

La convergence de l'internet des objets, du big data et de l'intelligence artificielle

The convergence of the Internet of Things, Big Data, and Artificial Intelligence.

– **AUTEUR 1** : Koné Abdoulaye,

(1): Doctorant, FSJES Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc.



Conflit d'intérêts : L'auteur ne signale aucun conflit d'intérêts.

Pour citer cet article : Koné Abdoulaye (2024) « La convergence de l'internet des objets, du big data et de l'intelligence artificielle»,

IJAME : Volume 02, N° 08 | Pp: 103 – 131.

Date de soumission : Mai 2024

Date de publication : Juin 2024



DOI : 10.5281/zenodo.11653470

Copyright © 2024 – IJAME

Résumé

Cette étude examine les synergies entre l'internet des objets, le big data et l'intelligence artificielle, mettant en lumière les opportunités et les défis qu'elles engendrent. La convergence de ces technologies ouvre de vastes perspectives dans des domaines tels que la santé connectée, la ville intelligente, l'industrie 4.0 et l'économie collaborative. Toutefois, des obstacles majeurs comme la protection des données personnelles, la sécurité des systèmes et des réseaux, ainsi que le renforcement des compétences, doivent être pris en compte.

Pour cette analyse, une méthode de recherche basée sur la collecte et l'analyse de données qualitatives provenant d'ouvrages, d'articles de revues et de journaux reconnus a été utilisée. Cette approche permet de saisir en profondeur les interactions entre ces trois technologies. L'impact des lois de Moore et de Metcalfe sur cette convergence a également été pris en compte. L'avènement de l'internet des objets a facilité l'interconnexion d'objets physiques, générateur d'une masse de données importante connue sous le nom de big data. L'intelligence artificielle s'appuie sur ces données, ainsi que sur la puissance de calcul et les algorithmes. Les données sont essentielles pour entraîner les algorithmes, la puissance de calcul est indispensable pour les traiter efficacement, et les algorithmes permettent de structurer les informations afin de prendre des décisions pertinentes.

Mots clés : Convergence, internet des objets, big data, intelligence artificielle, loi de Moore, loi de Robert Metcalfe, algorithmes.

Summary

This study examines the synergies between the Internet of Things, big data, and artificial intelligence, highlighting the opportunities and challenges they bring. The convergence of these technologies opens up broad perspectives in areas such as connected health, smart cities, Industry 4.0, and the sharing economy. However, major obstacles such as data protection, system and network security, as well as skills enhancement, must be taken into account.

For this analysis, a research method based on the collection and analysis of qualitative data from recognized books, journal articles, and newspapers was used. This approach allows for a deep understanding of the interactions between these three technologies. The impact of Moore's Law and Metcalfe's Law on this convergence was also considered.

The advent of the Internet of Things has facilitated the interconnection of physical objects, generating a large amount of data known as big data. Artificial intelligence relies on this data, as well as on computing power and algorithms. Data is essential for training algorithms, computing power is necessary to process them efficiently, and algorithms help structure information to make relevant decisions.

Keywords: Convergence, Internet of Things, Big Data, Artificial Intelligence, Moore's Law, Metcalfe's Law, Algorithms.

1. Introduction

La révolution numérique est un phénomène qui a profondément transformé la société en introduisant des outils, techniques et technologies numériques. L'évolution des technologies numériques a connu diverses étapes majeures au fil des décennies.

- Dans les années 1970, l'émergence des premiers microprocesseurs a permis de réduire la taille des ordinateurs et d'étendre l'utilisation des technologies numériques.
- Le développement des réseaux informatiques, comme Arpanet en 1969, a facilité la communication entre différents ordinateurs, jetant ainsi les bases de l'Internet.
- L'avènement des ordinateurs personnels dans les années 1980 a rendu l'informatique accessible au grand public.
- L'arrivée du web dans les années 1990 a révolutionné l'accès à l'information avec la création du World Wide Web et des premiers moteurs de recherche.
- Les années 2000 ont été marquées par l'essor des smartphones, des tablettes et des réseaux sociaux, offrant un accès constant à l'information et aux services en ligne.
- Le développement de la blockchain, popularisée par la cryptomonnaie Bitcoin en 2008, a ouvert la voie à de nouvelles applications telles que les contrats intelligents.
- Au cours des années 2010, l'essor de l'intelligence artificielle a permis aux ordinateurs d'apprendre à partir de grandes quantités de données et d'améliorer leurs performances.
- Parallèlement, la croissance de la réalité virtuelle et augmentée a offert des expériences immersives aux utilisateurs à travers des casques VR et des applications AR.
- Enfin, l'internet des objets a permis la connectivité des objets du quotidien à internet, permettant ainsi la collecte de données massives.

Le monde numérique se caractérise par trois éléments clés. Tout d'abord, il repose sur l'utilisation d'algorithmes, qui sont des séquences d'opérations permettant d'obtenir un résultat. Les ordinateurs utilisent des algorithmes pour effectuer des calculs. Ensuite, les ordinateurs communiquent en binaire, en utilisant des 0 et des 1 pour transmettre des informations à travers des transistors. Enfin, le monde numérique fragmente les données en petits intervalles, à la différence du mode analogique où les données sont présentées de manière continue¹.

Le numérique est désormais une partie intégrante de la société. Il joue un rôle central dans la troisième révolution industrielle qui repose sur de nouvelles sources d'énergie et de nouveaux moyens de communication. Premièrement, en matière énergétique, l'internet et le web se

¹ Ascoli, S. D. (2020). Comprendre la révolution de l'intelligence artificielle. First, p. 13-14.

combinent avec les énergies renouvelables dans les réseaux électriques intelligents ou smart grids². Parallèlement, la croissance exponentielle de la puissance de calcul et du big data sont de nouvelles formes d'énergie qui stimulent le développement des technologies numériques, notamment l'intelligence artificielle. Deuxièmement, en matière de communication, l'essor des réseaux sociaux et de l'internet des objets façonne l'échange de données dans cette troisième révolution industrielle³. Dans ce contexte, les technologies numériques sont convergentes.

En effet, l'explosion du big data est directement liée à l'avènement des réseaux sociaux (web 2.0) où les données proviennent des utilisateurs connectés, ainsi qu'à l'internet des objets (web 3.0) où les données sont générées par les objets connectés. Cette croissance exponentielle des données numériques alimente également le développement de l'intelligence artificielle. Les algorithmes d'apprentissage, moteur de l'intelligence artificielle, requièrent des quantités massives de données pour s'entraîner et une puissance de calcul considérable pour les traiter. Ces différents aspects nous ont conduits à formuler la question de recherche suivante :

Comment l'internet des objets a-t-il stimulé la croissance du big data et en quoi cette croissance a-t-elle alimenté le développement de l'intelligence artificielle, ouvrant la voie à de nouveaux défis et opportunités ?

2. Méthode de la recherche et délimitation du sujet

Cette étude compare les grandes technologies actuelles, notamment l'internet des objets, le big data et l'intelligence artificielle. Son objectif est de démontrer les interactions entre celles-ci afin de mettre en lumière les facteurs de conception et d'évolution de l'intelligence artificielle ainsi que les opportunités et défis qui en découlent. Cette convergence technologique offre de nombreuses possibilités telles que l'amélioration de la collecte et de l'analyse des données, la prise de décisions plus rapides et plus intelligentes, le développement de nouveaux services et produits innovants, ainsi que l'optimisation des processus et des performances. La convergence de l'internet des objets, du big data et de l'IA présente plusieurs applications concrètes.

- ❖ Dans le domaine de la santé connectée, cette convergence permet d'utiliser des objets connectés pour surveiller la santé, d'analyser les données pour repérer des tendances et prévenir des maladies, et de recourir à l'IA pour proposer des traitements personnalisés.

² Rifkin, J. (2012). La troisième révolution industrielle : Comment le pouvoir latéral va transformer l'énergie, l'économie et le monde. Les Liens Qui Libèrent.

³ Ferry, L. (2016). La révolution transhumaniste. Plon.

- ❖ Dans le domaine de la ville intelligente, les capteurs connectés collectent des données pour améliorer la gestion des ressources et la qualité de vie des habitants, tandis que l'IA optimise les transports et la sécurité.
- ❖ Dans le domaine de l'industrie 4.0, les objets connectés sont employés pour surveiller et optimiser les processus de production, les données sont examinées pour anticiper les pannes et améliorer l'efficacité énergétique, et l'IA automatise les tâches et améliore les performances.
- ❖ L'économie collaborative s'appuie également sur cette convergence en ayant recours aux objets connectés pour simplifier le partage de ressources entre individus, en analysant les données pour optimiser l'utilisation des ressources partagées, et en utilisant l'IA pour améliorer les recommandations et les mises en relation entre les utilisateurs.

La convergence entre l'internet des objets, le big data et l'intelligence artificielle présente des défis majeurs pour assurer leur développement harmonieux.

- ❖ La protection des données personnelles et de la vie privée doit être assurée par des réglementations strictes pour garantir la confidentialité et la sécurité des données collectées par les objets connectés, ainsi que le consentement des utilisateurs.
- ❖ La sécurité des systèmes et des réseaux doit être renforcée pour prévenir les attaques potentielles liées à la multiplication des objets connectés, en utilisant des protocoles de cryptage robustes et des mesures de détection et de prévention des intrusions.
- ❖ La formation des professionnels est indispensable pour qu'ils puissent comprendre, analyser et exploiter de manière responsable cette convergence technologique. Cela implique le développement de programmes adaptés, la promotion de la recherche dans ces domaines et la collaboration entre les différents acteurs.

Cette recherche ne peut pas examiner en détail tous les aspects mentionnés. Notre analyse se concentrera principalement sur les principales technologies de cette convergence et leur interrelation. Cette approche contribuera à la compréhension des facteurs qui favorisent le développement de l'intelligence artificielle.

Notre méthode de recherche repose sur une approche rigoureuse de collecte et d'analyse de données qualitatives provenant de diverses sources telles que des ouvrages généraux et spécialisés, des articles de revues et des articles de journaux reconnus pour leur expertise en technologie. L'utilisation d'articles de journaux était nécessaire pour analyser les éléments d'actualité. Cette approche a été choisie en raison de la richesse et de la diversité des

informations disponibles dans ces différentes sources, nous permettant ainsi d'avoir une vision globale et approfondie des technologies étudiées.

Nous considérons que cette méthode est particulièrement pertinente pour notre étude, étant donné que ces différentes technologies sont déjà largement étudiées de manière individuelle. Notre contribution réside dans la mise en lumière des éléments qui démontrent leur interconnexion et leur complémentarité. Pour amorcer notre analyse, nous débuterons en examinant de près la loi de Moore, qui constitue le moteur principal des évolutions technologiques actuelles.

3. La loi de Moore : quand la puissance des machines s'accroît de manière exponentielle

La loi de Moore est le pivot du développement des technologies numériques depuis plusieurs décennies. Elle a été formulée par le Dr Gordon Earle Moore, qui a cofondé Intel en 1968 aux côtés de Robert Noyce et Andrew Grove. Cette loi, qui repose sur une observation empirique, affirme que la puissance des processeurs double tous les deux ans, tout en maintenant un coût constant⁴.

En 1965, Moore a énoncé sa première loi après avoir observé l'évolution des circuits intégrés depuis 1959. À cette époque, le circuit le plus performant comportait 64 transistors. Il a prédit que le nombre de transistors présents dans les circuits intégrés continuera de croître de manière exponentielle, tout en diminuant en taille, et ce, chaque année, sans augmentation des coûts⁵.

En 1975, Moore a réajusté sa loi, notant que le nombre de transistors utilisés dans les microprocesseurs sur puces de silicium doublait tous les deux ans au même coût⁶. Cette prédiction s'est avérée particulièrement précise pendant plus de 50 ans. Intel a principalement suivi cette tendance, ce qui a entraîné l'avènement des ordinateurs de plus en plus puissants, plus petits et moins chers.

Mercian E. Hoff a inventé le premier microprocesseur d'Intel, appelé le C4004, en 1969. Ce microprocesseur était gravé à une échelle de 10 000 nanomètres et avait une taille de 10,62 millimètres carrés. Il était composé de 2 300 transistors et pouvait effectuer 90 000 opérations

⁴ Ascoli, S. D. (2020). Op. Cit., p. 24.

⁵ Moore, G. E. (1965). Cramming More Components Onto Integrated Circuits. Electronics, 38.

⁶ Moore, G. E. (1975). Progress in Digital Integrated Electronics. IEEE Text Speech.

par seconde⁷. Sa puissance de calcul était équivalente à celle du premier ordinateur électronique, l'ENIAC, qui a été commercialisé en 1946. L'ENIAC pesait 30 tonnes et occupait une surface de 167 mètres carrés, soit une pièce entière⁸. En revanche, le processeur AMD Ryzen Threadripper 3990X, commercialisé à partir de 2020, est gravé en 7 nanomètres, soit 7 milliards de fois plus petits qu'un mètre. Il est doté de 39 milliards 500 millions de transistors et peut effectuer 3 700 milliards d'opérations par seconde⁹.

Tableau 1 : Loi de Moore, le nombre de transistors par microprocesseur de 1971 à 2020

Année	Nombre de transistors	Exemple de produits
1971	2 300	Intel 4004 (premier microprocesseur)
1974	5 000	Intel 8080 (utilisé dans le premier ordinateur personnel, l'Altair 8800)
1978	29 000	Intel 8086 (premier processeur x86)
1982	120 000	Intel 80286 (premier processeur x86 16 bits)
1985	275 000	Intel 80386 (premier processeur x86 32 bits)
1989	1 200 000	Intel 80486 (premier processeur x86 avec une unité de virgule flottante intégrée)
1993	3 100 000	Intel Pentium (premier processeur x86 avec architecture superscalaire)
1997	7 500 000	Intel Pentium II (premier processeur x86 avec architecture de bus système à 100 MHz)
2001	42 000 000	Intel Pentium 4 (premier processeur x86 avec architecture NetBurst)
2005	230 000 000	Intel Core 2 Duo (premier processeur x86 avec architecture Core)
2010	2 300 000 000	Intel Core i7 (premier processeur x86 avec architecture Nehalem)
2015	5 500 000 000	Intel Core i7 (processeur x86 avec architecture Skylake)
2020	15 000 000 000	Intel Core i9 (processeur x86 avec architecture Comet Lake)

Source : Le Tableau 1 est élaboré par le chercheur, auteur de cet article, dans le cadre de ses recherches.

⁷ Les processeurs sont généralement évalués en termes de FLOPS, qui mesurent le nombre d'opérations à virgule flottante qu'ils peuvent effectuer par seconde. Cette mesure est importante pour évaluer la puissance de calcul des supercalculateurs, des processeurs graphiques et des systèmes de calcul intensif. Un nombre élevé de FLOPS indique que le processeur est capable de traiter rapidement des calculs complexes. Cette mesure est cruciale dans des domaines tels que la modélisation scientifique, l'intelligence artificielle et la simulation numérique.

⁸ T., D. (2011, 16 novembre). Le microprocesseur a 40 ans. Génération NT. <https://www.generation-nt.com/actualites/microprocesseurs-anniversaire-intel-4004-1502961>.

⁹ GadgetVersus. (s.d.). Intel Core i9-9880H vs AMD Ryzen Threadripper 3990X. Consulté le 17 mai 2022, à l'adresse fr.gadgetversus.com/processeur/intel-core-i9-9880h-vs-amd-ryzen-threadripper-3990x.

Les transistors jouent un rôle essentiel dans les avancées technologiques actuelles. Plus une machine intègre de transistors, plus elle est puissante, plus la taille des transistors diminue, plus la machine diminue en taille tout en calculant plus vite. Plusieurs appareils du quotidien fonctionnent grâce à des microprocesseurs qui évoluent selon la loi de Moore. Au fil du temps, les téléphones intelligents, les ordinateurs, les voitures, etc., ont vu leurs performances et leur efficacité énergétique considérablement améliorées. La loi de Moore apporte de nombreux avantages technologiques et économiques. Tous les domaines utilisant l'électronique y sont impactés.

Cependant, dès 1997, Moore avait prédit que la croissance de la puissance de calcul atteindrait une limite physique vers 2017 en raison de la taille des atomes¹⁰. De nos jours, cette limite semble presque atteinte, ce qui soulève des questions sur l'avenir de l'informatique et l'utilisation du silicium pour les circuits intégrés et les transistors.

En 2016, Intel a annoncé que la puissance de calcul des processeurs doublerait tous les deux ans et demi, au lieu de tous les deux ans¹¹. Déjà, au cours des années 2000, les processeurs ont atteint une limite physique en termes de puissance de calcul. Pour surmonter ce défi, les fabricants ont introduit les processeurs multicœurs afin de continuer à suivre la progression technologique. Néanmoins, depuis 2016, cette solution ne suffit plus. En effet, la fabrication des transistors, mesurant 7 nanomètres depuis 2018, devient de plus en plus coûteuse et leur taille ne pourra bientôt plus être réduite. Face à ces contraintes, les industriels se tournent vers d'autres domaines compétitifs tels que la recherche de matériaux alternatifs au silicium, l'optimisation des batteries et l'amélioration de la résolution des écrans. Les ordinateurs quantiques, en cours de développement depuis les années 1980, offrent une perspective prometteuse, malgré les défis de leur mise en œuvre à grande échelle¹². La convergence entre

¹⁰ Monino, J. L. (2020). Nanotechnologies et intelligence économique : enjeux de la valorisation de l'information et de la création de connaissances. *Marché et organisations*, 39(3), p. 207-228.

¹¹ Rozières, G. (2016). Avec la fin de la loi de Moore, la puissance de vos smartphones ne va plus exploser, mais c'est une bonne nouvelle. *Le HuffPost*. www.huffingtonpost.fr/actualites/article/avec-la-fin-de-la-loi-de-moore-la-puissance-de-vos-smartphones-ne-va-plus-exploser-mais-c-est-une-bonne-nouvelle_74492.html.

¹² Les ordinateurs quantiques représentent une avancée majeure dans le domaine de l'informatique, mais ils font face à plusieurs limitations importantes. Parmi celles-ci, on peut citer la nécessité de remplacer les bits classiques par des qubits, le phénomène de décohérence pouvant altérer les résultats, les erreurs quantiques potentielles, les défis liés à la programmation et enfin, la difficulté de mise à l'échelle.

l'internet des objets, le big data et l'intelligence artificielle peut également être mise en lumière par la loi de Robert Metcalfe.

4. La loi de Robert Metcalfe : quand les réseaux se multiplient et gagnent en importance

La loi de Robert Metcalfe est utile pour comprendre le développement des secteurs technologiques se rapportant à la mise en réseau des machines. D'après Robert Metcalfe, inventeur d'Ethernet et fondateur de 3Com, « *l'utilité d'un réseau est proportionnelle au carré du nombre de ses utilisateurs* »¹³. Ainsi, un réseau composé d'un seul ordinateur est inutile. Par contre, si le réseau est constitué de deux ordinateurs, sa valeur est multipliée par quatre. Avec trois ordinateurs, sa valeur passe à neuf, et ainsi de suite.

En 1980, Metcalfe a énoncé cette loi empirique pour montrer que la valeur des grands réseaux augmente rapidement. Chaque point du réseau est en communication avec les autres, ce qui explique l'intérêt d'avoir de nombreux utilisateurs. Par exemple, posséder un seul téléphone n'a aucune valeur, mais avoir de nombreux abonnés est bénéfique. Lorsque deux réseaux sont connectés, la valeur totale est supérieure à la somme des valeurs individuelles de chaque réseau. Cela explique le succès de l'Internet, qui est le réseau des réseaux.

La loi de Metcalfe explique la réussite des réseaux sociaux tels que Facebook, Twitter, TikTok et de la technologie Blockchain. Les réseaux sociaux tirent leur valeur de la communication entre les utilisateurs, du partage de contenu et de l'interaction avec un large public. De même, la technologie Blockchain repose sur un réseau décentralisé où chaque utilisateur contribue à la sécurité et à la fiabilité du système, augmentant ainsi sa valeur globale.

Dans le même esprit que la loi de Robert Metcalfe, les lois de Reed, Gilder et Beckstrom permettent de comprendre l'importance des réseaux et l'évolution des technologies de communication.

- La loi de Reed, introduite en 1999 par David Patrick Reed, souligne que la valeur des réseaux importants peut croître de manière exponentielle avec leur taille, permettant

¹³ Benhamou, B. (2006). Organiser l'architecture de l'internet. Esprit, 5, p. 154-168.

ainsi de mieux comprendre l'effet de réseau et l'évolution des réseaux sociaux tels que Twitter ou Facebook¹⁴.

- George Gilder a formulé la loi de Gilder en 1990, affirmant que la bande passante du réseau Internet augmentera de trois fois chaque année, ce qui explique la rapide évolution de l'Internet et du web¹⁵.
- La loi de Beckstrom, formulée en 2009, établit que l'importance d'un réseau dépend de sa taille et du temps que les utilisateurs y passent. Elle propose une manière précise d'évaluer la valeur d'un réseau en prenant en compte les transactions réalisées par chaque utilisateur et l'ensemble des utilisateurs¹⁶.

La loi de Robert Metcalfe est également applicable à la convergence de l'internet des objets, du big data et de l'intelligence artificielle.

- La valeur d'un réseau dans l'internet des objets augmente avec le nombre d'objets connectés, permettant des analyses approfondies et une meilleure compréhension des modèles et tendances.
- Le big data bénéficie de la loi de Metcalfe car plus il y a de données disponibles, plus sa valeur augmente, permettant des analyses précieuses à partir des données collectées par l'IoT.
- L'IA peut être entraînée et améliorée avec la quantité croissante de données à traiter provenant de l'IoT, permettant de détecter des schémas, prendre des décisions intelligentes et automatiser des tâches complexes.

Ainsi, la loi de Robert Metcalfe contribue à la compréhension de la convergence de l'IoT, du big data et de l'IA. Elle met en évidence le fait que la valeur de cette convergence augmente proportionnellement au nombre croissant de dispositifs connectés, de données disponibles et d'algorithmes d'IA entraînés. C'est grâce à l'avènement de l'Internet et du web que la loi de Robert Metcalfe a pu être envisagée.

¹⁴ Druel, F. (2007, 14 novembre). Évaluation de la valeur à l'ère du web : Proposition de modèle de valorisation des projets non marchands. <https://theses.hal.science/tel-00346337>, p. 156.

¹⁵ Gilder, G. (2000). TELECOSM: How Infinite Bandwidth Will Revolutionize Our World. The Free Press.

¹⁶ Reillier, L. C., & Reillier, B. (2018). Platform strategy : Libérez le potentiel des communautés et des réseaux pour accélérer votre croissance. Dunod, p. 63-74.

5. L'avènement de l'Internet et du web : quand le monde entier devient accessible en un clic

La révolution numérique a connu un tournant décisif avec l'avènement de l'Internet, qui a permis aux ordinateurs et aux serveurs de communiquer à travers le monde grâce au protocole TCP/IP¹⁷. La naissance d'ARPANET en 1969, le premier réseau de communication, a jeté les bases du transfert des données entre les machines. Pour ce faire, ARPANET est le premier à utiliser la technique de commutation des paquets qui demeure le pilier de l'échange des données sur Internet¹⁸.

L'invention du protocole TCP/IP au début des années 1970 a permis de faire correspondre différents réseaux hétérogènes tout en standardisant la communication entre les ordinateurs et les serveurs localisés dans le monde entier. La généralisation de ces protocoles dans les années 1980 a été à l'origine de l'Internet, le réseau des réseaux. En effet, pour que les machines puissent communiquer dans le réseau, elles doivent se comprendre.

Cependant, c'est l'invention du web qui a véritablement propulsé la révolution numérique, en créant ce que Marshall McLuhan appelait « le village planétaire ». Le web, en tant qu'application majeure de l'Internet, a facilité l'accès au réseau et a joué un rôle essentiel dans sa démocratisation. Il a permis la libre circulation, la création, la consultation et le partage des informations, rendant ainsi l'Internet accessible à tous. Les différentes évolutions du web conditionnent par conséquent l'expérience des utilisateurs sur Internet.

En premier temps, le **web 1.0**, également connu sous le nom de web statique, s'étend de 1989 à 2004. Son principal objectif était de diffuser des informations. Les utilisateurs étaient de

¹⁷ Les protocoles TCP/IP sont un ensemble de règles et de normes utilisées pour la communication des données sur Internet. TCP (Transmission Control Protocol) assure la fiabilité de la transmission des données en les découpant en paquets et en les réassemblant à destination. IP (Internet Protocol) est responsable du routage des paquets de données sur le réseau en attribuant des adresses IP à chaque appareil connecté. Ensemble, ces protocoles permettent une communication efficace et fiable entre les appareils sur Internet.

¹⁸ La commutation de paquets est une technique de transmission de données qui découpe les informations en petits paquets avant de les envoyer sur le réseau. Chaque paquet contient des informations sur son origine, sa destination et sa position dans la séquence. Ces paquets sont ensuite envoyés individuellement sur le réseau et peuvent emprunter des chemins différents avant d'être reconstitués à destination. Cette méthode permet une utilisation plus efficace des ressources du réseau et une transmission plus rapide des données.

simples consommateurs de contenu en ligne, sans pouvoir contribuer ou interagir. Les sites web se composaient principalement de pages statiques avec peu d'interactivité¹⁹.

En second temps, **le web 2.0** ou web social a couvert la période de 2000 à 2010. Il a introduit l'interactivité et la participation des utilisateurs, permettant ainsi la création de contenu généré par les utilisateurs. Les sites web 2.0 ont intégré des fonctionnalités telles que les blogs, les réseaux sociaux, les forums de discussion et les plateformes de partage de contenu. Les utilisateurs pouvaient désormais commenter, partager, créer et modifier du contenu en ligne, ce qui a favorisé la collaboration et l'engagement des utilisateurs²⁰.

En troisième temps, le **web 3.0**, souvent appelé web sémantique, s'étend des années 2010 à 2020. Il s'agit d'une vision d'Internet dans laquelle les informations sont organisées de manière plus intelligente et plus structurée. Le web 3.0 vise à rendre les informations plus accessibles et compréhensibles pour les machines, afin qu'elles puissent effectuer des tâches plus avancées telles que la recherche d'informations, la recommandation de contenu personnalisé et la prise de décision automatisée. Cela est rendu possible grâce à l'utilisation des technologies telles que le RDF, l'OWL et le SPARQL, qui permettent de structurer les données de manière sémantique et de les interroger de manière plus précise²¹. Le web 3.0 repose également sur l'utilisation de l'intelligence artificielle, permettant aux machines d'apprendre et de s'adapter aux préférences et aux besoins des utilisateurs. Ainsi, ce web vise à offrir une expérience utilisateur plus personnalisée et intuitive, en anticipant les besoins des utilisateurs et en leur proposant des informations pertinentes de manière proactive. De plus, ce web favorise l'interopérabilité des données, en permettant aux différentes machines et systèmes de communiquer et de partager

¹⁹ Sarafe, P. N. (2021). The WWW Journey of Web 1.0 to 3.0. Dans *Impact of ICT in teaching, learning and evaluation process* (p. 202-209). Harshwardhan Publication Pvt.Ltd. https://www.vidyawarta.com/01/wp-content/uploads/2021/12/book_impact_of_ict_in_teaching_learning.pdf.

²⁰ Quoniam, L. & Boutet, C. (2008). Web 2.0, la révolution connectique. *Document numérique*, 11, 133-143. <https://www.cairn.info/revue-document-numerique-2008-1-page-133.htm>.

²¹ Le RDF (Resource Description Framework), l'OWL (Web Ontology Language) et le SPARQL (SPARQL Protocol and RDF Query Language) sont des technologies clés du web sémantique. Le RDF utilise des triplets pour représenter les données de manière flexible. L'OWL permet de définir des ontologies pour décrire les concepts et les relations. Le SPARQL est un langage de requête avancé pour interroger les données RDF de manière efficace. Ces trois technologies combinées offrent un cadre puissant pour représenter, partager et interroger les données de manière intelligente et précise dans le domaine du web sémantique.

des informations de manière fluide²². Ce stade du web est également caractérisé par la généralisation de la blockchain à partir de 2008 et de l'internet des objets à partir de 2010²³. En quatrième temps, **le web 4.0**, également appelé web intelligent, englobe la période de 2020 à 2030. Il se caractérise par une intégration avancée de l'intelligence artificielle, de la réalité virtuelle, de la réalité augmentée, des technologies de traitement du langage naturel et de l'internet des objets. Dans le cadre du web 4.0, ces technologies sont hautement développées et font partie intégrante du quotidien des individus. L'objectif du web 4.0 est de créer un environnement numérique encore plus immersif et interactif, où les utilisateurs peuvent interagir de manière transparente avec des objets physiques et virtuels²⁴. Par exemple, cela pourrait se traduire par des maisons intelligentes qui ajustent automatiquement la température et l'éclairage en fonction des préférences de l'utilisateur, ou des magasins en ligne qui utilisent la réalité augmentée pour permettre aux clients d'essayer virtuellement des vêtements avant de les acheter.

²² Tekdal, Mehmet & Sayginer, Şenol & Baz, Fatih. (2018). Developments Of Web Technologies And Their Reflections To Education: A Comparative Study. Journal Of Educational And Instructional Studies In The World ,vol.8, 17-27 Issue: 1 ISSN: 2146-7463.

²³ Le web 3.0 est aussi caractérisé par sa décentralisation, ce qui réduit la dépendance envers les grandes plateformes et les serveurs centralisés. Grâce à l'utilisation de technologies telles que la blockchain et la cryptographie, le web 3.0 permet la création d'applications décentralisées (dApps) qui fonctionnent sur un réseau pair-à-pair. Ainsi, les données et les applications ne sont plus stockées sur des serveurs centralisés, mais plutôt sur des nœuds du réseau, ce qui renforce la résistance du web à la censure et à la manipulation. De plus, le web 3.0 donne aux utilisateurs le contrôle total sur leurs propres données. Au lieu de les stocker sur des serveurs appartenant à des entreprises, les utilisateurs peuvent les stocker de manière sécurisée sur leur propre appareil ou sur des réseaux décentralisés. Cette approche offre aux utilisateurs une plus grande maîtrise de leur vie privée et leur permet de décider de l'utilisation de leurs données.

²⁴ Tekdal, Mehmet & Sayginer, Şenol & Baz, Fatih. (2018). Op. Cit.

Tableau 2 : Les différentes étapes de l'évolution du web

<i>Caractéristiques</i>	Web 1.0	Web 2.0	Web 3.0	Web 4.0
<i>Contenu principal</i>	Pages statiques et limitées	Contenu généré par l'utilisateur	Contenu sémantique	Intelligence artificielle
<i>Expérience utilisateur</i>	Passive	Interactif	Personnalisée	Adaptative
<i>Réseaux sociaux</i>	Absents	Introduction des réseaux sociaux	Réseaux sociaux et connexion avec des objets intelligents	Réseaux sociaux avancés avec intégration totale des objets intelligents
<i>Intelligence artificielle</i>	Non	Non	Présence limitée	Importante
<i>Technologie principale</i>	HTML	JavaScript, AJAX	RDF, SPARQL	Internet des objets, Big Data, IA, réalité virtuelle, réalité augmentée
<i>Principaux services</i>	Sites web statiques, Emails	Blogs, Réseaux sociaux	Assistant personnel, recommandations personnalisées	Interaction homme-machine, objets connectés
<i>Interaction avec les utilisateurs</i>	Limitée aux formulaires de contact	Commentaires, partage de contenu, évaluations	Suggestions personnalisées, services basés sur la localisation	Communication transparente, personnalisation profonde
<i>Accessibilité</i>	Desktop	Web et mobile	Web sémantique, applications intelligentes	Tous les appareils connectés, réalité augmentée
<i>Traitement des données</i>	Collecte et stockage de données	Analyse et exploitation des données	Traitement des données sémantiques	Analyse prédictive, apprentissage automatique
<i>Objectif principal</i>	Publication d'informations	Collaboration et partage de contenu	Organisation de l'information et assistance	Expérience utilisateur optimale, automatisation totale

Source : Le tableau 2 est élaboré par le chercheur, auteur de cet article, dans le cadre de ses recherches.

L'émergence de l'Internet et du web a engendré la création du cyberspace, un environnement où les acteurs interagissent en échangeant des données numériques. Il se compose de trois couches distinctes : la couche physique, la couche logique et la couche sémantique.

- La couche physique comprend les infrastructures physiques telles que les câbles sous-marins, les datacenters, les ordinateurs, les routeurs, les commutateurs et les objets connectés.
- La couche logique concerne les protocoles de transmission des informations sur Internet (TCP/IP, FTP, UDP, POP) ainsi que les applications et les logiciels utilisés par les machines.
- La couche sémantique traite des informations échangées dans le cyberspace.

Le cyberspace est le résultat de la révolution numérique et se développe en parallèle des progrès des technologies de l'information et de la communication.

6. L'essor de l'internet des objets : quand les objets du quotidien prennent vie et se connectent à Internet

L'avènement du web 2.0 a été une évolution majeure dans le cyberspace. Il a permis une connectivité d'ampleur mondiale, des possibilités de mobilisation sociale et d'un usage intensif du réseau par les États, les entreprises et surtout les individus. En plus de ces facteurs, l'usage massif des réseaux sociaux génère des données massives dans le cyberspace, marquant ainsi le début de l'ère du big data. Cependant, l'émergence du web 3.0, qui inaugure l'ère de l'internet des objets, a considérablement élargi les impacts du cyberspace. D'une part, l'internet mobile s'est intégré dans notre quotidien, tandis que d'autre part, l'internet des objets a commencé à se développer rapidement.

L'internet des objets englobe tous les objets physiques connectés qui possèdent leur propre identité numérique et sont capables de communiquer entre eux. Il se réfère à l'identification d'un objet physique par le biais d'un système de communication sans fil tel que le Wi-Fi, le Bluetooth, ou une puce RFID. L'IoT recouvre toutes les technologies et infrastructures qui permettent à différents types d'objets de fonctionner en utilisant une connexion Internet, et ces objets peuvent être contrôlés à distance à l'aide d'un ordinateur, d'un smartphone ou d'une tablette²⁵.

²⁵ Ben Hamida, K. (2016). Cyborg vs Inforg : quel modèle d'évolution humaine dans la société de l'information ? Sociétés, 131, 87-95. <https://doi.org/10.3917/soc.131.0087>.

Depuis un certain temps déjà, les objets connectés à Internet ne se limitent plus aux ordinateurs et téléphones intelligents. En 2010, il y avait environ 4 milliards d'objets connectés dans le monde, un chiffre qui est passé à 15 milliards en janvier 2017²⁶. Selon certaines prévisions, d'ici 2025, il pourrait y avoir jusqu'à 1000 milliards d'objets connectés à Internet. Ces chiffres témoignent d'une évolution spectaculaire. Grâce à l'évolution exponentielle de la puissance de calcul et à la baisse constante des prix du matériel, pratiquement n'importe quel objet peut désormais se connecter à Internet. Actuellement, il existe de nombreux capteurs intelligents accessibles à un prix abordable tels que les smartphones, les tablettes, les montres, les voitures, les réfrigérateurs, les bracelets, les caméras, etc. Sous l'impulsion de l'internet des objets, des milliards d'objets deviendront intelligents et connectés à Internet. Cette évolution entraînera une augmentation significative des échanges de données et favorisera l'émergence de nouveaux services basés sur l'exploitation des données massives²⁷.

Tableau 3 : Liste des catégories d'objets connectés : descriptions et exemples

<i>Catégorie</i>	Description	Exemples
<i>Domotique</i>	Utilisation de l'IoT pour automatiser et contrôler les appareils domestiques	Thermostats intelligents, ampoules connectées, serrures intelligentes
<i>Santé</i>	Utilisation de l'IoT pour surveiller la santé et le bien-être	Bracelets de fitness, moniteurs de fréquence cardiaque, piluliers connectés
<i>Industrie</i>	Utilisation de l'IoT pour optimiser les processus industriels	Capteurs de température, systèmes de suivi des actifs, maintenance prédictive
<i>Agriculture</i>	Utilisation de l'IoT pour améliorer l'efficacité agricole	Capteurs d'humidité du sol, drones agricoles, systèmes d'irrigation intelligents
<i>Transport</i>	Utilisation de l'IoT pour améliorer la gestion des transports	Véhicules autonomes, systèmes de gestion de flotte, péage électronique

²⁶ Renaud. (2021). Le développement des objets connectés : les nouveaux chiffres de 2018. TECHNPLAY.COM. technplay.com/objets-connectes-chiffres-etudes-2401.

²⁷ Schwab, K. (2016). La quatrième révolution industrielle. Dunod, p. 129-130.

<i>Ville intelligente</i>	Utilisation de l'IoT pour améliorer la gestion urbaine	Capteurs de pollution de l'air, éclairage public intelligent, systèmes de stationnement
<i>Logistique</i>	Utilisation de l'IoT pour optimiser la chaîne d'approvisionnement	Étiquettes RFID, suivi des colis en temps réel, entrepôts intelligents
<i>Énergie</i>	Utilisation de l'IoT pour optimiser la consommation et la production d'énergie	Compteurs intelligents, gestion de l'énergie domestique, éclairage intelligent
<i>Sécurité</i>	Utilisation de l'IoT pour renforcer la sécurité des biens et des personnes	Caméras de surveillance connectées, systèmes d'alarme intelligents, détecteurs d'incendie connectés
<i>Environnement</i>	Utilisation de l'IoT pour surveiller et protéger l'environnement	Capteurs de qualité de l'eau, systèmes de suivi de la faune, gestion des déchets intelligente

Source : Le Tableau 3 est élaboré par le chercheur, auteur de cet article, dans le cadre de ses recherches.

Avec l'avènement du web 2.0, les données émanent essentiellement des activités humaines dans le cyberspace. Cependant, avec l'émergence de l'internet des objets, les données proviennent à la fois des humains connectés et des milliards d'objets connectés de toutes natures. À bien des égards, la révolution de l'internet des objets dépasse celle de l'internet mobile. L'internet des objets permet une meilleure intégration entre l'environnement bâti et l'environnement réel²⁸. Cependant, il comporte également des risques de cyberattaques et de cybersurveillance. En effet, les objets connectés sont vulnérables aux attaques et peuvent être exploités pour surveiller les individus. Parallèlement, la croissance de l'IoT s'accompagne d'une augmentation des données massives (big data), un aspect qui est au cœur de cette recherche.

²⁸ Rifkin, J., et al. (2014). La nouvelle société du coût marginal zéro : L'Internet des objets, l'émergence des communaux collaboratifs et l'éclipse du capitalisme. e-book, Les Liens Qui Libèrent, p. 28.

7. L'explosion du big data : quand les données deviennent le carburant de notre société numérique

Le big data désigne l'ensemble des données numériques devenues si énormes qu'elles dépassent les capacités de traitement du cerveau humain ainsi que des outils statistiques traditionnels. Il peut être décrit à travers six V : le volume, la variété, la vitesse, la véracité, la visualisation et la valeur²⁹.

- Le volume se réfère à la quantité massive de données générées par les réseaux sociaux, le visionnage de vidéos en ligne, l'économie collaborative, l'internet mobile et l'internet des objets.
- La variété met en avant la diversité des formats de données disponibles.
- La vitesse souligne la rapidité à laquelle les données sont produites.
- La véracité insiste sur l'importance de la crédibilité de la source des données.
- La visualisation consiste à représenter visuellement les données pour en faciliter la compréhension.
- La valeur souligne l'importance de l'analyse des données pour en tirer des informations pertinentes et utiles.

Par ailleurs, les données massives doivent pouvoir être stockées, transmises et traitées de manière efficace.

- Le cloud computing, solution innovante de stockage des données, permet d'accéder à distance à des données stockées dans des datacenters puissants, favorisant ainsi l'informatique ubiquitaire.
- Le déploiement de la 5G pour la transmission des données offre un très haut débit, une faible latence et un soutien à l'écosystème de l'internet des objets.
- L'évolution exponentielle de la puissance de calcul selon la loi de Moore est essentielle pour traiter efficacement des données toujours plus volumineuses.

Les avancées en matière du big data et de la puissance de calcul sont les deux facteurs du développement de l'intelligence artificielle.

²⁹ Cazals, F., & Cazals, C. (2019). Intelligence artificielle : L'intelligence amplifiée par la technologie (1re éd.). DE BOECK SUP, p. 29-35.

8. L'ascension fulgurante de l'intelligence artificielle : quand les machines imitent et surpassent les capacités humaines

L'intelligence artificielle, selon Marvin Minsky, consiste à faire réaliser par une machine des tâches qui nécessitent normalement l'intelligence humaine³⁰. Ce domaine de recherche multidisciplinaire concerne les objets dotés d'un comportement intelligent et s'inscrit dans le cadre des sciences cognitives, qui étudient les mécanismes de la pensée et de la connaissance. Les sciences cognitives regroupent les sciences du langage, de l'éducation, les neurosciences, la philosophie de la cognition, la psychologie cognitive, l'anthropologie cognitive et l'intelligence artificielle³¹.

L'objectif initial des pionniers de l'intelligence artificielle était de reproduire les facultés humaines telles que l'apprentissage, le raisonnement, l'intuition, l'imagination et la créativité dans une machine. Aujourd'hui, les machines effectuent certaines tâches mieux que les humains, comme le calcul rapide, le stockage fiable d'informations et le traitement de grandes quantités de données pour des résultats précis. L'IA est présente chaque fois qu'une machine réalise des tâches intelligentes ou habituellement accomplies par les humains, telles que la conduite de voiture, le séquençage de l'ADN, la détection de cellules cancéreuses, la recherche sur Google, les suggestions sur YouTube ou Netflix, la détection de SPAMS dans les messageries, la reconnaissance vocale et faciale, le fonctionnement des applications d'économie collaborative, la résolution de jeux complexes ou la traduction automatique.

Le développement de l'IA repose principalement sur le big data et la puissance de calcul. Avant l'avènement du web 2.0, les IA étaient essentiellement symboliques. Une IA est dite symbolique lorsqu'elle n'apprend pas et se contente de suivre à la lettre un ensemble de règles prédéfinies. On parle dans ce cas des algorithmes à base de règles. Cependant, avec l'avènement du web 2.0 et du web 3.0, les IA ont eu accès à beaucoup de données pour s'entraîner et apprendre. Cela marque le début de l'essor des algorithmes d'apprentissage ou IA connexionniste. Cette nouvelle approche de l'IA, qui requiert des données en quantité et une puissance de calcul conséquente, a permis de surmonter les limitations précédentes. Aujourd'hui, les IA apprennent davantage à partir des données qu'elles ne sont programmées à

³⁰ Vannieuwenhuyze, A. (2019). Intelligence artificielle vulgarisée : Le machine learning et le deep learning par la pratique. ENI, p. 28.

³¹ Barraud, B. (2020). L'intelligence artificielle : Dans toutes ses dimensions. L'Harmattan, p. 33.

l'avance, conférant ainsi un pouvoir accru aux détenteurs de ces données³². Ainsi, l'intelligence est de plus en plus associée à la capacité d'apprentissage, qui permet à une machine d'augmenter ses performances au fil de l'expérience. Désormais, le terme IA recouvre uniquement les algorithmes d'apprentissage. À ce sujet, l'IA se subdivise en deux sous-catégories qui sont l'apprentissage automatique et l'apprentissage profond³³.

Selon Yann Le Cun, l'utilisation de l'apprentissage automatique (machine learning) permet de surmonter les limitations des algorithmes programmés manuellement. En effet, ces derniers sont souvent inadaptés aux tâches complexes telles que la reconnaissance d'objets ou vocale, car il est impossible d'écrire un programme qui puisse s'adapter à toutes les situations. En revanche, l'apprentissage automatique offre la possibilité de développer un système entraînable. La méthode la plus utilisée de ce système est l'apprentissage supervisé. Par exemple, dans le cadre de la reconnaissance d'images, pour qu'une machine apprenne à reconnaître une image de chat, il faut lui montrer des millions d'images de chats. Au fil du temps, la machine va pouvoir reconnaître des chats dans toutes les images. Cependant, l'apprentissage automatique nécessite l'intervention humaine. Ainsi, en cas de nouvel usage, le système doit être modifié³⁴. Avec l'utilisation de l'apprentissage automatique, les machines sont capables d'apprendre à partir de données et de généraliser cet apprentissage à de nouvelles données. Il existe trois types d'apprentissage distincts. Tout d'abord, l'apprentissage supervisé permet à la machine d'apprendre à partir de données étiquetées par des humains. Ensuite, l'apprentissage non supervisé donne à la machine la capacité d'apprendre de manière autonome à partir de données non étiquetées. Enfin, l'apprentissage par renforcement permet à la machine d'apprendre par l'expérience³⁵.

L'apprentissage automatique est largement utilisé dans de nombreux domaines tels que le stockage dans le cloud, les réponses automatiques dans les messageries, l'identification des résultats pertinents sur les moteurs de recherche, la reconnaissance faciale sur les réseaux sociaux, l'évaluation des risques liés aux prêts bancaires, la fixation des prix par rapport à la

³² Alexandre, L. (2017). La guerre des intelligences. JC Lattès.

³³ Ascoli, S. D. (2020). Op. Cit.

³⁴ LeCun, Y. (s.d.). Qu'est-ce que l'intelligence artificielle ? Collège de France. Consulté le 12 mai 2022, à l'adresse www.college-de-france.fr/site/yann-lecun/Recherches-sur-l-intelligence-artificielle.htm.

³⁵ Vannieuwenhuyze, A. (2019). Op. Cit., p. 29.

demande du marché, les diagnostics médicaux, la détection de spam, l'investissement en bourse, ainsi que dans les systèmes de recommandation de Netflix et YouTube³⁶.

L'apprentissage profond (deep learning), quant à lui, présente l'avantage de réduire la nécessité d'intervention humaine. Cette méthode requiert beaucoup de données et de puissance de calcul. L'apprentissage profond est à l'origine des récentes percées en matière d'intelligence artificielle. Il consiste à automatiser l'analyse des données par la machine, lui permettant d'apprendre de manière autonome à chaque étape. Ainsi, la machine sera capable de s'améliorer à mesure qu'elle apprend pour maîtriser le problème posé et éventuellement s'adapter à d'autres problèmes³⁷.

La méthode d'apprentissage profond s'inspire du fonctionnement du cerveau humain. Elle utilise les réseaux de neurones artificiels. Ces derniers sont constitués d'un enchaînement de couches de neurones. Chaque neurone d'une couche synthétise les données reçues de la couche précédente et les envoie aux neurones de la couche suivante. Les réseaux de neurones de hautes performances peuvent avoir plusieurs centaines de couches en cascade. L'avantage majeur des réseaux de neurones artificiels est qu'ils apprennent à extraire les informations pertinentes des données eux-mêmes sans intervention humaine. Lorsqu'on utilise l'apprentissage automatique, il est nécessaire de choisir les informations pertinentes afin de les rendre accessibles à l'intelligence artificielle. Cependant, cette sélection peut entraîner la perte involontaire de certaines informations. En revanche, avec l'apprentissage profond, l'algorithme est capable d'analyser toutes les données par lui-même afin d'identifier les informations appropriées³⁸.

L'apprentissage profond révolutionne de nombreux domaines grâce à ses applications variées et innovantes³⁹. Il est utilisé dans divers secteurs tels que la vision par ordinateur, la robotique, la reconnaissance d'images, le deep fake, le transfert de style, la reconnaissance du langage, la traduction automatique, les assistants vocaux et la conduite des voitures autonomes⁴⁰.

³⁶ Ascoli, S. D. (2020). Op. Cit., p. 61-72.

³⁷ LeCun, Yann. Op. Cit.

³⁸ Ascoli, S. D. (2020). Op. Cit., p. 81-84.

³⁹ Malgré ses nombreux avantages, l'apprentissage profond présente des défis majeurs, notamment la nécessité de quantités massives de données pour l'entraînement des modèles, la puissance de calcul requise pour le traitement de ces données, la complexité des algorithmes utilisés et la transparence des décisions prises par ces algorithmes.

⁴⁰ Ascoli, S. D. (2020). Op. Cit., p. 87-116.

L'intelligence artificielle repose sur trois facteurs essentiels : les données, la puissance de calcul et les algorithmes. En effet, les algorithmes se nourrissent des données pour s'entraîner, mais plus il y a de données, plus la puissance de calcul nécessaire pour les traiter est importante. Les avancées dans le domaine de la puissance de calcul et de la collecte de données ont contribué à l'essor de l'apprentissage profond. Contrairement au cerveau humain, l'IA nécessite une grande quantité de données pour apprendre. Par exemple, un enfant peut reconnaître un chat après avoir vu seulement trois photos, tandis qu'une IA a besoin de millions d'images pour la même tâche. Une fois entraîné, l'algorithme peut cependant reconnaître avec précision les caractéristiques d'un chat.

9. Les relations entre l'internet des objets, le big data et l'IA : quand les objets communiquent, les données se multiplient et l'IA prend le contrôle

À présent, il convient d'établir les relations qui existent entre l'Internet des objets, le big data et l'intelligence artificielle.

Le cyberspace est le fruit de l'émergence et de la maturité de l'internet et du web. La nature de l'échange des données dans le cyberspace est liée aux différentes évolutions du web. La dernière évolution du web est l'avènement de l'internet des objets. Avec ce dernier, désormais des flux considérables de données numériques circulent dans le cyberspace⁴¹. Ainsi, c'est la multiplication des objets connectés qui a consacré l'explosion du big data, car plus il y a d'objets connectés, plus les données générées augmentent. Par ailleurs, même si le début de l'intelligence artificielle date depuis longtemps, son développement se heurtait aux limites des algorithmes à base de règles ainsi que la carence des données et de la puissance de calcul pour la conception des algorithmes d'apprentissage. À cet égard, le respect de la loi de Moore et surtout l'avènement de l'internet des objets constituent deux moteurs essentiels de la maturité de l'IA. La loi de Moore a permis une évolution exponentielle de la puissance de calcul, indispensable pour les méthodes d'apprentissage. Le web 2.0 et le web 3.0 ont permis aux IA d'avoir accès à de gigantesques bases de données pour s'entraîner.

⁴¹ Le terme infobésité est utilisé depuis le web 2.0 pour souligner notamment le déluge d'informations.

Tableau 4 : L'interconnexion et le renforcement mutuel de l'IoT, du big data et de l'IA

Aspects	Description
Internet des objets	L'Internet des objets est un réseau de dispositifs physiques connectés entre eux et à Internet, collectant et échangeant des données en temps réel.
Big data	Le big data fait référence à la collecte, l'analyse et l'exploitation de grandes quantités de données provenant de diverses sources pour en tirer des insights et des tendances significatives.
Intelligence artificielle	L'intelligence artificielle est la capacité des machines à imiter l'intelligence humaine pour effectuer des tâches telles que l'apprentissage, la résolution de problèmes, la prise de décisions et la compréhension du langage naturel.
Convergence	La convergence de l'IoT, du big data et de l'IA se réfère à l'intégration de ces technologies pour créer des systèmes intelligents capables de collecter, analyser et agir sur les données de manière autonome.
Stimulus de croissance	L'IoT a stimulé la croissance du big data en générant une quantité massive de données provenant des capteurs et des dispositifs connectés, nécessitant des outils et des techniques avancés pour les gérer et les analyser.
Alimentation de l'IA	La croissance du big data a alimenté le développement de l'IA en fournissant des ensembles de données massives pour entraîner les algorithmes d'apprentissage automatique et améliorer la précision des modèles prédictifs.
Nouveaux défis	La convergence de ces technologies soulève des défis tels que la protection de la vie privée, la sécurité des données et l'éthique de l'utilisation des données collectées par les dispositifs IoT.
Opportunités	Cette convergence ouvre la voie à de nouvelles opportunités dans des domaines tels que la santé connectée, les villes intelligentes, l'industrie 4.0 et la personnalisation des services basée sur les données.

Source : *Le Tableau 4 est élaboré par le chercheur, auteur de cet article, dans le cadre de ses recherches*

La convergence de l'internet des objets, du big data et de l'intelligence artificielle représente une avancée majeure dans le domaine de la technologie. En effet, l'internet des objets permet la collecte de données en temps réel à partir de divers appareils connectés, tandis que le big data offre la capacité de stocker et d'analyser ces données à grande échelle. Enfin, l'intelligence artificielle permet d'extraire des informations pertinentes à partir de ces données et de prendre des décisions intelligentes basées sur ces analyses.

Conclusion

Dans un monde où la technologie évolue à une vitesse fulgurante, la convergence de l'internet des objets, du big data et de l'IA représente une étape majeure vers un avenir où l'interaction entre l'homme et la machine est de plus en plus étroite. Cette fusion ouvre la voie à des possibilités notables en matière de découverte, d'innovation et de transformation de la société. Les lois de Moore et de Metcalfe ont jeté les bases de la révolution technologique actuelle en favorisant la croissance rapide des capacités informatiques et en facilitant la connectivité entre les individus et les objets. L'avènement de l'Internet et du web a ouvert de nouvelles perspectives en matière de communication et d'accès à l'information, passant du web 1.0 au web 4.0, véritable réseau intelligent prenant en compte les besoins et les préférences des utilisateurs. L'émergence de l'internet des objets a donné naissance à un univers interconnecté où les objets échangent des informations et produisent une quantité massive de données chaque jour. Cette croissance exponentielle du big data a fourni une source inépuisable de données pour entraîner les algorithmes de l'intelligence artificielle, favorisant ainsi l'émergence de systèmes autonomes capables d'apprendre et de s'adapter en temps réel.

Dans ce contexte, la donnée est le carburant de l'intelligence artificielle. À ce sujet, Yuval Noah Harari a analysé dans son livre « *21 leçons pour le 21e siècle* » comment le big data recompose la société. Selon lui, avec la révolution technologique en cours, le pouvoir est en train de passer des humains aux algorithmes du big data, ce qui pourrait entraver de manière irréversible la liberté individuelle. En effet, deux révolutions concomitantes sont à l'œuvre. D'une part, la révolution biotechnologique permet de percer les mystères du corps humain, notamment du cerveau et des sentiments. D'autre part, la révolution informatique donne accès à des capacités de traitement des données sans précédent, comme en témoigne l'évolution rapide de la puissance des microprocesseurs et les perspectives de l'informatique quantique. La fusion de ces deux révolutions devrait donner naissance à des algorithmes du big data qui pourraient nous connaître mieux que nous-mêmes⁴². De ce point de vue, le fondement de la science repose sur l'idée selon laquelle les organismes sont des algorithmes et que la vie se résume au traitement des données⁴³. L'interconnexion entre l'internet des objets, le big data et l'intelligence artificielle ouvre de nouvelles perspectives dans de nombreux domaines. Cependant, cette convergence soulève des questions éthiques et sociétales importantes. L'utilisation massive des données personnelles et

⁴² Harari, Y. N. (2018). *21 Leçons pour le XXIe siècle*. Albin Michel, p. 51-52.

⁴³ Harari, Y. N. (2017). *Homo Deus : Une brève histoire du futur*. Albin Michel, p. 478.

l'autonomie des systèmes intelligents posent des défis en matière de protection de la vie privée, de sécurité des informations et de contrôle des algorithmes.

Toutefois, les données sont essentielles pour l'innovation à l'ère numérique. Par conséquent, comment mettre en place des régulations pour encadrer le développement de ces technologies, sans pour autant freiner l'innovation ?

Références

Ouvrages

Alexandre, L. (2017). La guerre des intelligences. JC Lattès.

Ascoli, S. D. (2020). Comprendre la révolution de l'intelligence artificielle. First.

Barraud, B. (2020). L'intelligence artificielle : Dans toutes ses dimensions. L'Harmattan.

Cazals, F., & Cazals, C. (2019). Intelligence artificielle : L'intelligence amplifiée par la technologie (1re éd.). DE BOECK SUP.

Ferry, L. (2016). La révolution transhumaniste. Plon.

Gilder, G. (2000). TELECOSM: How Infinite Bandwidth Will Revolutionize Our World. The Free Press.

Harari, Y. N. (2017). Homo Deus : Une brève histoire du futur. Albin Michel.

Harari, Y. N. (2018). 21 Leçons pour le XXIe siècle. Albin Michel.

Reillier, L. C., & Reillier, B. (2018). Platform strategy : Libérez le potentiel des communautés et des réseaux pour accélérer votre croissance. Dunod, p. 63-74.

Rifkin, J. (2012). La troisième révolution industrielle : Comment le pouvoir latéral va transformer l'énergie, l'économie et le monde. Les Liens Qui Libèrent.

Rifkin, J., et al. (2014). La nouvelle société du coût marginal zéro : L'Internet des objets, l'émergence des communaux collaboratifs et l'éclipse du capitalisme. e-book, Les Liens Qui Libèrent.

Sarafe, P. N. (2021). The WWW Journey of Web 1.0 to 3.0. Dans Impact of ICT in teaching, learning and evaluation process (p. 202-209). Harshwardhan Publication Pvt.Ltd.
https://www.vidyawarta.com/01/wp-content/uploads/2021/12/book_impact_of_ict_in_teaching_learning.pdf.

Schwab, K. (2016). La quatrième révolution industrielle. Dunod.

Vannieuwenhuyze, A. (2019). Intelligence artificielle vulgarisée : Le machine learning et le deep learning par la pratique.

Thèse

Druel, F. (2007, 14 novembre). Évaluation de la valeur à l'ère du web : Proposition de modèle de valorisation des projets non marchands. <https://theses.hal.science/tel-00346337>.

Articles de revues

Ben Hamida, K. (2016). Cyborg vs Inforg : quel modèle d'évolution humaine dans la société de l'information ? *Sociétés*, 131, 87-95. <https://doi.org/10.3917/soc.131.0087>.

Benhamou, B. (2006). Organiser l'architecture de l'internet. *Esprit*, 5, p. 154-168.

Monino, J. L. (2020). Nanotechnologies et intelligence économique : enjeux de la valorisation de l'information et de la création de connaissances. *Marché et organisations*, 39(3), p. 207-228.

Moore, G. E. (1965). Cramming More Components Onto Integrated Circuits. *Electronics*, 38.

Moore, G. E. (1975). Progress in Digital Integrated Electronics. *IEEE Text Speech*.

Quoniam, L. & Boutet, C. (2008). Web 2.0, la révolution connectique. *Document numérique*, 11, 133-143. <https://www.cairn.info/revue-document-numerique-2008-1-page-133.htm>.

Tekdal, Mehmet & Sayginer, Şenol & Baz, Fatih. (2018). Developments Of Web Technologies And Their Reflections To Education: A Comparative Study. *Journal Of Educational And Instructional Studies In The World* ,vol.8, 17-27 Issue: 1 ISSN: 2146-7463.

Articles de journaux et de web

GadgetVersus. (s.d.). Intel Core i9-9880H vs AMD Ryzen Threadripper 3990X. Consulté le 17 mai 2022, à l'adresse fr.gadgetversus.com/processeur/intel-core-i9-9880h-vs-amd-ryzen-threadripper-3990x.

LeCun, Y. (s.d.). Qu'est-ce que l'intelligence artificielle ? Collège de France. Consulté le 12 mai 2022, à l'adresse www.college-de-france.fr/site/yann-lecun/Recherches-sur-l-intelligence-artificielle.htm.

Renaud. (2021). Le développement des objets connectés : les nouveaux chiffres de 2018. *TECHNPLAY.COM*. technplay.com/objets-connectes-chiffres-etudes-2401.

Rozières, G. (2016). Avec la fin de la loi de Moore, la puissance de vos smartphones ne va plus exploser, mais c'est une bonne nouvelle. *Le HuffPost*. www.huffingtonpost.fr/actualites/article/avec-la-fin-de-la-loi-de-moore-la-puissance-de-vos-smartphones-ne-va-plus-exploser-mais-c-est-une-bonne-nouvelle_74492.html.

T., D. (2011, 16 novembre). Le microprocesseur a 40 ans. Génération NT.
<https://www.generation-nt.com/actualites/microprocesseurs-anniversaire-intel-4004-1502961>.