques d'épuisement des stocks et favoriser la gestion optimale des commandes par les chefs de chantier.
- *Évaluation de la qualité.* Les « structures intelligentes » qui utilisent des capteurs de vibrations pour tester la résistance et la fiabilité d'une structure pendant la phase de construction sont capables de détecter les déficiences et permettent de les corriger de façon précoce.
- *Efficacité énergétique.* Les capteurs de nouvelle génération permettent d'améliorer l'efficacité énergétique des chantiers en surveillant la consommation de carburant des équipements et des engins.
- *Sécurité.* Les bracelets connectés préviennent contre les risques de somnolence ou d'accident en détectant toute anomalie sur le chantier.

### **Conception et construction évolutives**

Les nouveaux matériaux de construction, tels que le béton autocicatrisant, les aérogels et les nanomatériaux, de même que les méthodes de construction innovantes telles que l'impression 3D et les modules préassemblés, peuvent également contribuer à réduire les coûts et à accélérer la construction, tout en améliorant la qualité et la sécurité. L'industrie des matériaux de construction a connu au cours des dernières décennies une vague d'innovations dont :

- *Le béton autocicatrisant.* Ce matériau utilise les bactéries comme agent cicatrisant, pour refermer les fissures apparaissant sur le béton.

- *Topmix perméable.* Alternative au ciment, ce matériau est capable d'absorber très rapidement d'importants volumes d'eau.
- *Nanomatériaux.* À terme, ces matériaux ultrarésistants et ultralégers pourraient servir de substitut aux renforts en acier dans les structures et les fondations.
- *Aérogel.* Ce matériau ultratransparent et ultra-isolant est composé à plus de 95 % d'air. Il est disponible dans le commerce.

Certains de ces « matériaux du futur » pourraient redéfinir la façon de concevoir et d'exécuter les projets. Si leur taux d'adoption reste cependant faible, les entreprises qui ont réussi à les mettre en œuvre ont dû opérer des changements radicaux dans leurs processus internes de planification, de conception, d'achat et de construction.

### **Les entreprises qui ont réussi à les mettre en œuvre ont dû opérer des changements radicaux dans leurs processus internes de planification, de conception, d'achat et de construction.**

La généralisation des technologies digitales nécessitera une adoption par le secteur de méthodes de travail profondément renouvelées.

Le développement à grande échelle des compétences numériques constitue une condition *sine qua non* de l'amélioration de la productivité du secteur de la construction. Toutefois, la fragmentation du secteur (entre géants industriels, PME, artisans) souvent liée au recours à la sous-traitance et à l'hétérogénéité des degrés de sophistication, accroît la difficulté d'obtenir une maîtrise des savoir-faire et des usages digitaux, et, à moyen terme, le secteur pourrait être exposé à une pénurie de main-d'œuvre qualifiée. Cette hétérogénéité entre acteurs en matière de maturité digitale étant très souvent corrélée à la taille des entreprises concernées, il conviendra par ailleurs de veiller à ce que les PME et TPE ne subissent pas un effet de décrochage par rapport aux grands acteurs, souvent plus avancés dans la maîtrise et l'exploitation des opportunités technologiques. L'impératif d'une montée en compétence massive ne pourra être satisfait que par une collaboration étroite entre acteurs de l'ensemble de la chaîne de valeur et pouvoirs publics, portant à la fois sur la formation et la montée en compétence du capital humain. ●

# Quand les bâtiments sont intelligents, les murs ont des yeux et des oreilles

**Élisabeth  
Grosdhomme**

Directrice générale de Paradigmes et cætera.



**L'expansion de l'intelligence artificielle dans les bâtiments présente des risques éthiques déjà clairement identifiés : surveillance généralisée, normalisation des conduites, discrimination. Habitants et utilisateurs de ces bâtiments intelligents développeront inévitablement des stratégies de contournement. L'humanité des comportements ne saurait être totalement digérée par les algorithmes.**

Les articles rassemblés dans ce numéro de la revue *Constructif* auront sans doute convaincu les lecteurs même les plus sceptiques que le numérique en général, et l'intelligence artificielle en particulier, vont venir bouleverser dans les décennies à venir la manière de construire, de commercialiser et d'exploiter les bâtiments.

Nous avons tous par ailleurs plus ou moins en tête que l'utilisation des données et des algorithmes comporte des enjeux éthiques, illustrés par quelques cas spectaculaires, réels ou spéculatifs : par exemple cet algorithme de justice prédictive mis en œuvre aux États-Unis pour guider l'attribution de remises de peine à des détenus au vu de leur probabilité de récidive, dont une association a dénoncé le biais discriminatoire<sup>1</sup> ; ou encore le célèbre dilemme du véhicule autonome pris au piège d'un accident inévitable et devant « choisir » ses victimes<sup>2</sup>. Vulgarisé par le dilemme du tramway, ce cas d'école utilisé depuis les années 1960 dans les cours d'éthique des universités américaines, légèrement adapté pour traiter des enjeux du véhicule autonome, consiste à interpeler un interlocuteur en lui demandant de décider de la conduite à tenir dans une situation hypothétique où un véhicule autonome, dans des circonstances de circulation inopinées, n'aurait d'autre issue que de sacrifier son passager ou d'écraser tel ou tel piéton alentour (une vieille dame, un groupe d'enfants, une jeune maman, etc.)<sup>3</sup>.

***Il reste un peu difficile, pour la plupart d'entre nous, de se figurer concrètement en quoi pourraient consister les risques éthiques du bâtiment intelligent de demain.***

Pour autant, au-delà de ces affirmations et interrogations générales, il reste un peu difficile, pour la plupart d'entre nous, de se figurer concrètement en quoi pourraient consister les risques éthiques du bâtiment intelligent de demain. C'est à cette question que cet article se propose de répondre.

Même s'ils se manifestent sous des formes infiniment variées, les risques éthiques liés aux données et aux algorithmes relèvent principalement de trois catégories : la violation de la vie privée, l'érosion du libre arbitre et les discriminations. Les bâtiments et infrastructures intelligents de demain sont susceptibles de tomber dans chacun de ces trois pièges.

### **Violation de la vie privée**

Pour optimiser son fonctionnement, un bâtiment intelligent doit collecter des données sur les personnes qui s'y trouvent. Prenons par exemple une salle de réunion dans un immeuble de bureaux : pour la gérer au mieux, il faut savoir s'il y a quelqu'un dedans (pour allumer ou éteindre les lumières à bon escient), combien de personnes s'y trouvent (pour ajuster la puissance du chauffage ou de la climatisation), et qui sont ces personnes (pour leur donner accès aux services prévus dans la salle en question – se connecter au réseau wi-fi, commander des boissons, obtenir une vidéoconférence, etc.).

Comment collecter ces informations ? Et quelles sont les interfaces qui permettent aux usagers du bâtiment d'interagir avec les équipements ?

Pour avoir un aperçu des débats qui sont devant nous, arrêtons-nous simplement sur un cas emblématique : la coopération entre Jones Lang LaSalle, l'un des grands gestionnaires d'actifs immobiliers à l'échelle mondiale, et Hitachi, la firme japonaise

1. « Machine bias », ProPublica, 23 mai 2016 ([www.propublica.org/article/machine-bias-risk-assessments-in-criminal-sentencing](http://www.propublica.org/article/machine-bias-risk-assessments-in-criminal-sentencing)).

2. « To make us all safer, robocars will sometimes have to kill », Wired, 13 mars 2017, ([www.wired.com/2017/03/make-us-safer-robocars-will-sometimes-kill](http://www.wired.com/2017/03/make-us-safer-robocars-will-sometimes-kill)).

3. Élisabeth Grosdhomme, « Éthique des algorithmes : attention au trompe-l'œil », *Revue de la gendarmerie nationale*, n° 261, juin 2018 (<https://www.gendarmerie.interieur.gouv.fr/Notre-communication2/Publications-Dokumentations/La-revue/Revue-261>).

spécialisée en électronique<sup>4</sup>. Pour optimiser l'usage des espaces de bureaux, les deux partenaires ont conduit un projet pilote à Singapour consistant à placer des capteurs dans les salles de réunion, sous les bureaux ainsi que dans les badges attribués aux employés et visiteurs pour toutes sortes d'usages (entrer dans le bâtiment, pointer, payer son repas à la cantine...).

Grâce aux données collectées, les deux entreprises se proposent d'aider leurs clients à analyser l'usage effectif des locaux et des équipements, mais aussi les habitudes de travail des employés et même la manière dont ils collaborent dans l'entreprise. On peut notamment savoir combien de temps chacun est resté assis, quand il s'est levé, où il est allé, avec qui ou auprès de qui il est resté, combien de temps, etc. Le but affiché étant tout à la fois de mieux gérer l'allocation et l'aménagement des espaces et des postes de travail, de cartographier les relations *in situ* dans l'entreprise (comme on peut le faire pour les relations à distance *via* messagerie, Internet ou réseaux sociaux) et enfin de conseiller chaque employé sur l'organisation de son temps et sur son hygiène de vie.

### **Avons-nous vraiment envie que la direction informatique ou la direction des ressources humaines de l'entreprise soit au courant de notre vie intime ?**

Il va de soi que ces données permettent de savoir, par déduction et recoupement, bien d'autres choses que ce pour quoi elles sont collectées. Elles permettraient, le cas échéant, de détecter les symptômes de certaines pathologies ou bien de révéler des relations personnelles. Ce qui pose question tant aux surveillés qu'aux surveillants : avons-nous vraiment envie que la direction informatique ou la direction des ressources humaines de l'entreprise soit au courant de notre vie intime ? Réciproquement, si un responsable de l'entreprise vient à disposer de données suggérant que tel employé présente tels symptômes d'une maladie grave (par exemple, des symptômes de désorientation, qui pourraient être précurseurs d'une maladie d'Alzheimer), doit-il en parler, et à qui, afin que la pathologie, dont la victime n'est peut-être même pas consciente, soit prise en charge ?

## **Érosion du libre arbitre**

Deuxième risque éthique habituellement lié aux données, aux algorithmes et/ou à l'intelligence artificielle : l'érosion du libre arbitre, la normalisation voire la manipulation des comportements. C'est un effet qui, dans le contexte du numérique et des données, résulte de deux causes.

Tout d'abord, le simple fait de se savoir surveillé, mesuré, calculé, amène chacun d'entre nous à modifier ses habitudes. C'est parfois l'objet même de la surveillance numérique que de prévenir ainsi les comportements déviants, mais peuvent aussi survenir des effets collatéraux indésirables d'augmentation du niveau de stress et d'induction d'un certain conformisme des comportements.

À cette première cause très générale s'ajoutent, le cas échéant, les boucles de rétroaction codées dans les algorithmes (ou qui seraient éventuellement développées spontanément par des intelligences artificielles par apprentissage supervisé ou non), qui les amènent à réagir différemment selon notre comportement et donc, finalement, à nous canaliser vers les comportements souhaités. Il existe d'ores et déjà un certain nombre d'exemples qui permettent de préfigurer ces phénomènes : ainsi par exemple ce jouet commercialisé en Corée du Sud, un robot en forme de tortue programmé pour se replier sur lui-même et cesser de jouer si les enfants le brutalisent<sup>5</sup> afin d'apprendre à ceux-ci à respecter les objets qui les entourent ; ou encore, à l'occasion d'une campagne publicitaire pour une marque de bière voulant promouvoir la diversité, ce réfrigérateur-distributeur installé dans lieu public qui refusait de délivrer les boissons si l'on ne s'adressait pas à lui dans un minimum de six langues<sup>6</sup>, obligeant les amateurs à interpeler des passants d'autres origines et à leur parler afin de les inciter à coopérer pour obtenir les boissons convoitées.

### **On voit émerger des scénarios d'infrastructures exploitées à l'aide d'intelligences artificielles qui passent insensiblement de l'optimisation de l'expérience usager à la manipulation des comportements desdits usagers.**

4. « Taking real estate services to the next level: Hitachi digital technologies combined with JLL services to change office operations », Hitachi, décembre 2017 ([https://social-innovation.hitachi/en-gb/case\\_studies/jll](https://social-innovation.hitachi/en-gb/case_studies/jll)).

5. « Robotic tortoise helps kids to learn that robot abuse is a bad thing », *IEEE Spectrum*, 14 mars 2018 (<https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/robotics-hardware/shelly-robotic-tortoise-helps-kids-learn-that-robot-abuse-is-a-bad-thing>).

6. Voir cette vidéo : [www.youtube.com/watch?time\\_continue=4&v=5mpG6Jydq4](http://www.youtube.com/watch?time_continue=4&v=5mpG6Jydq4).



De manière plus systémique, on voit émerger des scénarios d'infrastructures exploitées à l'aide d'intelligences artificielles qui passent insensiblement de l'optimisation de l'expérience usager à la manipulation des comportements desdits usagers. Ainsi, par exemple, cette vision de l'aéroport du futur imaginée par le cabinet de conseil en innovation Teague, inventeur – entre autres – du Polaroid, de la console de jeu Xbox et de la boîte de chips Pringles : « *Si l'intelligence artificielle peut être utilisée pour optimiser les processus de l'aéroport et des compagnies aériennes, elle peut aussi bien être employée pour redessiner ces processus d'une manière qui ne bénéficie pas nécessairement aux passagers, mais plutôt à des intérêts commerciaux. [...] Cette famille fatiguée avec trois enfants qui s'ennuient et qui ont faim ? L'intelligence artificielle pourrait aider à faire en sorte qu'elle soit dirigée vers ce point de contrôle de sécurité qui se trouve juste à côté d'une boutique de jouets ou d'un restaurant rapide, où elle serait susceptible de faire des achats d'impulsion.* »<sup>7</sup>

## Discrimination

Troisième risque éthique parmi ceux qu'engendrent les données et les algorithmes : la discrimination. Pour l'illustrer, restons un instant dans cet aéroport du futur imaginé par Teague. Il est question ici de l'articulation, aussi fluide que possible, des différentes étapes du voyage, notamment l'arrivée à l'aérogare pour prendre l'avion puis, à l'autre extrémité du voyage, le transfert des voyageurs à leur destination finale. « *Si l'intelligence artificielle peut être utilisée pour optimiser le déplacement des passagers d'un mode de transport à un autre, elle pourrait aussi altérer les règles du jeu pour certains d'entre eux : [...] créer de meilleures expériences pour certains et de moins bonnes pour d'autres. [...] Les membres d'une religion particulière pourraient bénéficier d'un statut plus favorisé dans tel aéroport et se sentir beaucoup moins bienvenus quand ils arrivent dans un autre. Les passagers pourraient se retrouver bizarrement regroupés par origine ethnique dans les véhicules utilisés par l'aéroport. Les gens qui se conforment à certaines normes de genre dans leur apparence pourraient se trouver récompensés par un passage plus rapide aux postes de contrôle tandis que les autres, mal identifiés par le système, se heurteraient à une confusion engendrant des délais.* »

Ce type de discrimination pourrait se produire délibérément, parce qu'un ordre de priorité a été encodé dans l'algorithme, mais aussi de manière non

délibérée : par exemple si l'intelligence artificielle de reconnaissance d'images, qui analyse les visages et attitudes pour anticiper un degré de risque et orienter les passagers vers un contrôle plus ou moins sévère, a été « éduquée » via un corpus d'apprentissage comprenant majoritairement des images conformes à telle ou telle norme et se trouve ainsi moins performante lorsqu'elle rencontre des images autres.

## Stratégies de contournement

Au-delà de ces risques éthiques déjà bien répertoriés, le bâtiment intelligent pose un défi supplémentaire : les stratégies de contournement que vont inévitablement développer ses utilisateurs.

On en voit déjà les prémices aujourd'hui en observant la manière dont les habitants des immeubles conformes à la norme de haute qualité environnementale détournent l'usage de certains équipements (par exemple en obstruant des bouches d'aération ou en forçant l'ouverture de stores automatisés) pour maîtriser leur confort et ne pas dépendre des règles d'optimisation du système – ruinant au passage la qualité environnementale présumée desdits immeubles.

Un article de la revue *Energy Research & Social Science* dresse un panorama assez édifiant des mille et une astuces mises en œuvre par des « occupants ordinaires » pour désactiver les fonctions d'un bâtiment intelligent : « *Dans un bureau éclairé par un luminaire dont l'allumage était déclenché par un capteur de mouvement, les employés ont installé un jouet mécanique en mouvement perpétuel pour empêcher la lumière de s'éteindre en leur présence car le capteur, mal placé, n'était pas assez sensible ; par conséquent, les lumières restaient désormais allumées tout le temps. Dans un autre cas, les propriétaires d'une maison à énergie optimisée ont recouvert leur sol d'un épais tapis parce qu'ils le trouvaient trop froid pour leurs pieds nus, alors que cette surface était conçue pour absorber et stocker les rayons du soleil ; le tapis, bien sûr, a rendu le système inefficace. Ou bien encore : dans un bâtiment abritant un laboratoire de recherche, les occupants avaient besoin d'éteindre complètement les lumières pour procéder à certaines expériences ; comme il n'y avait pas d'interrupteurs visibles, les chercheurs devaient rester complètement immobiles pendant quinze minutes afin que les lumières s'éteignent automatiquement.* »<sup>8</sup>

7. « The future of flying? AI that shames you into being a better passenger », *Fast Company*, 24 avril 2019 ([www.fastcompany.com/90333075/the-future-of-air-travel-ai-that-shames-you-into-being-a-better-passenger](http://www.fastcompany.com/90333075/the-future-of-air-travel-ai-that-shames-you-into-being-a-better-passenger)).

8. « Oh behave! Survey stories and lessons learned from building occupants in high-performance buildings », *Energy Research & Social Science*, vol. 31, septembre 2017 ([www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629617301664](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629617301664)).

## **Comment ces traits de comportement pourraient-ils se traduire dans les bâtiments de demain, truffés de capteurs, de données et d'algorithmes ?**

Ces phénomènes ne sont pas isolés. On en retrouve l'expression dans bien d'autres domaines d'application du numérique. Ainsi, par exemple, du maquillage permettant de déjouer les caméras de reconnaissance faciale<sup>9</sup> ou encore de ce mécanisme qui balance votre téléphone comme si vous marchiez<sup>10</sup>, afin que, tout en restant confortablement assis dans votre fauteuil, vous atteigniez les seuils de décompte de pas journaliers requis pour bénéficier de tarifs plus favorables de cotisations d'assurance maladie.

Comment ces traits de comportement pourraient-ils se traduire dans les bâtiments de demain, truffés de capteurs, de données et d'algorithmes ? Revenons à notre salle de réunion du début. Cas de figure fréquent dans les entreprises, imaginons qu'il y ait davantage de demandes (de personnes qui cherchent une salle pour se réunir) que d'offres (de salles disponibles). À qui l'algorithme d'attribution des salles va-t-il donner la priorité ?

### **Quelles que soient les règles qu'il serait possible d'encoder dans l'algorithme, elles vont inévitablement engendrer des stratégies de contournement.**

Mille et une solutions sont possibles : est-ce qu'on attribue les salles selon la règle « premier arrivé,

premier servi » ? Ou bien en fonction des positions hiérarchiques, d'abord aux chefs, ensuite aux autres ? Ou encore en fonction de quotas de droits à réservation que l'on aura préalablement attribués, par personne ou par service ? Ou alors est-ce qu'on réduit forfaitairement les durées de réservation allouées à chacun, afin qu'il y ait de la place pour tous ?

Quelles que soient les règles qu'il serait possible d'encoder dans l'algorithme, elles vont inévitablement engendrer des stratégies de contournement : la règle du « premier arrivé, premier servi » risque d'inciter chacun à des réservations excédentaires, juste pour le cas où, qui vont aggraver la pénurie ; la règle hiérarchique va amener les plus débrouillards à faire passer leur réservation au nom de leur chef ; les quotas de droits à réservation vont donner lieu à une foire d'empoigne pour décider des besoins respectifs que les uns et les autres peuvent avoir d'organiser des réunions ; et la réduction forfaitaire des durées de réservation débouchera sans doute sur des conflits lorsque les arrivants de la réunion suivante constateront que la salle est encore occupée par la réunion précédente.

### **Somme toute, plus les bâtiments seront intelligents, plus ils inciteront les humains à développer leur propre ingéniosité afin de préserver leur liberté face à la machine.**

Somme toute, plus les bâtiments seront intelligents, plus ils inciteront les humains à développer leur propre ingéniosité afin de préserver leur liberté face à la machine, y compris la liberté de faire des bêtises et de contrevenir aux principes supposés garantir le bien commun. ●

# Des défis majeurs pour l'IA dans le bâtiment

**Bertrand  
Pailhès**

Coordonnateur national pour la stratégie  
d'intelligence artificielle.



Le secteur du bâtiment doit bénéficier des perspectives ouvertes par l'intelligence artificielle. Qu'il s'agisse de conception, d'exploitation, notamment de meilleure prise en compte des dimensions environnementales, il faut que la filière s'investisse, par optimisation de son organisation et de ses données, dans l'IA, afin que celle-ci puisse investir adéquatement le bâtiment. L'IA peut devenir le cerveau des bâtiments, ceux-ci se gérant comme des plateformes de services pour leurs habitants, utilisateurs et environnements.

Le président de la République Emmanuel Macron l'a confirmé le 29 mars 2018 lors du sommet *AI for Humanity* : « *La révolution de l'intelligence artificielle ne se produira pas dans cinquante ou soixante ans, elle est en train de se produire.* » Ce discours, prononcé à la suite du rapport Villani, a fait prendre conscience de l'utilité de l'IA au sein de la société et de l'urgence de son adoption dans certains secteurs clés<sup>1</sup>. C'est également durant ce temps fort que la stratégie nationale en matière d'intelligence artificielle a été dévoilée.

### La stratégie française d'intelligence artificielle

Le premier axe de cette stratégie consiste à disposer de la meilleure expertise en intelligence artificielle en valorisant les talents. Pour cela, l'objectif est de renforcer l'attractivité française, en attirant les meilleurs centres de recherche et développement privés et en consolidant le paysage de la recherche en IA. Il s'agit ainsi de développer l'un des meilleurs écosystèmes de recherche, d'améliorer le lien avec le monde industriel et de doubler le nombre d'étudiants en intelligence artificielle.

Le deuxième axe de la stratégie vise à accélérer la diffusion de l'intelligence artificielle dans l'ensemble de l'économie et de l'administration, en engageant une politique résolue d'ouverture des données, en mettant en place des projets emblématiques et une stratégie de financement dédiée afin de faire émerger des champions nationaux de l'IA. Pour cela, il est

également important de soutenir la diffusion de l'IA dans tous les secteurs et de faciliter le recours aux expérimentations.

Enfin, nous souhaitons engager un dialogue entre performance et humanité, afin de penser une intelligence artificielle éthique. Pour cela, il faut ouvrir un débat sur les enjeux éthiques puis inscrire la transparence et la loyauté comme des critères fondamentaux du développement de l'IA. Par ailleurs, nous soutenons l'inclusion et la mixité au sein de cet écosystème tout en garantissant l'autonomie française et européenne.

**Le secteur du bâtiment représente la moitié de l'industrie française et deux fois les activités de banque et assurance. Cette filière doit se saisir de l'intelligence artificielle pour améliorer à la fois les projets de conception et d'exploitation de l'ouvrage.**

L'intelligence artificielle est avant tout, pour l'ensemble des filières et particulièrement celle du bâtiment, un moyen d'améliorer la productivité et l'efficacité des entreprises. Le secteur du bâtiment représente la moitié de l'industrie française

1. Cédric Villani, « Donner un sens à l'intelligence artificielle. Pour une stratégie nationale et européenne », mars 2018 ([www.aiforhumanity.fr/pdfs/9782111457089\\_Rapport\\_Villani\\_accessible.pdf](http://www.aiforhumanity.fr/pdfs/9782111457089_Rapport_Villani_accessible.pdf)). Autour du rapport et de la stratégie, voir [www.aiforhumanity.fr](http://www.aiforhumanity.fr).

et deux fois les activités de banque et assurance<sup>2</sup>. Cette filière doit se saisir de l'intelligence artificielle pour améliorer à la fois les projets de conception et d'exploitation de l'ouvrage. Au même titre que dans d'autres filières industrielles, l'IA permettrait aussi de réduire la pénibilité des tâches grâce à l'automatisation de certains processus, sans remplacer l'expertise humaine. Cette vision requiert de relever plusieurs défis, dont deux majeurs : mettre en place une politique des données destinée à alimenter les IA et faire du bâtiment une plateforme de services pour tous.

### Une politique de régulation et de mutualisation des données pour le bâtiment

Le bâtiment génère et constitue une source importante de données sur l'habitant, l'habitat et son environnement. Puisque les relations sont dynamiques entre ces trois entités, il conviendrait de rapprocher les données extérieures (météorologiques, énergétiques), les données issues du bâtiment (relatives aux équipements et aux matériaux) et celles qui concernent les habitants, leurs comportements et leurs usages. Tout cela dans le but de faire émerger des innovations ciblées.

Ensuite, se pose la question de l'impact environnemental du déploiement des projets d'IA. Il faut prendre conscience du surplus de consommation énergétique provoqué par la multiplication des objets connectés. Malgré les sources potentielles d'efficacité qu'elles offrent, les applications superflues, ne répondant pas à un besoin réel, doivent être évincées afin d'éviter le gaspillage d'énergie. L'IA doit aller de pair avec la transition énergétique en cours. Comme le suggère le groupe de travail RBR 2020-2050 dans sa note de mars 2018 « Bâtiment responsable et intelligence artificielle »<sup>3</sup>, il est impératif de diagnostiquer les impacts environnementaux de chaque innovation afin d'anticiper son coût énergétique. Dans le cas où les données sont mutualisées pour créer de meilleures synergies entre les usages et les différentes composantes du bâtiment, l'IA favorise les gains énergétiques. Il faut aussi parvenir à capter la chaleur des infrastructures numériques susceptibles d'en produire.

**Malgré les sources potentielles d'efficacité qu'elles offrent, les applications superflues, ne répondant pas à un besoin réel, doivent être évincées afin d'éviter le gaspillage d'énergie.**

Enfin, la filière du bâtiment est composée majoritairement d'acteurs organisés en TPE-PME. Dans un contexte fortement concurrentiel et fragmenté, nous devons identifier le détenteur des données et le type de données qu'il collecte. Les constructeurs comme les opérateurs du bâtiment doivent assurer la transparence du traitement des données auprès des tiers. Les risques de surveillance par le biais des objets connectés, qui pénètrent dans les habitations et s'y multiplient, sont importants, comme l'illustre le scandale récent du robot culinaire de Lidl, qui cachait un micro. Ainsi, le défi est de faire monter en gamme les équipements dans les foyers et les bâtiments professionnels, tout en préservant la liberté de l'habitant ou la souveraineté de l'entreprise. Finalement, ce progrès technologique ne peut être pensé sans sa dimension éthique, condamnant la surveillance des citoyens et préservant la vie privée de tous.

### Le bâtiment comme plateforme d'offres de services

Le second défi majeur est de penser le bâtiment comme une plateforme de services - *building as a service*. Pour cela, il faut parvenir à faire de l'IA le cerveau des bâtiments. En effet, un bâtiment est un agrégateur de services - santé (soins à domicile), seniors (séjours à domicile), transport (stationnement intelligent) -, qui nécessite la mutualisation des systèmes techniques et des données. Le grand défi réside dans la capacité à chaîner les services entre eux pour répondre à de nouvelles problématiques sociales. C'est le principe d'interopérabilité des systèmes dans le bâtiment, soit la faculté de communication et d'interaction entre objets connectés de différents types et fournisseurs.

Cet assemblage de services offre de nouvelles perspectives à la filière du bâtiment. Une telle dynamique nécessite d'accompagner l'ensemble des acteurs du secteur dans une transition numérique efficiente, avec des infrastructures numériques solides, une qualité optimale du réseau et une vraie stratégie de conduite du changement.

Premièrement, il faut s'inspirer des entreprises qui se sont emparées de l'IA dans leurs activités pour identifier les bonnes pratiques de leurs démarches. Puisque toute innovation est source d'incertitudes, le changement ne sera jamais radical. Les acteurs de la filière doivent favoriser les expérimentations au sein de leur structure, même si celle-ci est de petite taille.

Il est également nécessaire de décloisonner les systèmes en place afin de rendre les processus plus partagés entre les acteurs, ce qui représente sans

2. Chiffres 2018 de la FFB.

3. [www.planbatimentdurable.fr/IMG/doc/180320\\_rbr\\_batiment\\_responsable\\_et\\_intelligence\\_artificielle\\_soumise\\_a\\_consultation.doc](http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/doc/180320_rbr_batiment_responsable_et_intelligence_artificielle_soumise_a_consultation.doc).

doute le défi le plus important pour l'industrie très éclatée du bâtiment. Les expériences de ces dernières années autour du BIM doivent être encore améliorées pour pouvoir espérer que l'ensemble de la filière tire bénéfice de l'IA. Des actions de la stratégie portée par le ministère de l'Économie visent à encourager la mutualisation de données entre acteurs et sont particulièrement destinées à des filières comme celle du bâtiment.

***Les expériences de ces dernières années autour du BIM doivent être encore améliorées pour pouvoir espérer que l'ensemble de la filière tire bénéfice de l'IA.***

Enfin, l'écosystème français d'IA a un rôle à jouer pour créer des liens entre les universités, la recherche et les filières industrielles. C'est un des objectifs de la stratégie d'IA de rapprocher recherche

et applications industrielles pour donner une nouvelle dimension aux projets dans le bâtiment.

***Il faut déjà que le bâtiment consolide son écosystème d'acteurs traditionnels et innovants pour faire émerger les besoins des métiers et des utilisateurs.***

En d'autres termes, au-delà des conditions complexes du déploiement d'un projet d'IA dans une filière, il faut déjà que le bâtiment consolide son écosystème d'acteurs traditionnels et innovants pour faire émerger les besoins des métiers et des utilisateurs. Le développement de l'IA pourra répondre à ces besoins si une régulation de la donnée est mise en place pour développer des données massives utilisables par tous. Mais si la filière du bâtiment parvient à relever ces défis majeurs, cela pourrait bien être le prochain secteur à en profiter et à apporter les services de demain aux usagers. ●

# L'IA, une incitation à travailler mieux

**Alain  
Piquet**

Vice-président de la FFB<sup>1</sup>.



1. Alain Piquet a présidé le groupe de travail de la FFB sur l'IA. La mission a été menée du 10 octobre 2018 au 2 avril 2019.

Les mutations liées au numérique accélèrent sous les coups de boutoir de l'intelligence artificielle. Des études alarmistes insistent sur les potentielles destructions d'emplois. D'autres, plus enthousiastes, signalent de nouvelles opportunités. Sans nier les risques, la filière du bâtiment doit s'inscrire dans une perspective positive. De multiples applications transforment et améliorent les processus de production et de gestion du bâtiment. La transition numérique, bien menée, peut ancrer le secteur dans le XXI<sup>e</sup> siècle.

- *Tu as lu les livres que Francesca a chargés sur ton disque dur ?*
- *Affirmatif.*
- *Combien en as-tu avalé au total ?*
- *87 301, de « L'hôpital de campagne » publié en 1908, jusqu'à « Esclave de l'amour » sorti avant-hier.*
- *Tu crois que tu pourras me dresser un bref panorama du genre ?*
- *Bien sûr. En combien de mots ?*

*Antoine Bello, Ada<sup>2</sup>.*

**T**raiter un sujet sérieusement impose parfois des pas de côté. La littérature peut nous y aider. Le roman d'Antoine Bello dont est issue la citation d'ouverture décrit les aventures de Franck Logan, policier dans la Silicon Valley, chargé d'une enquête d'un nouveau genre : comprendre comment une intelligence artificielle (IA) a pu disparaître de la salle dans laquelle elle était enfermée. Programmée pour écrire des fictions à l'eau de rose, Ada se révèle bien plus étonnante que ce que ses concepteurs avaient imaginé. Elle semble presque consciente. Du moins la question se pose. Cet ouvrage interroge sur les usages de l'intelligence artificielle, l'éthique et le potentiel exponentiel d'apprentissage des machines. C'est sans doute la force majeure de l'IA : apprendre en un temps record et se nourrir perpétuellement afin d'améliorer des résultats ou des prévisions. Comme Ada, l'IA écrivaine, on voit aujourd'hui des IA compositrices de musique<sup>3</sup>

ou des IA peintres<sup>4</sup>. Mais en ce qui concerne le secteur du bâtiment, qu'en est-il ?

Afin d'appréhender et mettre en perspective ce vaste sujet, la Fédération Française du Bâtiment a élaboré un rapport<sup>5</sup>, fruit de six mois de travail et d'une trentaine d'auditions. À ce stade des connaissances et des développements, le document pose plus de questions qu'il n'apporte de réponses, mais il a le mérite de lister un certain nombre d'actions qui pourraient être améliorées grâce à « l'outil IA ».

***Sans brusquer, dans un secteur marqué par une forte hétérogénéité en ce qui concerne l'intégration des outils numériques, il est important que chacun prenne conscience des changements en cours.***

Sans brusquer, dans un secteur marqué par une forte hétérogénéité en ce qui concerne l'intégration des outils numériques, il est important que chacun prenne conscience des changements en cours avant qu'un autre acteur, que nous ne connaîtrions pas encore, impose une disruption plus forte. Cet article présente certaines pistes d'application de l'IA pour le bâtiment et décrit quelques exigences afin de se saisir de cette opportunité.

2. Gallimard, 2016.

3. « Intelligence artificielle et composition musicale : OpenAI présente MuseNet », Actua IA, 26 avril 2019 ([www.actuia.com/actualite/intelligence-artificielle-et-composition-musicale-openai-presente-musenet](http://www.actuia.com/actualite/intelligence-artificielle-et-composition-musicale-openai-presente-musenet)).

4. « Une toile créée par logiciel adjugée 432 500 dollars chez Christie's à New York », *le Figaro*, 26 octobre 2018 ([www.lefigaro.fr/culture/encheres/2018/10/26/03016-20181026ARTFIG00117-une-toile-creee-par-logiciel-adjugee-432500-dollars-chez-christie-s-a-new-york.php](http://www.lefigaro.fr/culture/encheres/2018/10/26/03016-20181026ARTFIG00117-une-toile-creee-par-logiciel-adjugee-432500-dollars-chez-christie-s-a-new-york.php)).

5. « Intelligence artificielle et bâtiment. Comprendre, anticiper et agir : des opportunités pour la profession », FFB, avril 2019 ([www.ffbatiment.fr/federation-francaise-du-batiment/le-batiment-et-vous/entreprises/intelligence-artificielle.html](http://www.ffbatiment.fr/federation-francaise-du-batiment/le-batiment-et-vous/entreprises/intelligence-artificielle.html)).



## « L'outil IA » pour le bâtiment : des pistes d'application concrètes

L'IA constitue un outil. À vrai dire, l'expression « intelligence artificielle » relève de l'abus de langage, d'une part parce que la machine n'est pas intelligente par elle-même (et ce ne sera pas le cas avant longtemps !), d'autre part, parce qu'en réalité l'outil permet d'augmenter notre capacité à faire. On devrait plutôt parler d'intelligence « augmentée ». Il faut donc dépasser la vision anxieuse que le terme génère. Certes, son potentiel se révèle puissamment transformateur, mais l'IA ne reste qu'une technologie au service d'objectifs<sup>6</sup>.

La liste qui suit, volontairement sélective, met en lumière de manière concrète des tâches dont la réa- lisation pourrait très probablement être accompa- gnée par de l'IA à moyen terme.

En matière de conception par exemple, on imagine la capacité à développer des simulations à partir de données préimplantées ou issues de précé- dents chantiers, en intégrant les contraintes règle- mentaires ainsi que des éléments sur les sols et sous-sols. Ces études en amont faciliteraient les chiffrages, les devis et l'intégration partagée des besoins des clients.

Les potentiels ouverts, d'ores et déjà avec le BIM (*building information modeling*), viennent claire- ment bousculer les pratiques, en particulier dans le champ des interfaces entre corps d'état. S'imposent de la sorte des approches nouvelles, ou plus struc- turées, dans des démarches de prédiction, d'aide à la décision basée sur des retours d'expérience ou d'analyses plus fines grâce également à des doubles virtuels du bâtiment à construire ou à rénover. Le jour où l'on disposera de données en nombre suf- fisant et où l'on sera en capacité d'analyser les sinistres, l'objectif sera de mieux maîtriser ou d'anti- ciper les aléas et risques de chantiers (météo, bud- gets, défaillances de fournisseurs, etc.).

Des drones, équipés de capteurs entraînés avec des milliers ou des millions de photos, pourraient permettre de repérer des malfaçons en cours de chantier ou de suivre à distance la progression des ouvrages en pointant des signaux faibles.

Des sociétés développent actuellement des outils basés sur la reconnaissance visuelle, pour repé- rer les types de déchets. On y voit une application

concrète pour notre secteur : dans un premier temps faciliter la gestion du tri sur les chantiers, et dans un second temps établir des prévisions sur les volumes de déchets à traiter.

Certains prédisent que les manuels en papier vont disparaître et que les outils de reconnaissance vocale permettront de traiter une question *via* une interface orale. Tout comme les comptes rendus de chantier pourront être rédigés en direct et sans faute d'orthographe !

On peut également illustrer les usages de l'IA en matière d'amélioration de la prévention des risques pour les compagnons. On voit se développer des casques ou des chaussures équipés de puces entraî- nées grâce à de l'IA. Ces matériels permettraient d'alerter si un salarié fait un mauvais geste ou si un travailleur isolé fait une chute.

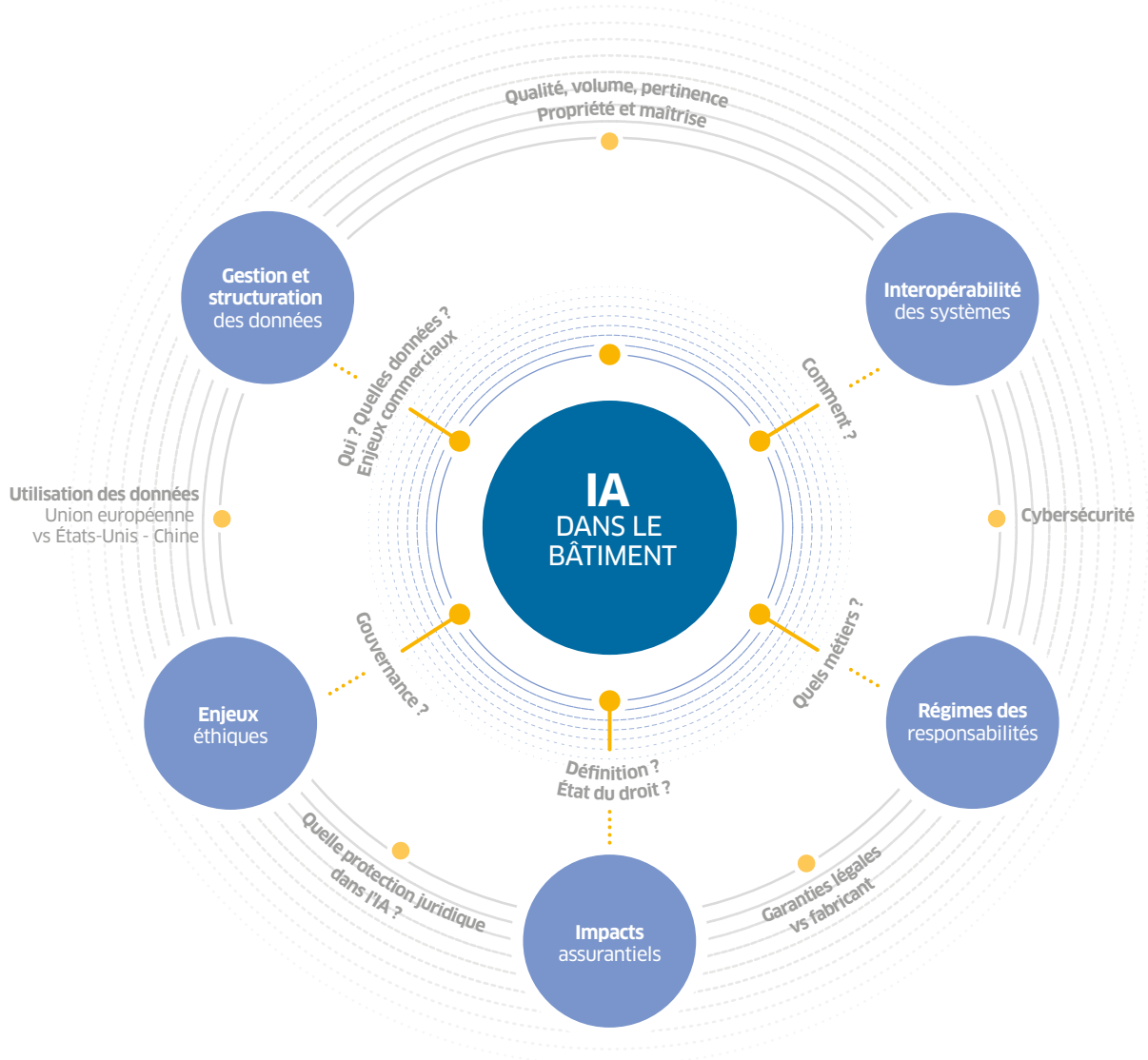
### **Une autre application majeure concerne les objectifs en matière de transition écologique, grâce à l'optimisation de la gestion des ressources et des énergies.**

Une autre application majeure concerne les objectifs en matière de transition écologique, grâce à l'opti- misation de la gestion des ressources (eau, air) et des énergies (gaz, fioul, bois, charbon, vapeur, électri- cité, énergies renouvelables).

Il faut toutefois insister sur un point révélateur des questions qui sont encore devant nous. Pre- nons l'exemple d'une grand-mère vivant dans un Ehpad, un établissement très moderne, dans lequel l'ampoule de la chambre est connectée, comme la serrure, l'interrupteur, le thermostat, la moquette et à qui la fille a offert une montre connectée. On imagine le nombre de moyens mis en place (et nous en oublions sans doute) pour répondre au même objectif : alerter au cas où la grand-mère aurait un malaise et chuterait. La problématique est double. Il s'agit, d'abord, de distinguer lequel de ces outils sera le plus efficace. Mais comment faire le tri ? Il s'agit ensuite de savoir raison garder, en termes environ- nementaux notamment. La multiplication des cap- teurs a en effet un impact défavorable sur le bilan carbone. Ce défi apparaît majeur.

6. On ne parle ici que d'IA « faible », c'est-à-dire mise en œuvre sans créer une quelconque forme de conscience. Elle s'oppose à l'IA « forte » qui viserait à reproduire des sentiments et qui serait potentiellement consciente d'elle-même et du monde.

# Les défis de l'IA



Comme nous ne pouvons pas tout évoquer ici, nous passons rapidement sur les usages en matière de marketing et d'appréhension des besoins des clients ainsi que dans le domaine du recrutement et des compétences.

**Comme pour tout outil, il s'agit de n'utiliser l'IA que quand elle est nécessaire, c'est-à-dire lorsqu'elle est mise au service d'un projet et en fonction du retour sur investissement attendu.**

Derrière toutes ces applications possibles, c'est l'amélioration des marges et de la productivité du secteur qui est visée. Bien entendu, comme pour tout outil, il s'agit de n'utiliser l'IA que quand elle est nécessaire, c'est-à-dire lorsqu'elle est mise au service d'un projet et en fonction du retour sur investissement attendu.

Il ressort globalement de tous ces nouveaux outils et de toutes ces perspectives que l'outil IA, s'il va à son terme, conduira à une interpénétration et une forme de continuum entre la fourniture-réalisation des travaux et l'offre de services. La transformation de la chaîne de valeur se fera par l'aval, c'est-à-dire par les usages et les besoins des clients. L'IA pousse au décloisonnement et à la transversalité.

## Des exigences préalables pour le secteur

L'IA va imprégner l'ensemble de la profession et le produit même qu'est le bâtiment. Cependant, trois préalables au moins apparaissent fondamentaux pour réussir l'acculturation et la mutation.

Le premier de ces préalables relève de la formation. Bien entendu – et toutes les branches d'activité sont concernées – la formation initiale doit intégrer ces nouveaux enjeux. Mais, dans un secteur comptant 1,1 million de salariés, la formation continue constitue un défi. Comment accompagner et faciliter l'usage de ces nouveaux outils ? Certains évoquent, à juste titre, les enjeux liés à l'illectronisme. Assurément, il s'agira de ne laisser personne au bord du chemin.

***Certains évoquent, à juste titre, les enjeux liés à l'illectronisme. Assurément, il s'agira de ne laisser personne au bord du chemin.***

Le deuxième préalable concerne la production et la maîtrise des données. De nombreuses questions se posent en matière de structuration des données, de partage (qui fait quoi, jusqu'où et pour qui ?), de responsabilités et de cybersécurité. Très éclaté en termes de métiers et de types de structures, le secteur doit être en capacité de s'organiser, d'autant que des technologies comme la *blockchain* vont bousculer les rapports de transaction et de consommation. Évidemment, chacun veut garder ses données, considérant qu'il s'agit d'un bien précieux. Le risque est alors de voir émerger des acteurs qui ne relèvent pas du secteur, comme Airbnb et Booking.com ont transformé le monde de l'hôtellerie. Il pourrait s'agir d'un ensemble réussissant à capter de nombreuses données, comme des éditeurs de logiciels ou des vendeurs de capteurs intervenant sur toute la chaîne du bâtiment. On peut faire le parallèle avec le nouveau rôle d'ensemblier de la SNCF, l'objectif étant d'aller d'un point A à un point B, peu importe le mode de transport. Le train, le taxi, le covoiturage, la voiture individuelle demeurent bien entendu des éléments de la chaîne. Mais c'est le service global apporté qui va compter demain.

***Le risque est alors de voir émerger des acteurs qui ne relèvent pas du secteur, comme Airbnb et Booking.com ont transformé le monde de l'hôtellerie.***

Faut-il rappeler qu'en 2018, les travaux de bâtiment représentaient 140 milliards d'euros et que le marché peut paraître juteux ? La mutualisation des données constitue un chantier juridique et économique énorme à mener, de manière transversale avec les métiers. Des garde-fous seront, par ailleurs, nécessaires en matière éthique. C'est notamment sur ce champ que l'Union européenne se positionne. Les biais liés au fait que les outils sont entraînés sur des données passées peuvent entretenir des discriminations. Si l'on voulait positiver, on pourrait ajouter qu'au moins cela permet de mettre en lumière des pratiques et de les modifier.

Le troisième préalable est plus culturel. Il s'agit de faire preuve d'une grande capacité de changement en matière d'organisation, pas uniquement au sein de chaque entreprise du bâtiment, mais sans doute au niveau de toute la filière. On parle beaucoup des *smart buildings* et des *smart cities* pour lesquels le bâtiment a un rôle central à jouer. Il faut néanmoins garder en tête qu'en matière de logement, en moyenne, seul 1 % du parc est construit chaque année. Les nouveaux écoquartiers ne doivent pas faire oublier le stock.

***On parle beaucoup des smart buildings et des smart cities pour lesquels le bâtiment a un rôle central à jouer. Il faut néanmoins garder en tête qu'en matière de logement, en moyenne, seul 1 % du parc est construit chaque année.***

Ces préalables constituent autant de chantiers à mener. L'IA et, de façon plus large, la transition numérique à laquelle le secteur est confronté, constituent des points d'appui majeur au changement d'image de la profession, malheureusement encore loin de l'innovation dans l'esprit de certains observateurs. Pourtant, le potentiel offert par ces mutations ne peut que constituer un atout pour attirer de nouveaux talents et montrer que le secteur du bâtiment offre des opportunités tout à fait en phase avec le XXI<sup>e</sup> siècle.

Reste toutefois un préalable non cité mais qui va de soi. Tout cela ne sera possible que si l'infrastructure réseau est de qualité sur l'ensemble du territoire. Les entrepreneurs et artisans du bâtiment, présents partout, du monde rural aux métropoles, ne pourront mettre en œuvre ces outils que si la couverture en Internet à très haut débit le permet.

En conclusion, le travail mené n'est que le premier pas d'un long chemin qui s'ouvre et va nécessiter de faire de la pédagogie.

***Le potentiel offert par ces mutations ne peut que constituer un atout pour attirer de nouveaux talents et montrer que le secteur du bâtiment offre des opportunités tout à fait en phase avec le XXI<sup>e</sup> siècle.***

La FFB a en conséquence décidé d'une feuille de route selon trois axes : 1. la mise en place d'une veille active sur l'IA, vu les informations quasi quotidiennes sur le sujet et la nécessité d'observer les start-up ou entreprises qui se créent ; 2. la volonté de nouer des partenariats avec les grandes écoles et universités ainsi qu'avec le monde de la recherche, parfois éloignés des préoccupations du secteur ; 3. la mise en œuvre d'expérimentations qui permettront de se confronter aux freins mais également aux potentiels offerts par l'IA. ●



# Tous les deux mois, la revue *Futuribles* propose un décryptage des grands enjeux d'avenir



La revue de prospective *Futuribles* contient des dossiers sur les grands défis du monde contemporain, des analyses des tendances émergentes, une chronique sur l'avenir de l'Europe, une rubrique bibliographique.

## Trois bonnes raisons de s'abonner :

- 1 Lisez et soutenez une revue indépendante
- 2 Ne ratez plus aucun numéro
- 3 Profitez des meilleurs tarifs

www.futuribles.com

## BULLETIN D'ABONNEMENT

Cochez la formule de votre choix et retournez ce bulletin à :

Futuribles • 47, rue de Babylone FR-75007 Paris • Tél. 33 (0)1 53 63 37 70 • [diffusion@futuribles.com](mailto:diffusion@futuribles.com)

### Abonnement papier

- 1 an / 6 numéros 115 €
- 1 an / enseignants, étudiants 58 €  
(sur justificatif)

### Abonnement Web, 1 an

6 numéros par an + accès aux archives depuis 1975  
 225 € 1 à 10 postes (au-delà sur devis)

### Pack Revue + Web, 1 an

1 abonnement papier + 1 abonnement électronique  
 280 €

### Règlement de la somme de \_\_\_\_\_ € par

- chèque à l'ordre de Futuribles SARL
- Visa  American Express

N° \_\_\_\_\_

Exp. fin \_\_\_\_\_ Cryptogramme \_\_\_\_\_

Virement : CIC PARIS BAC

IBAN : FR76-3006-6100-4100-0105-7380-116

BIC : CMCIFRPP

Date :

Signature :

Nom \_\_\_\_\_

Société \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

Pays \_\_\_\_\_

Tél. \_\_\_\_\_

E-mail \_\_\_\_\_

Tarifs valables pour tous les pays jusqu'au 31/12/2019



# Les auteurs de *Constructif*



- A.** Marc Abèlès - Jean-Philippe Acensi - Gérard Adam - Michel Aglietta - Christophe Aguiton - Hippolyte d'Albis - Alain Albizati - Jean-Louis Albizati - Howard Aldrich - Laurent Alexandre - Carol Allain - Guillaume Allègre - Luc Alloin - Mohed Altrad - Jean-François Amadiou - Frédérique Amaoua - Jean-Marc Ambrosini - Christophe André - Fanny Anor - Paul-Henri Antonmattei - Benoist Apparu - Jacques Arnould - Nicolas Arpagian - Jean-Pierre Arrignon - Luc Arrondel - Jean Arthuis - François Ascher - Gérard Aschieri - Philippe Askenazy - François Asselin - Pascal Asselin - Henri Atlan - Jacques Attali - Loïc Aubrée - Antoine d'Autume - Jean-Marc Ayrault - Georges Azouze.
- B.** André Babeau - Olivier Babeau - Christophe Babinet - Christian Babusiaux - Franck Badaire - Dominique Baert - Christian Baffy - Georges Balandier - Bob Baldwin - Aydemir Balkan - Jean-Pierre Balligand - Francesco Bandarin - Ludivine Bantigny - Isabelle Baraud-Serfaty - Pascal Barbier - Dominique Barella - Jacques Barraux - Isabelle Barth - Nicolas Barthe - Jacques Barthélémy - Édouard Bastien - Charles de Batz - Franck Baudino - Thomas Bauer - Philippe Baumard - Patrick Bayle - Alain Bazot - Claire Bazy-Malaurie - Jean-Claude Beacco - Jean-Pierre Beaudoin - Alain Beaujard - Jean-Léon Beauvois - Alain Béchade - Ulrich Beck - Catherine Becquelin - Valérie Becquet - Charles Beigbeder - Christian Béliçon - Edwige Belliard - Sandrine Benaïm - Francine Benguigui - Taoufik Ben Mabrouk - Jean-Louis Benoît - Fouad Benseddik - Alain Bentolila - Pervenche Beres - Karine Berger - Jean Bergougnoux - Vincent Berjot - Guy Bernfeld - Jean-Michel Besnier - Bernard Besson - Jean-Claude Besson-Girard - Jean-Paul Betbèze - Jacques Bethemont - Alain Bethfort - Xavier Beulin - Didier Bezace - Pierre Bezbakh - Jean-Luc Biacabe - Dominique Bidou - Bernard Bigot - Régis Bigot - Harrie Bijen - Philippe Bilger - Nicolas Binet - Jean-Yves Bion - Frédéric Bizard - Alain Blanc - Christian Blanc - Éric Blanc - Didier Blanchet - David Blanchon - Frédéric de Blay - Jean-Paul Bled - Alain Bloch - Philippe Bloch - Christophe Blot - Nathalie Blum - Dominique Bockelée-Morvan - Trevor Boddy - Lennart Bodén - Sophie Body-Gendrot - Thierry Bogaert - Jean-Joseph Boillot - Gérard de Boisboissel - Jean-Pierre Boisvion - Sophie Boissard - Christian de Boissieu - Bernard Bonne - Frédéric Bonnet - Laure Bonneval - Catherine Bonvalet - Jean-Louis Borloo - Serge Bosc - Franck Bouaziz - Patrick Boucheron - Charles-Édouard Bouée - Daoud Boughezala - Daniel Bougnoux - Nicolas Bouillant - Gérard Boulanger - Nicolas Bourcier - Dominique Bourg - Isabelle Bourgeois - Nicolas Bourriaud - Yamini Bourriaud-Kumar - Jean-Michel Boussemart - Sophie Boutillier - Christine Boutin - Laurent-Olivier Bouttier - Gilles Bouvelot - Nicolas Bouzou - Louafi Bouzouina - Antoine Bozio - Laetitia Brabant-Delanoy - Éric Brangier - Philippe Braud - Alice de Brauer - Raphaël Brault - Jacques Brégeon - Hubert Bresson - Vincent de Briant - Sophie Brindel-Beth - Nathalie Brion - Christian Brodhag - Gabriel de Broglie - Camille Brouard - Jean Brousse - Jacques-Philippe Broux - Pascal Bruckner - Jean-René Brunetière - Nicolas Buchoud - François Buelens - Dinu Bumbaru - André Burguière.
- C.** Dominique de Calan - Monique Canto-Sperber - Christophe Capuano - Frédéric Caramello - Bernard Carayon - Xavier Carcelle - Catherine Carely - Catherine Carré - Nathalie Carré - Olivier Carré - Marie-Claire Carrère-Gée - Fred Cartmel - Pierre Caspar - Jean-Laurent Cassely - Jean-Charles Castel - Jean-Paul Caudal - Claude Cazalot - Korsak Chairasmisak - Thierry Chambolle - Florent Champy - Lucas Chancel - Jacques Chanut - Francis Charhon - Éric Charnes - Yves Charpenel - François Charpentier - Jean-Michel Charpin - Christian Charpy - Philippe Chartier - Richard B. Chase - Frédéric Chassagne - Bertrand Château - Alain Chatriot - Aymeric Chauprade - Jean Chaussade - Christian Chavagneux - Pierre Chemillier - Régis Chemouny - Florence Chérel - Jean-Claude Chesnais - Jean-Marie Chevalier - Anne Cheyvialle - Mathias Chichportich - Yazid Chir - Arnaud Chneiweiss - Thierry Chopin - Vincenzo Cicchelli - Éric Clairefond - Bernard Claverie - Philippe Clerc - Christian Cléret - Jean-Arnold de Clermont - Christian Cochet - Mariella Colin

- C.** David Colle - Gérard Collomb - Bernard Coloos - Jean-François Colosimo - Emmanuel Combe - André Comte-Sponville - Serge Contat - Jean-François Copé - Christine Corbille - Stéphane Corbin - Gérard Cornilleau - Didier Cossin - Jean-Marie Cotteret - Brice Couturier - Carole Couvert - Étienne Crepon - Jacques Creyssel - Yves Crozet - Serge Cunin - Pierre-Yves Cusset.
- D.** Catherine Dabadie - Olivier Dabène - Anna Cristina D'Addio - Éric Dadian - Xavier Dalloz - Jean-Jacques Damlamian - Julien Damon - Didier Danet - Jean-Marc Daniel - Jean-Pierre Daniel - Philippe Danjou - Maurice G. Dantec - Philippe Dard - Carlos da Silva - Yves Dauge - Nicolas Daumont - Pierre Davezac - Laurent Davezies - Valérie David - Étienne Davignon - Didier Davydoff - Michèle Debonneuil - Olivier Debouzy - Catherine Delacour - Éric Delbecque - Bertrand Delcambre - Jean-Paul Delevoye - Élisabeth Delorme - Claire Delpech - Jacques Delpla - Claude Delpoux - Jean Delsey - Pierre Delval - François Demarcq - Geert Demuijnck - Éric Denécé - Eudoxe Denis - Suzanne Déoux - Dominique Deprins - Richard Descoings - Christine Desmoulins - Vincent Desportes - Jean-François Despoux - Benjamin Dessus - Denis Dessus - Bernard Devert - Philippe Dewost - Pascal Dibie - Michel Didier - Jochen Diekmann - Jean-Louis Di Giovanni - Marie-Laure Dimon - Jean-Luc Domenach - Arnaud Dotézac - Henri Dou - Yann Doublier - Hubert Doubre - Sean Dougherty - Patrick Doutreligne - Michel Drancourt - Jean-Claude Driant - Michel Droin - Georges Drouin - Cécile Dublanche - Albert Dubler - Pierre Dubois - Sophie Dubuisson-Quellier - Patrick Duchâteau - Bruno Ducoudré - Cécile Dufлот - Christian Dufour - Marc Dufumier - Alain Duhamel - Éveline Duhamel - Gérard-François Dumont - Élisabeth Dupoirier - Alain Dupont - Veronika Duprat-Kushtanina - Guilhem Dupuy - Vincent Dusseaux - Olivier Dussopt - Renaud Dutreil.
- E.** Christian Eckert - Frédéric Edelman - Emmanuel Edou - Steven Ekevich - Hakim El Karoui - Myriam El Khomri - Michel Eltchaninoff - Xavier Emmanuelli - Sandra Enlart - Dominik H. Enste - Christophe Eschlimann - Emile Esposito - Philippe Estingoy - Alain Etchegoyen - François Euve - François Ewald - Theresa Eyerund - Philippe Eymery - Olivier Ezratty.
- F.** Kamil Fadel - Isabelle Falque-Pierrotin - Patrick Fauconnier - Benoît Faure-Jarrosso - Olivier Favereau - Pierre Fayard - Jacques Fayette - Alain Fayolle - Bernard Fernandez - Denis Ferrand - Benjamin Ferras - Javier Ferrer Dufol - Patrick Ferrère - Luc Ferry - Patrick Festy - Maxime Filandrov - Alain Finkielkraut - Jean-Paul Fitoussi - Xavier Fontanet - Jean-Louis Fonvillars - Christian Forestier - Bruno Fortier - Aurélien Fortin - Martial Foucault - Michel Foucher - Robert Fouchet - André Fourcans - Éliane Fourgeau - Stefan Fraenkel - Alain Franchi - Ludovic François - Patrick de Fréminet - Lawrence M. Friedman - Jean-Louis Frot - Andy Furlong.
- G.** Charles Gadea - Jean Gadrey - Serge Galam - Franck Galland - Camal Gallouj - Jacques-Henri Garban - Chiara Gariazzo - Jean Garrigues - José Gascon - Pierre Gattaz - Marcel Gauchet - Pascal Gauchon - Denis Gautier-Sauvagnac - Romain Geiss - François Gemenne - Jacques Généreux - Wouter van Gent - Patrice Geoffron - Susan George - Benoît Georges - Maryvonne Gérin - Olaf Gersemann - Alain Gest - Laurent Ghekière - Thami Ghorfi - Guy Gilbert - Jean-Patrick Gille - Pauline Girardot-Buffard - Christophe Giraud - Jean-Marie Giret - Jean-Dominique Giuliani - Jean de Gliniasty - André Glucksmann - Olivier Godard - Michel Godet - Olivier Godet - Valérie Gomez-Bassac - Michel Gostoli - Sylvie Goulard - Bernard de Gouvello - François Goven - Sylvie Grando - Jean-Jacques Granelle - Claude Greff - Élisabeth Grosdhomme - Alfred Grosser - Emiliano Grossman - Guillaume Gruère - Jérôme Guedj - Michel Guénaire - Pascal Guénée - Serge Guérin - Claire Guidi - Xavier Guilhou - Michel de Guillenchmidt - Jean-François Guillot - Christophe Guilluy - Michel Guisembert.
- H.** Raphaël Hadas-Lebel - Michael Haddock - Claude Hagège - Cliff Hague - David Halabisky - Gérard Hamel - Leslie Hannah - Christian Harbulot - Laurence Hartmann - Jürgen Hartwig - Guy Hascoët - Pierre Hassner - Rainier d'Haussonville - Paul-Christian Hautecler - Serge Hefez - Nathalie Heinich - Laurence Herbeaux - Régis Herbin - Véronique Hertrich - Michel Hervé - Philippe Herzog - Sandra Hoibian - Jean-Yves Hocquet - Andrea-Rosalinde Hofer - Jacques Hogard - Dominique Hoorens - Renate Hornung-Draus - Jean-Charles Hourcade - Danuta Hubner - Patrice Huerre - Bernard Hugonnier - Jean-Paul Hugot - Jean-Marc Huissoud - François Hurel - François-Bernard Huyghe.
- I.** Monique Iborra - Theodor Ickler - Didier Intes - Alain d'Iribarne - Olivier Itéanu.
- J.** Tim Jackson - Denis Jacquat - Nicolas Jacquet - Alain Jacquot - Yannick Jadot - Christophe Jaffrelot - François Jakobiak - Jacques Jeanteur - François Jeger - Cécile Jolas - Claude Jolly - Hubert Joly - Évelyne Joslain - Gaston Jouffroy - Thierry Jousse - Hugues de Jouvenel - Jean Jouzel - Alain Juillet - François Jullien - Philippe Jung - Alain Juppé - Philippe Jurgensen - Hervé Juvin.
- K.** Sylvain Kahn - Arnaud Kalika - André Kaspi - Gildas de Kerhalic - Jean de Kervasdoué - Thomas Kirszbaum - Théo Klein - Djamel Klouche - Gaspard Koenig - Annie Krieger - Grégory Kron - Krynicki - Christophe Kullman.



- L.** Daniel Labetoulle - Anne Lacaton - Frédéric Lacave - Sylvain Laclias - Fabrice Lacombe - Gérard Lacoste - Yves Lacoste - Alexandre Lacroix - Cécile Ladjali - Yves Laffoucrière - Sylvain Lafrance - Éric Lagandré - Ali Laïdi - Zaki Laïdi - Jacques Lair - Gérard Laizé - Alain Lamassoure - Alain Lambert - Jean-Clarence Lambert - Élisabeth Lambert-Abdelgawad - Patrick de La Morvonnais - Eneko Landaburu - Olivier Landel - Frédéric Landy - Jack Lang - Simon Langlois - Éric Lapière - Bernard Laponche - Fabrice Larceneux - René Lasserre - Serge Latouche - Martin Lauquin - Albert Lautman - Richard Lavergne - Élisabeth Laville - Jean-Paul Lebas - Daniel Lebègue - Gilles Le Blanc - Hervé Le Bras - Armel Le Compagnon - Yann LeCun - Thomas Le Gac - Jean-Yves Le Gall - Alain Le Gentil - Patrick Légeron - Jacques Le Goff - Jean-François Le Grand - Edwin Le Héron - Jean-Michel Le Masson - Georges Le Noane - Emmanuel Le Roy Ladurie - Véronique Le Ru - Hervé Le Treut - Daniel Lebègue - Bernard Leblanc-Halmos - Séverine Lèbre-Badré - Arnaud Lechevalier - Gilles Lecointre - Dominique Lecourt - Alain Lefebvre - Benoît Lefèvre - Christian Lefèvre - Jean-Michel Lefèvre - Florence Legros - Daniel Lehmann - Jean-Michel Le Masson - Claire Lercier - Emmanuel Lemieux - Bertrand Lemoine - Françoise Lemoine - Philippe Lemoine - Noëlle Lenoir - Corinne Lepage - Christian Lequesne - Philippe Le Roux - Michel Lesage - Didier Leschi - Jean-Noël Lesellier - Jean-Daniel Lévy - Thérèse de Liedekerke - Marie-Noëlle Lienemann - Alain Lipietz - Didier Livio - Ana Llana-Nozal - Hans-Hartwig Loewenstein - Albert Longchamp - Marie-Coline Lopez - Eduardo Lopez Moreno - Solveg Loretz - Pascal Lorot - Jacques Lorthioir - Jacques Lucan - Bruno Lucas - Egidio Luis Miotti - Michel Lussault.
- M.** Aifang Ma - Adrian Macey - Myriam Maestroni - Michel Maffesoli - Jean Louis Magakian - Selma Mahfouz - Joseph Maïla - Jean de Maillard - Olivier de Maison Rouge - Hervé de Maistre - André Malicot - Alexandre Mallard - Thierry Mallet - Jacques Manardo - Maurice Manceau - Denis Mancosu - Claude Mandil - Thierry Mandon - David Mangin - Alberto Manguel - Roger Maquaire - Christian Marbach - Richard Marceau - Philippe Marcel - Julien Marchal - Pascal Marchand - Michel Marchesnay - André Marcon - Jean-Paul Maréchal - Françoise Marion - Jacques Marseille - Yves-Michel Marti - Jean-Louis Martin - Manuela Martini - Guy Marty - Bernard Masingue - André Masson - Hervé Mathe - Thierry Mathé - Catherine Mathieu - Tristan Mathieu - Alain Maugard - Louis Maurin - Pierre Mayeur - Fabrice Mazerolle - François de Mazières - Neil McGarvey - Philippe Méhaut - Anne-Claire Méjean-Vaucher - Alexandre Melnik - David Ménascé - Yves Mény - Georges Mercadal - Gérard Mermet - Norbert Métairie - Laurent Meunier - Yves Michaud - Michel Micheau - Nicolas Michelin - Jérôme Michon - Didier Migaud - Dominique Mignot - Franck Mikula - Marc Milet - Philippe Minard - Dom Hugues Minguet - Nicolas Minvielle - François Miquet-Marty - Jacques Mistral - Philippe Moati - Nicolas Moinet - François Moisan - Dominique Moïsi - Christophe Montcerisier - Gérard Moreau - Yannick Morin - Florence Morgiensztern - Edgar Morin - Yannick Morin - Michel Mouillart - François Moutot - Gérard Moyse - Denis Muzet.
- N.** Hervé Naerhuysen - Muriel Nahmias - Natalia Narotchnitskaïa - Jean-Yves Naudet - Emmanuelle Nauze-Fichet - Charlotte Nessi - Colette Neuville - Flavien Neuvy - Denys Neymon - Jacques Nikonoff - Vincent Noce - Christine Noiville - Dominique Nora - Pierre Nora - Lars Nordgren - Peggy Nordmann - Xavier North - Nicole Notat - Gilles Nourissier - Jean-Paul Noury.
- O.** Tom O'Dell - Christian Odendahl - Lucie Odent - Michel Offerlé - Ruwen Ogien - Emmanuel Olivier - Jean-Pierre Orfeuill - Florent Orsoni - Carlo Ossola - Jacques Oudin - Robert Oulds.
- P.** Ulrich Paetzold - Bertrand Pailhès - Jean Pailleux - René Pallincourt - Quentin Panissod - Alain Papaux - Thierry Paquot - Laurence Parisot - Laetitia Passot - Olivier Pastré - Rémy Pautrat - Vincent Pavanello - Xavier Pavie - Nicolai Pavlovitch Kochman - Gérard Payen - Thierry Pech - Josep Maria Pelegrí - Philippe Pelletier - Muriel Pénicaud - Fabienne Péraldi-Leneuf - Jacques Percebois - Patrick Peretti-Watel - Pierre-André Périssol - François Perrault - Jean-Claude Perreau - Bernard Perret - Constance Perrin-Joly - Nicolas Perruchot - Jean-Pierre Petit - Jean-Marie Petitclerc - Bernard Petitjean - Camille Peugny - Jean-Marc Peyrical - Jacques Pfister - Évelyne Pichenot - Pascal Picq - Alain Piquet - Jérôme Pierrat - Marc Pigeon - Dominique Piotet - Michel Piron - Olivier Piron - Olivier Pironet - Francis Pisani - Jean Pisani-Ferry - Jean-Robert Pitte - Jean-Pierre Plancade - Sophie Pochic - Guillaume Poitrinal - Henri Poncet - Noël Pons - Guy Poquet - Hugues Portelli - David Portes - Pascal Portier - André-Yves Portnoff - Brigitte Pousseur - Aurélien Preud'homme - Thierry Priestley - France Prioux - Denise Pumain - François Pupponi - Iryna Pylypchuk.
- Q.** Jean-Claude Quentin - Bernard Quintreau.
- R.** Christophe Radé - Jack Ralite - Éric Rambaud - André Ramos - Paul Ramos - Thomas Rapp - Xavier Raufer - Philippe Raynaud - Olivier Razemon - Jean-Jacques Rechenmann - Roland Recht - Dominique Redor - Barbara Reduch-Widelska - Olli Rehn - Bernard Reichen - Romain Remaud - Frédéric Remond - Philippe Remy - Mary-Françoise Renard - Vincent Renard - Cécile Renouard - Thierry Repentin - Raphaëlle Rérolle - Claude Revel - Joël Rey - Aymon de Reydellet - Rudy

- R.** Ricciotti - Jacques Richard - Didier Ridoret - Georges Rigaud - Jacques Rigaud - Stéphanie Riou - Pierre Rivard - Michèle Rivasi - Robin Rivaton - Jean-Pierre Rive - Christophe Robert - Richard - Robert - Jean-Yves Robin - Yves Robin - Jean-Pierre Roche - Max Roche - Robert Rochefort - Agnès Rochefort-Turquin - Claude Rochet - Charles Rojzman - Bruno Rondet - Fabien Roques - Pierre Rosanvallon - Nathalie Roseau Jean-Yves Rossi - Valérie Rosso-Debord - Bernard Roth - Luc Rouban - Jean-François Roubaud - Luc Rouge - François Rougnon - Michel Rousseau - Denis Roux - Jean-Michel Roux - Xavier de Roux - Jean-François Roverato - Pierre Royer - Édouard de Royère - Céline Rozenblat - Jean-Yves Ruaux - Xavier Ruaux - Simon Rubinsohn - Andreas Rüdinger.
- S.** Tokia Saïfi - Frédéric Saint-Geours - Ghassan Salamé - Frère Samuel - Bernard Sananès - Thierry Sanjuan - Philippe Sanson - Michel Sapin - Jacques Sapir - Jean-Paul Sardon - Dominique de Sauza - Patrick Savidan - Jean-Louis Schilansky - Philippe Schleiter - Laus-Peter Schmid - Philippe Schmit - Michel Schneider - Daniel Schraad-Tischler - Christian Schubert - François Schuiten - Raymond Sené - Jean-Louis Serre - Anjali Shanker - Olivier Sidler - Irina Sidorova - Denis Sieffert - Patrick Simon - Pierre Simon - David Simmonet - Alain Sionneau - John D. Skrentny - Hugo Soutra - Anne Souvira - Frédéric Speziale - Michel Spiro - Bernard Spitz - Fabien Squinazi - Étienne St-Jean - Guy Standing - Ted Stanger - François Stasse - Henri Sterdyniak - Christian Stoffaës - Nicolas Stoop - Vaclav Stransky - Bernard Strauss - Michael Stürmer - Romain Su - Alain Surrans - Rémi Sussan.
- T.** Benoîte Taffin - Claude Taffin - Alexandre Taithe - Roger Talbot - Paul-André Tavoillot - Pierre-Henri Tavoillot - Viviane Tchernonog - Bruno Teboul - Brice Teinturier - David Teller - Thibault Tellier - Pascal Terrasse - Bruno Tertrais - Sylvain Tesson - Jacques Testart - Frédéric Teulon - Shashi Tharoor - Claude Thélot - Bernard Théobald - Hervé Théry - Irène Théry - Maurice Thévenet - Erell Thévenon-Poullennec - Jacques Theys - Patrick Thiébart - Frédéric Tiberghien - Xavier Timbeau - Serge Tisseron - André Torre - Marcel Torrents - Olivier Torres - Marc Touati - Patricia Toucas-Truyen - Philippe Tourtelier - Jean-Philippe Toussaint - Jean-Paul Tran Thiet - René Trégouët - Frank Trentmann - Marie Treps - Michèle Tribalat - Laurence Tubiana - Jean Tulard.
- V.** Hélène Valade - Philippe Valletoux - Martine Valo - Philippe Van de Maele - Cécile Van de Velde - Peter van der Knaap - Roger Vandomme - Hugues Vanel - Wouter van Gent - Jean Vanoye - Jean-Philippe Vassal - Thierry Vedel - Mechthild Veil - Elkin Velásquez - Pierre Veltz - Agnès Verdier-Molinié - François Vergnolle de Chantal - Pierre Verluise - Daniel Vernet - Yves Vérolet - Nicolas Véron - Jérôme Vial - Pierre Victoria - Alain Vidalies - Georges Vigarello - Pascal Viginier - Jean-Paul Viguier - Alain Villemeur - François-Yves Villemin - Antoine Violet-Surcouf - Louis-Charles Viossat - Michel de Virville - Jean-Marc Vittori - Jean Volff - Kurt Volker - Jean-Claude Volot - Bernard Vorms.
- W.** Anne-Catherine Wagner - Jean-Claude Wallach - Samuel Watchueng - Laurent Wauquiez - Pascale Weil - Christine Whitehead - Edward Whitehouse - Johan Willemen - François de Witt - Frédéric Worms - Ernst Worrell - Christoph Wulf - Eckhard Wurzel.
- Y.** Pierrick Yalamas - Gaël Yanno - Ken Yeang - Christopher Young.
- Z.** Jean-Benoît Zimmermann - Yves Zlotowski.

## THÈMES DES PRÉCÉDENTS NUMÉROS

**N° 1, janvier 2002** : Demain des villes plus sûres? / Bâtiment et risques sanitaires : des remèdes / Temps libre et nouveaux modes de vie • **N° 2, mai 2002** : Investir : la Bourse ou la pierre? / Défense et illustration du patrimoine industriel • **N° 3, novembre 2002** : Seniors : quels enjeux? / L'esthétique, un défi pour le bâtiment • **N° 4, février 2003** : Décentralisation : les clés du dossier / Météo, climat : où va-t-on? • **N° 5, juin 2003** : L'Europe à vingt-cinq / Mécénat et fondations : des partenariats d'intérêt mutuel • **N° 6, novembre 2003** : Le développement durable en débat / L'impact des cycles économiques sur l'activité • **N° 7, janvier 2004** : Se former tout au long de la vie • **N° 8, mai 2004** : Les premiers pas de l'intelligence économique en France / Mieux évaluer et contrôler les politiques publiques • **N° 9, novembre 2004** : Énergie : un risque de pénurie? / Économie : quel devenir pour les entreprises artisanales? • **N° 10, février 2005** : Jusqu'où ira la « judiciarisation » de la société? / La transmission d'entreprise, une affaire de psychologie • **N° 11, juin 2005** : Réformer l'État : pour quoi faire? / La montée de la défiance • **N° 12, novembre 2005** : Internet : prodige ou poison? / Défendre la langue française • **N° 13, février 2006** : Patrimoine bâti : préserver, transformer ou détruire? / Communautés et démocratie : la citoyenneté en question • **N° 14, juin 2006** : La nouvelle donne démographique mondiale / Financement de la protection sociale : quelles solutions? / Les élites sous le feu des critiques • **N° 15, octobre 2006** : Le bâtiment en perspective • **N° 16, février 2007** : Les rouages de l'opinion / Les nouvelles politiques urbaines • **N° 17, juin 2007** : L'élan du secteur des services / L'art comme lien social • **N° 18, novembre 2007** : Logement : comment sortir de la crise? / Le débat d'idées, facteur de progrès pour l'entreprise • **N° 19, février 2008** : Mondialisation : gagnants et perdants / Pouvoirs et contre-pouvoirs : à chacun ses armes • **N° 20, juin 2008** : Les ruptures entre générations / Une politique industrielle nationale est-elle encore nécessaire? • **N° 21, novembre 2008** : Pays émergents et nouveaux équilibres internationaux / Éducation, politique, santé, génétique... : les multiples facettes de la sélection • **N° 22, mars 2009** : Quel nouvel ordre économique, social et financier après la crise? • **N° 23, juillet 2009** : Changement climatique et développement durable • **N° 24, novembre 2009** : Les stratégies marketing de demain / Les normes comptables IFRS en question • **N° 25, février 2010** : Retraites : quelles réformes? • **N° 26, juin 2010** : Le devenir des métropoles / L'éthique retrouvée? • **N° 27, novembre 2010** : Le principe de précaution en accusation? / Immobilier non résidentiel : redémarrage sur fond de dettes • **N° 28, février 2011** : L'Union européenne dans une mauvaise passe? / Les nouvelles frontières du « low cost » • **N° 29, juin 2011** : Le bâtiment : regards, enjeux, défis • **N° 30, novembre 2011** : Les corps intermédiaires en perspective • **N° 31, janvier 2012** : Les débats de la décroissance / L'impact de l'image d'une profession • **Hors-série, mars 2012** : Sommet de l'Immobilier et de la Construction • **N° 32, juin 2012** : Les paradoxes de la Russie / Besoins en logements : éléments d'une controverse • **N° 33, novembre 2012** : Radiographie des classes moyennes • **N° 34, mars 2013** : Les nouvelles formes de proximité / Mieux affecter l'épargne des Français • **Hors-série, juin 2013** : L'immobilier est-il un handicap pour la France? • **N° 35, juin 2013** : Densifier la ville? • **N° 36, novembre 2013** : Place aux jeunes! • **N° 37, mars 2014** : Prix de l'énergie : où va-t-on? / Les architectes français, mal-aimés des maîtres d'ouvrage publics? • **N° 38, juillet 2014** : Criminalité économique : quelles parades? • **N° 39, novembre 2014** : La France peut-elle se réformer? • **N° 40, mars 2015** : Union européenne : les conditions de la croissance • **N° 41, juin 2015** : Maîtriser l'innovation technique • **N° 42, novembre 2015** : Les nouvelles limites du vivant • **N° 43, mars 2016** : Les promesses de l'eau • **N° 44, juin 2016** : Les chantiers du travail • **N° 45, novembre 2016** : Politique de la ville : réussites et échecs • **N° 46, mars 2017** : Politique de la ville : des pistes de progrès • **N° 47, juin 2017** : Les entrepreneurs • **N° 48, novembre 2017** : L'espace français éclaté • **N° 49, mars 2018** : Taxation de l'immobilier : risques et enjeux • **Hors-série, juin 2018** : Paritarisme : vers une indépendance financière? • **N° 50, juillet 2018** : Entreprises : quels modèles demain? • **N° 51, novembre 2018** : La transparence dans la vie économique • **N° 52, mars 2019** : Europe : quelles frontières? • **N° 53, juillet 2019** : la dépendance : problèmes et perspectives

# Intelligence artificielle

## Intelligence artificielle : définitions et défis

- 6 Intelligence artificielle : de quoi parle-t-on ?
  - Benoît Georges
  
- 11 Les fumeuses prévisions sur le futur de l'emploi
  - Olivier Ezratty
  
- 16 L'augmentation artificielle de l'intelligence humaine
  - Pierre-Yves Cusset
  
- 20 Ville intelligente et intelligence artificielle, pour de vrai
  - Isabelle Baraud-Serfaty
  
- 24 Vers une révolution des assurances ?
  - Grégory Kron
  
- 28 Limites de l'IA : le cas de l'automobile
  - Eudoxe Denis
  
- 33 L'IA en Chine : état des lieux
  - Aifang Ma

## Le bâtiment dans l'intelligence artificielle, l'intelligence artificielle dans le bâtiment

- 40 L'IA dans la construction en Amérique du Nord
  - Roger Vandomme
  
- 45 Optimiser la performance du bâtiment
  - Cécile Jolas
  
- 49 Révolutions et innovations dans la filière construction
  - Pascal Asselin
  
- 53 Cyberstructure et cinquième fluide : des révolutions dans le bâtiment
  - Emmanuel Olivier
  
- 58 Intelligence artificielle et bâtiment : que se passera-t-il demain ?
  - Quentin Panissod
  
- 64 Les compétences technologiques : pierre angulaire de la construction de demain
  - Frédéric Remond
  
- 68 Quand les bâtiments sont intelligents, les murs ont des yeux et des oreilles
  - Elisabeth Grosdhomme
  
- 73 Des défis majeurs pour l'IA dans le bâtiment
  - Bertrand Pailhès
  
- 77 L'IA, une incitation à travailler mieux
  - Alain Piquet