Intelligence artificielle et villes intelligentes
Enjeux numériques et sociétaux

Dominique BAILLARGEAT

Professeur des Universités. Directeur Scientifique Exécutif de CNRS@CREATE Ltd

Résumé : Les technologies du numérique et de l'Intelligence Artificielle (IA) sont amenées à jouer un rôle essentiel dans tous les domaines de la société de demain pour améliorer le fonctionnement de la ville et la qualité de vie de ses habitants, tout en diminuant l'impact environnemental et la facture énergétique globale. Pour atteindre ses objectifs, il est nécessaire de penser les modes de complémentarité entre l'Humain et les systèmes intelligents. En effet, l'IA contribuera à rendre les villes intelligentes et sera vue comme un facteur d'amélioration de la qualité de vie, qui si elle est comprise et acceptée par les citoyens. Ce futur environnement urbain numérique ne peut alors se résumer à un réseau interconnecté de boîtes noires, mais doit tendre vers un réseau intelligent explicable, éthique et centré sur l'Humain. Ce chapitre se place dans ce contexte et propose des pistes de réflexion sur les enjeux numériques et sociétaux de la future ville intelligente.

Mots-clés : Intelligence artificielle, villes intelligentes, IA et société

1 Introduction

Au cours de ces dernières années, l'Intelligence Artificielle (IA) a connu un essor colossal dû en particulier aux nouveaux algorithmes d'apprentissage automatique et aux moyens technologiques associés. L'IA se définit comme la capacité, par une approche numérique, de comprendre, simuler et reproduire un comportement intelligent humain, et de créer des processus cognitifs comparables à ceux des êtres humains. L'Intelligence Artificielle n'est plus seulement une activité de recherche en laboratoire mais devient peu à peu un élément essentiel du futur de notre société. Ainsi, les applications sont multiples et s'implantent rapidement dans tous les secteurs de la société comme la santé, les transports, la sécurité, l'éducation, l'industrie, etc.

Dans ce contexte, la ville est devenue un terrain d'applications privilégié des algorithmes d'Intelligence Artificielle, pour devenir « ville intelligente ». Ce concept appa-

ru au cours de la dernière décennie, se fonde sur la collecte et l'utilisation de données pour optimiser l'organisation et la gestion de la ville. Dans ce monde numérique où règnent les algorithmes, la *smart city* peut être vue comme un vaste réseau interconnecté de systèmes d'infrastructures. Pour s'assurer du bon fonctionnement de ce réseau, de sa qualité de services et de sa résilience, il est essentiel de pouvoir faire des choix dans des situations critiques (catastrophes naturelles, actes malveillants, etc). Ces choix résultent d'un processus de prise de décision basé, en partie, sur les algorithmes d'IA. En conséquence, il est important de veiller à l'efficacité et à l'explicabilité (pour justifier des choix) de ces algorithmes. Un des enjeux majeurs pour les années à venir, sera alors d'être en mesure d'expliquer les démarches d'apprentissage par les algorithmes d'Intelligence Artificielle et les décisions qui en découlent, pour qu'in fine ces décisions soient acceptées par la société dans une ville intelligente 3.0.

Nous abordons dans ce chapitre ces différentes notions en mettant en perspective la place de l'Intelligence Artificielle dans les villes intelligentes. Sans apporter de réponses absolues, des pistes de réflexion sont proposées autour des questions suivantes : Quels sont les enjeux technologiques et numériques ? Quels enjeux sur la relation IA-société ?

2 L'IA et l'émergence de la ville intelligente

2.1 L'Intelligence Artificielle

De nombreuses techniques d'IA actuelles sont basées sur des théories connues depuis des décennies et la plupart des algorithmes actuels ont été développés dans les années 60 et 70. L'utilisation des algorithmes d'IA a connu un essor considérable au cours de ces dernières années grâce, notamment, aux progrès de la puissance de calcul des ordinateurs qui permet aujourd'hui d'envisager des applications pratiques de l'IA.

L'IA n'est pas un domaine scientifique au contour établi mais en constante évolution, qui regroupe un ensemble de concepts et de procédures techniques qui font appel à différentes disciplines telles que les mathématiques, l'informatique, les sciences cognitives, etc. Il existe alors une grande variété d'approches algorithmiques telles que l'apprentissage par renforcement, apprentissage contradictoire et réseaux de neurones (issus de la neurobiologie computationnelle), pour n'en nommer que certains. L'apprentissage automatique, et l'apprentissage en profondeur, sont aujourd'hui dans bien des cas les principales techniques de cette nouvelle vague de progrès de l'IA. Les algorithmes d'apprentissage automatique améliorent leur capacité à effectuer une tâche particulière en apprenant à partir des données au fil du temps. Cela permet aux ordinateurs de s'adapter à des situations imprévisibles comme, par exemple, la conduite d'une voiture dans la circulation ou la conversation avec un client pour savoir ce qu'il veut. Selon les situations, l'ordinateur peut même adopter une nouvelle solution non conçue auparavant par les humains. Au-delà de ces exemples, l'IA s'applique déjà à de nombreux domaines qui touchent notre quotidien, du diagnostic du cancer à la planification urbaine ou à la détection des fraudes.

Comme l'avènement de l'électricité, l'impact potentiel de l'IA sur la société dans son ensemble et l'économie en général ne peut être sous-estimé. Toute nation capable de maîtriser cette technologie dans le futur sera probablement en mesure d'offrir à

Published in : DELTORN, Jean-Marc ; PICHENOT, Evelyne (dir.), *Algorithmes et Société*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813003928, doi : 10.17184/eac.9782813003928

ses citoyens une énorme valeur ajoutée en matière sociale et économique. De nombreuses initiatives ont ainsi vu le jour ces dernières années en matière de recherche avancée en Intelligence Artificielle. Parmi celles-ci, notons la création en France de quatre Instituts Interdisciplinaires d'Intelligence Artificielle (3IA)[1]. Ces centres de recherche, de formation et d'innovation réunissent chercheurs, étudiants et ingénieurs autour de projets communs dans le domaine de l'IA. Outre l'ambition de renforcer la place mondiale de la France en IA, ces instituts ont pour ambitions de contribuer, par une recherche fondamentale d'excellence, au progrès des connaissances en Intelligence Artificielle, de mener une recherche tournée vers l'entreprise et les applications, de participer à la formation dans le domaine de l'IA et de produire un impact socio-économique significatif. Les 3IA ont été créés dans le cadre de la stratégie nationale pour l'Intelligence Artificielle lancée à l'issue du rapport de Cédric Villani[2] en Mars 2018.

2.2 La ville intelligente : un système complexe de systèmes numériques

La ville intelligente[3] prône une approche centrée sur les individus à l'échelle de la ville, approche dont le but principal est d'améliorer la vie des citoyens en utilisant les technologies du numérique comme un catalyseur, pour tendre vers un nouveau paradigme (une nouvelle utopie[4]) de qualité de vie des citoyens dans un environnement durable et une économie compétitive.

Ainsi, dans une ville intelligente les réseaux et services traditionnels deviennent-ils plus efficaces grâce à l'utilisation des technologies de l'information et des télécommunications au profit de ses habitants et de ses entreprises. Cela se traduit, par exemple, par une administration plus interactive et réactive, des espaces publics plus sûrs, des pratiques innovantes en matière de renouvellement et d'aménagement urbain pour répondre notamment aux besoins d'une population vieillissante.

La ville intelligente va cependant au-delà de l'utilisation des technologies du numérique en ce qu'elle promeut une meilleure consommation des ressources naturelles tout en réduisant les émissions dans une économie circulaire par exemple. Aujourd'hui, 50% de la population mondiale habite déjà en ville et 75% y habitera probablement d'ici 2050. Les grandes villes consomment 75 % de l'énergie produite et sont responsables de 80 % des émissions de CO_2. La transition et la lutte contre le réchauffement climatique passeront donc nécessairement par une transformation des villes. La ville intelligente œuvre en ce sens avec des réseaux de transport urbain mieux interconnectés et plus intelligents, des installations d'approvisionnement en eau et d'élimination des déchets améliorées et des moyens plus efficaces pour éclairer et chauffer les bâtiments.

[1] Grenoble – Projet 3IA MIAI ; Nice – Projet 3IA Côte d'Azur, Paris – Projet 3IA PRAIRIE ; Toulouse Projet 3IA ANITI

[2] « Donner un sens à l'intelligence artificielle : Pour une stratégie nationale et européenne », par Cédric Villani, mission parlementaire de Septembre 2017 à Mars 2018. https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid128577/rapport-de-cedric-villani-donner-un-sens-a-l-intelligence-artificielle-ia.html

[3] « Smart Cities : choix de société pour 2030 » par Bernard Cathelat, Publié par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture, 7, place de Fon- tenoy, 75352 Paris 07 SP, France, et NETEXPLO, 264 rue du Faubourg Saint-Honoré, 75008 Paris, France.

[4] Anthony M. *Townsend*. Smart Cities : Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a *New Utopia*. W. W. Norton & Company, Inc., *2013*.

Published in : DELTORN, Jean-Marc ; PICHENOT, Evelyne (dir.), *Algorithmes et Société*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813003928, doi : 10.17184/eac.9782813003928

Une ville intelligente se développe et interagit dans et avec l'environnement à différentes échelles spatiales et temporelles. Cette ville interconnectée est un système complexe avec un « métabolisme » constitué de divers stocks et flux de ressources. Il est essentiel de quantifier et de comprendre ce métabolisme pour mieux le structurer et l'organiser en une ville intelligente et durable. Une ville durable se doit également d'être vivable par la mise en place de plans d'environnements urbains socialement et économiquement viables, en se concentrant notamment sur la qualité de vie des habitants (critères de bien-être, confort, commodité et sécurité), tout en veillant à ce que les services apportés contribuent à la durabilité urbaine.

Dans ce contexte, la ville peut être vue comme un ensemble de systèmes d'infrastructures qui fournissent des services essentiels à ses habitants et ses industries, comme par exemple l'énergie, les transports, les communications, les finances, la production ou la santé. Dans un environnement urbain intelligent, ces systèmes sont interconnectés en un vaste système de systèmes dont la société moderne est fortement dépendante. Concrètement, l'utilisation des techniques de l'information et de la communication contribue à l'implantation de ces systèmes et à leur efficience opérationnelle pour tendre vers une qualité de services optimale. Cette numérisation conduit à l'évolution des systèmes d'infrastructures en systèmes cyber-physiques qui intègrent le déploiement de capteurs communicants et l'acquisition d'un nombre important de données (*big data*) sur les systèmes de mobilité urbaine, d'éclairage, d'alimentation en eau et en énergies, etc. Après le déploiement dans les villes intelligentes dites 1.0 puis 2.0 de technologies avancées dédiées à la collecte de données, la ville intelligente 3.0 entamera en 2030 une nouvelle phase intensive de l'analyse de ces données. Elle appréhendera alors les comportements et les habitudes de ses habitants afin de leur fournir, en temps réel, une meilleure information, une meilleure offre de services tout en économisant mieux les ressources. Cela se fera par la combinaison de l'Internet des objets (avec des prévisions de plus de 50 milliards d'objets connectés dans le monde en 2030[5]) implantés dans les systèmes d'infrastructures et d'algorithmes d'Intelligence Artificielle.

3 La place de l'Intelligence Artificielle dans la ville intelligente

3.1 L'Intelligence Artificielle dans les systèmes d'infrastructures intelligents

Comme nous l'avons évoqué précédemment, les réseaux connectés associés aux techniques d'IA se retrouvent à l'échelle de la ville intelligente pour des usages à valeur ajoutée dans bien des secteurs. Concernant les aspects environnementaux, une ville connectée peut plus facilement surveiller et résoudre, *via* les techniques d'IA, les problèmes liés à la pollution atmosphérique ou la conservation de l'énergie. Prenons l'exemple du *smart lighting* déployé à Oslo : grâce à des capteurs, des réverbères intelligents peuvent s'assombrir, voire s'éteindre, en l'absence de voitures ou piétons à proximité, et générer ainsi d'importantes économies d'énergie (en moyenne la part de

[5] Vidal M. (2016) *Quels habitants et usagers de la ville intelligente ? Éléments de prospective*, in Les Cahiers des Ateliers de dialogue Recherche-Action-Expertise, Adirea, n° 5, Eveno E. et Guibbert J.-J. (dir.), « Villes intelligentes "par le bas". Entre chercheurs, experts et acteurs associatifs », p. 37-45

Published in : DELTORN, Jean-Marc ; PICHENOT, Evelyne (dir.), *Algorithmes et Société*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813003928, doi : 10.17184/eac.9782813003928

l'éclairage dans la facture énergétique d'une ville est de 20%) sans affecter la sécurité ou le bien-être dans la ville.

De même, ces technologies de réseaux intelligents par l'IA sont utilisées pour optimiser la distribution d'énergie dans ce qui est appelé les *smart grid* pour satisfaire à la demande sans affecter les réseaux de distribution. L'implantation de ces techniques est particulièrement bien adaptée à une gestion intelligente d'un réseau électrique multi-sources, par exemple lorsque la ville produit elle-même une partie de son énergie à partir de sources renouvelables. Les systèmes intelligents permettent alors de définir la source d'énergie la plus favorable aux usages et de répondre à la demande en temps réel, en priorisant l'utilisation de certaines sources par rapport à d'autres, suivant leur disponibilité[6].

Le domaine des transports publics dans la ville, est également concerné par une gestion intelligente du trafic (*smart mobility)* pour, par exemple, surveiller et analyser les déplacements des véhicules afin d'optimiser les feux tricolores et éviter que les routes ne deviennent trop encombrées aux heures de pointe ou lors d'événements importants. De nouveaux concepts de mobilités urbaines autonomes sont également à l'étude. A Singapour, par exemple, ces concepts visent une évolution du système de bus urbain classique vers une flotte de véhicules routiers électriques autonomes modulaires de taille mixte, entièrement connectés, avec une communication sécurisée de haut niveau de véhicule à véhicule, et de véhicule à infrastructure intelligente, afin d'assurer un service de mobilité à itinéraires flexibles et fixes, avec une qualité de services efficace et attractif[7]

Dans le domaine industriel et en particulier dans le contexte de l'« Industrie 4.0 », des assistants IA avancés sont développés pour augmenter les performances des activités de l'industrie liées à la conception, à la décision et à la production. Cela conduit à la conception d'assistants cognitifs dotés de capacités avancées de dialogue et d'interaction, à la surveillance de systèmes complexes afin de modéliser leur comportement, prédire leur évolution et anticiper les actions correctives, et à la conception de robots mobiles autonomes avec la capacité d'interagir avec les humains, cognitivement et physiquement, pour effectuer des tâches complexes de manière collaborative.

3.2 Quelques exemples de villes intelligentes

S'il n'existe pas encore de ville intelligente à proprement parler, certaines en prennent le chemin et ont déjà déployé des services à plus ou moins grande échelle. Parmi les grandes métropoles, Barcelone est citée en référence dans le monde des *smart cities* en ce qu'elle a déjà intégré des capteurs intelligents dans de nombreux domaines comme le stationnement, la collecte des déchets, l'éclairage public, l'irrigation des espaces verts ou encore la qualité de l'air. A Oslo, l'accent est mis sur l'éclairage intelligent : 10 000 lampadaires ont été équipés de capteurs permettant d'ajuster la luminosité

[6] L'étude « *Valorisation socio-économique des réseaux électriques intelligents* » publiée en 2017 par Les gestionnaires publics des réseaux de distribution et de transport de l'électricité en France, estime qu'en 2030, en prenant en compte les coûts d'installation et de maintenance, la généralisation des smart grids offrira des bénéfices de plus de 400 millions d'euros annuels pour la collectivité. https://www.ademe.fr/valorisation-socio-economique-reseaux-electriques-intelligents

[7] Towards the Ultimate Public Transport System by TUM-CREATE Singapore. https://www.tum-create.edu.sg/.

Published in : DELTORN, Jean-Marc ; PICHENOT, Evelyne (dir.), *Algorithmes et Société*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813003928, doi : 10.17184/eac.9782813003928

en fonction des saisons et des besoins en éclairage, l'objectif étant de réduire les consommations d'électricité de 70%. En 2019, la ville-état de Singapour a annoncé sa stratégie sur l'Intelligence Artificielle et son implication dans son programme *Smart Nation* pour être « un chef de file dans le développement et le déploiement de solutions d'Intelligence Artificielle évolutives et percutantes » d'ici 2030 dans des secteurs clés de la société. Citons également New York (avec plus de 800 000 compteurs d'eau connectés en 2017 pour surveiller et gérer le réseau de distribution[8]), San Francisco, Londres, Paris qui ont par exemple, mis en place de nombreux services en ligne et plateformes numériques.

4 Les enjeux sociétaux, technologiques et numériques de l'IA

4.1 Explicabilité de l'IA et acceptabilité sociale

Dans la grande majorité des utilisations actuelles, les outils d'IA sont issus de techniques de boîte noire, qui fonctionnent extrêmement bien, en moyenne, mais qui ne sont pas conçus pour être compréhensibles à chacune des étapes du processus d'apprentissage et au résultat de la démarche. Pour l'utilisateur cela peut créer un manque de confiance majeur dans le comportement de ces algorithmes : Pourquoi prennent-ils cette décision ? Pouvons-nous croire aveuglément en leurs choix ? Dans les années à venir, avec le nombre croissant d'applications de l'IA, il sera nécessaire de renforcer la confiance et l'acceptabilité de la société dans les systèmes intégrant des algorithmes d'IA dédiés à la prise de décision automatique. Cela ne sera possible que si un effort important est consacré au contrôle et à l'explicabilité des systèmes à base d'apprentissage. Comment accepter une décision automatique sans explication ? C'est un véritable défi scientifique, en particulier pour les algorithmes d'apprentissage profond. Il s'agira alors de renforcer la recherche dans les disciplines cœur de métier de l'IA que sont les mathématiques et l'informatique tout en explorant conjointement d'autres paradigmes inspirés des sciences cognitives. On notera par exemple le besoin de développer de nouvelles méthodes d'apprentissage automatique (avec moins de données, une meilleure gestion des données pour éviter les biais, etc.), de travailler sur les méthodes d'optimisation et de mieux prendre en compte la relation AI-humain.

À long terme, l'explicabilité de ces technologies d'IA est l'une des conditions de leur acceptabilité par la société, et au-delà, de leur certification quand il s'agit de systèmes critiques autonomes pour lesquels la prise de décisions requiert de fortes garanties (comme la gestion de systèmes critiques énergétiques ou de transports autonomes, qui peuvent mettre en danger la santé ou la sécurité d'individus, pour ne citer que ces exemples).

4.2 La résilience des systèmes d'infrastructures

La plupart des grands environnements urbains ont vécu, au cours de ces dernières années, une urbanisation rapide, entraînant une densification de la population et des

[8] A titre d'exemple en France, à Saint Amand Montrond (10 000 hab.), les pertes d'eau par fuites entre l'étape initiale de pompage et la consommation finale ont chuté de 39% À 6% grâce au diagnostic plus précis et quotidien permis par le système de compteurs d'eau communicants. Extrait de « La ville et l'Internet des objets » par Robert Benda, Thibault Fagiani, Paul Giovachini, Côme Pelée de Saint Maurice, Soutenu À l'école Nationale des Ponts et Chaussées le 01/03/2018.

Published in : DELTORN, Jean-Marc ; PICHENOT, Evelyne (dir.), *Algorithmes et Société*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813003928, doi : 10.17184/eac.9782813003928

infrastructures. Cela a conduit à l'émergence de systèmes urbains à haute densité, vulnérables aux perturbations ou aux menaces naturelles, technologiques, économiques, sociales, cybernétiques et politiques qui peuvent conduire à des défaillances en cascade des systèmes d'infrastructures interconnectés. Pour remédier à cette vulnérabilité, qui peut avoir des conséquences dramatiques en termes de santé, de sécurité, d'environnement ou d'économie, il est notamment indispensable de rendre les systèmes d'infrastructures plus résilients. Pour définir la résilience d'un système, nous pouvons considérer[9] que : « Compte tenu de l'occurrence d'un événement perturbateur particulier (ou d'un ensemble d'événements), la résilience d'un système à cet événement (ou ces événements) est sa capacité à réduire efficacement à la fois l'amplitude et durée de l'écart par rapport aux niveaux de performances ciblés du système ». La résilience du système est caractérisée par sa capacité à se rétablir de perturbations induites sur des conditions normales de fonctionnement.

La résilience de la ville intelligente (vue comme un système de systèmes), vise ainsi, à maintenir les services essentiels (énergie, eau, télécommunications, transports, etc.) à la suite d'un événement perturbateur majeur et à retrouver le niveau nominal de performance.

4.3 Résilience et prise de décision

Rendre les systèmes d'infrastructures cyber-physiques et interconnectés plus résilients, avec une opérabilité fiable et efficace doit s'accompagner d'un processus de prise de décision ou de capacité de conseil aux usagers qui impliquent des raisonnements complexes, et qui interagissent entre les utilisateurs et les opérateurs. Pour répondre à cet enjeu majeur, des solutions d'Intelligence Artificielle adaptées à la structuration, l'analyse et l'interprétation d'un grand nombre de données sont ainsi mises en place La prise de décision (dans une situation critique) peut être automatique (l'outil d'IA prend la décision) ou in fine humaine (l'homme prend la décision finale à partir d'analyses et de propositions formulées par l'outil d'IA). Dans les deux cas, deux facteurs sont à considérer : l'humain et l'IA.

Les humains ont une capacité cognitive limitée à gérer des informations complexes et multi-sources. Dans certains cas, leur comportement peut être un élément perturbateur dans la prise de décision et il est ainsi indispensable d'améliorer notre compréhension du rôle des facteurs humains dans la robustesse et la résilience des systèmes.

Les algorithmes IA peuvent augmenter la perception, l'attention et la mémoire de l'homme en procurant des informations pertinentes aux moments opportuns. Par ailleurs, l'IA est un excellent outil pour le raisonnement logique et la reconnaissance ou la synthèse de modèles, mais n'a pas encore (ou très peu) de capacité d'intuition, de bon sens, de créativité, d'empathie et de capacité générale d'un esprit humain. La prise de décision par l'IA peut être améliorée en fusionnant l'apprentissage automa-

[9] E. D. Vugrin, D. E. Warren, M. A. Ehlen, and R. C. Camphouse (2010) *A framework for assessing the resilience of infrastructure and economic systems*. in *Sustainable and resilient critical infrastructure systems*, ed : Springer, p. 77-116.

Published in : DELTORN, Jean-Marc ; PICHENOT, Evelyne (dir.), *Algorithmes et Société*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813003928, doi : 10.17184/eac.9782813003928

tique et les contributions humaines dans la boucle. Une telle collaboration IA-humain est alors cruciale pour les systèmes urbains critiques.

Pour aider à prendre la décision en temps réel (notion relative à la situation traitée), il est indispensable d'une part d'avoir une confiance élevée dans les outils d'IA utilisés et d'autre part d'être en mesure de prédire les comportements futurs des systèmes considérés. Pour cela, ces dernières années, des représentations numériques des réseaux d'énergie, d'eau, des télécommunications, des transports, etc. ont été développées à partir d'un très grand nombre de données collectées. On parle alors de jumeaux numériques. Cependant, l'utilisation des jumeaux numériques dans la société et l'industrie est entravée par deux difficultés récurrentes majeures : le besoin d'énormes quantités de données pour permettre des prédictions précises et fiables est synonyme de coût élevé (coût d'acquisition et coût de traitement) mais également la difficulté d'expliquer les prédictions et de certifier les décisions. Nous retrouvons ici, l'importance des notions d'explicabilité et de certification évoquées précédemment.

Par ailleurs, les techniques d'IA actuelles, entièrement basées sur les données, ont, non seulement besoin de beaucoup de ressources, mais sont dans bien des cas trop instables (manque de fiabilité, biais dans l'apprentissage, fausses interprétations, …). Ces techniques ne peuvent (ou ne devraient pas) être utilisées directement pour les systèmes urbains critiques. Pour remédier à cela, le nouveau concept de jumeau hybride[10] a récemment été proposé. Il est constitué de deux modèles : l'un, basé sur des algorithmes de simulation s'appuyant sur les lois de la physique et qui prédisent le comportement des processus, des structures, des réseaux (ces algorithmes ont démontré leur justesse bien avant l'essor de l'IA) et l'autre, dit de déviation, construit à la volée par des algorithmes d'IA, qui représente les écarts entre les prédictions fournies par le modèle basé sur la physique et les données observées *via* des plateformes de détection dynamique. On parle alors d'IA hybride qui est un nouveau paradigme d'apprentissage automatique sensible à la physique (informée par la physique, augmentée par la physique, …) qui s'éloigne de la métaphore de la boîte noire (uniquement centrée sur un apprentissage par la donnée recueillie).

Par la combinaison de ces deux modèles, le jumeau hybride est capable d'apprendre, de se corriger et de gagner en robustesse à partir d'un faible nombre de données (frugalité des données en comparaison au jumeau numérique) en utilisant des connaissances préexistantes. Pour ces raisons, la prise de décision en temps réel dans les systèmes critiques (et notamment urbains) sera plus efficace. Cette approche combinant les modèles issus de la physique et de l'Intelligence Artificielle contribuera à renforcer l'explicabilité et la fiabilité des outils d'aide à la prise de décision et in fine à améliorer la résilience de ces systèmes.

5 Conclusion

Les technologies du numérique et de l'Intelligence Artificielle sont amenées à jouer un rôle essentiel dans tous les domaines de la société de demain. Comme nous l'avons

[10] Chinesta, F., Cueto, E., Abisset-Chavanne, E. *et al.* Virtual, Digital and Hybrid Twins : A New Paradigm in Data-Based Engineering and Engineered Data. *Arch Computat Methods Eng* 27, 105–134 (2020). Doi : 10.1007/s11831-018-9301-4.

Published in : DELTORN, Jean-Marc ; PICHENOT, Evelyne (dir.), *Algorithmes et Société*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813003928, doi : 10.17184/eac.9782813003928

illustré précédemment, les systèmes intelligents déployés dans la *smart city* doivent contribuer à améliorer le fonctionnement de la ville, tout en faisant progresser la qualité de vie des habitants, diminuer l'impact environnemental et la facture énergétique globale. Beaucoup de promesses alléchantes qui ne doivent pas faire oublier les points sensibles que sont les étapes de collecte et de structuration des données, et qui nécessitent aussi de penser les modes de complémentarité entre l'humain et les systèmes intelligents.

Un environnement urbain numérique ne doit pas se résumer à un réseau interconnecté de boîtes noires et l'explicabilité des algorithmes d'IA est essentielle pour instaurer la confiance, l'acceptabilité du public et éviter les discriminations. Outre la production de modèles plus explicables, il s'agira aussi de comprendre les perceptions des citoyens sur les systèmes de décision basés sur l'IA en travaillant sur des mécanismes cognitifs et les problèmes clés que ces technologies soulèvent. Beaucoup de questions sont encore sans réponse et la société doit s'en emparer au plus vite : Quelles mesures pour instaurer durablement la confiance du public dans l'IA et les systèmes urbains ? Quels modèles alternatifs d'environnements intelligents pour offrir une vision attrayante et réaliste de la société ? Comment anticiper les conséquences juridiques, de gouvernance et sociales d'une utilisation généralisée de l'IA ?

A l'horizon 2030, c'est l'IA qui permettra aux villes de devenir intelligentes, à condition que les données soient disponibles et coordonnées et que les lois soient adaptées (notamment sur la protection de la vie privée). La société devra se montrer vigilante à ce que des accords public (la ville) / privé (les GAFAM[11], les BATX[12] ou autres entreprises du numérique) soient signés et respectés pour veiller à ce que la confidentialité et la sécurité des données soient bien prises en compte dans tout système intelligent et son utilisation. Au-delà de la collecte des données, une réflexion approfondie sur les enjeux éthiques que les algorithmes d'intelligence artificielle peuvent soulever doit être menée en amont dès la phase de conception[13]. Quelle éthique de l'intelligence artificielle dans et pour la ville intelligente ?

L'Intelligence Artificielle fait aujourd'hui partie de la société. Nous ne sommes qu'au début d'une révolution numérique qui fascine et inquiète. La majorité des pays acteurs de ce monde numérique se posent nombre de questions autour de « Intelligence Artificielle et Société ». A ce jour, les pistes de réflexions sont ouvertes, et la société des algorithmes s'installe …

Remerciements

Des remerciements sincères aux relectrices et relecteurs qui se reconnaîtront, pour leur lecture attentive et leurs précieux conseils.

[11] GAFAM : Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft aux USA

[12] BATX : Baidu, Alibaba, Tencent, Xiaomi en Chine

[13] En Avril 2019, un Groupe d'experts indépendants de haut niveau constitué par la Commission Européenne a publié les « Lignes directrices en matiere d'ethique pour une ia digne de confiance ». Ce document est consultable à l'adresse suivante : https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/ethics-guidelines-trustworthy-ai.

Published in : DELTORN, Jean-Marc ; PICHENOT, Evelyne (dir.), *Algorithmes et Société*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813003928, doi : 10.17184/eac.9782813003928