

Vers la Sécurité Humaine grâce à une Education Symbiotique Evolutive Transdisciplinaire Personnalisée Basée sur des Jumeaux Numériques Cognitifs

Article initialement publié dans « Cadmus Journal » le 31 juillet 2023

Sous le titre

[Towards Human Security through Personalized Trans-disciplinary Evolving Symbiotic Education Based on Cognitive Digital Twins](#)

[Witold Kinsner](#)

Résumé

L'éducation a évolué à travers une feuille de route compliquée pour servir des objectifs variés allant de la compréhension du monde dans lequel nous vivons à la formation des serveurs des chaînes de production, après la première révolution industrielle (IR1) à d'autres cibles commerciales tout au long des trois révolutions industrielles suivantes. Avec les progrès scientifiques et technologiques actuels, la sécurité humaine et la durabilité étaient censées prendre soin d'elles-mêmes et évoluer naturellement. Non seulement elles n'ont pas évolué, mais les menaces déclenchées par les seuls développements des outils d'Intelligence Artificielle (IA) deviennent existentielles. Notre insensibilité et notre négligence à l'égard de l'écosystème doivent maintenant être transformées de toute urgence. L'éducation est au cœur de cette transformation. L'approche uni-disciplinaire traditionnelle de l'éducation semble avoir été suffisante au cours des trois premières révolutions industrielles, car elle a servi les apprenants tout au long de leur vie. Cependant, elle doit maintenant évoluer vers un modèle collaboratif multi- et transdisciplinaire pour faire face à la croissance exponentielle des connaissances et aux complexités de notre écosystème mises à rude épreuve. L'un des catalyseurs possibles de la transformation est le concept de jumeaux numériques cognitifs (JNC / CDT), qui arrive à maturité en raison des développements du calcul haute performance et de l'intelligence artificielle. Le présent document aborde certains aspects de ce point de vue.

1. Préambule

Cet article vise à mettre en évidence les liens entre la sécurité humaine au sein de notre écosystème et un nouveau type d'éducation symbiotique personnalisée facilitant le renforcement de la communauté par la coopération et le partage des connaissances plutôt que par la seule compétition. Ce nouvel écosystème éducatif s'éloigne de la méthodologie actuelle pour se rapprocher d'un modèle unique. Ce nouveau modèle s'éloigne également de l'accent mis

sur l'enseignement au profit de l'apprentissage théorique et expérientiel et du cadre physique à un environnement hybride. Cette approche comprend plusieurs classes d'intelligence artificielle (IA) [27] et non seulement le Web 2.0 et le Web 3.0 [26], mais aussi d'autres réseaux sans fil, à la fois les satellites terrestres et les satellites en orbite terrestre basse (LEO). Le nouveau modèle d'apprentissage peut être réalisé grâce à des jumeaux numériques cognitifs symbiotiques et mémétiques personnalisés. « Cognitif » fait référence à l'action ou au processus de connaissance. L'informatique cognitive [95], les domaines d'application de l'informatique cognitive et les systèmes cognitifs [103] ont fait l'objet d'études approfondies parce qu'elles prolongent la quête de l'exploration de données et sont essentielles à l'exploration de connaissances.

Les gens rêvent de connaître et de comprendre le monde qui les entoure. Lorsque nous étions isolés géographiquement et culturellement, le partage et l'acquisition des connaissances étaient très lents, mais les connaissances acquises duraient toute une vie. Lorsque nous avons appris à écrire, à imprimer et à voyager, l'échange de connaissances s'est accéléré. Lorsque nous avons découvert comment calculer et communiquer électroniquement, les connaissances et les nouvelles idées sont devenues accessibles à beaucoup plus de personnes, et le rythme du doublement de l'information s'est accéléré à un point tel que nous ne pouvions pas l'absorber sans aide. Les machines connectées et les entités logicielles se sont maintenant matérialisées avec des capacités à reconnaître des modèles et à apprendre par elles-mêmes des observations et des données correspondantes. Leur sophistication a atteint un point où l'on craint que ces machines ne remplacent tous nos emplois et ne constituent même une menace pour l'humanité.

Cette section présente le contexte industriel, commercial et sociétal dans lequel la nouvelle éducation devient si importante.

1.1. Dans quelle mesure la sécurité humaine et la durabilité sont-elles sûres ?

La définition traditionnelle de la sécurité désigne l'ensemble des mesures prises pour protéger : (i) un pays (sécurité nationale, défense) ; (ii) un lieu (agents de sécurité, sécurité aéroportuaire, sécurité énergétique) ; (iii) l'accès (seules les personnes autorisées sont autorisées à se trouver dans un lieu ou à utiliser des documents, des données, des fichiers protégés) ; et (iv) les actifs financiers (actions, obligations ou autres certificats).

La sécurité humaine se concentre sur l'être humain individuel dans le contexte de l'écosystème, et sur toutes les mesures qui sont prises pour protéger les humains, et non pas uniquement sur la sécurité nationale ou la sécurité industrielle. Elle existe en trois dimensions constitutives : (i) la liberté de vivre à l'abri du besoin, (ii) la liberté de vivre à l'abri de la peur [69] et la liberté de créer afin d'améliorer et d'approfondir notre existence. La « liberté à l'abri du besoin » représente la capacité d'un individu à répondre à ses besoins physiques et sociaux essentiels. La « liberté à l'abri de la peur » signifie la capacité d'un individu à vivre sans menaces pour l'intégrité physique ni préjudice intentionnel. La « liberté de créer » représente la capacité humaine essentielle d'apporter des changements à nous-mêmes et au monde dans lequel nous vivons. La mesure de la sécurité humaine utilise souvent l'indice de sécurité humaine [70] avec les données correspondantes disponibles.

La sécurité humaine comprend les domaines suivants (souvent interdépendants), tous conformes aux 17 objectifs de développement durable (ODD) des Nations Unies [98] : (i) la sécurité alimentaire ; ii) Sécurité de l'eau ; iii) Sécurité énergétique ; vi) Sécurité de l'environnement ; v) Sécurité sanitaire ; vi) La sécurité économique ; vii) Sécurité écologique ; viii) La liberté individuelle, la sûreté et la sécurité de la mobilité ; ix) Sécurité communautaire ; et (x) le numérique, la cybersécurité, la cybersécurité physique et la cybersécurité physique et sociale.

Juste au moment de l'expansion de l'IA générative (genAI) et de son potentiel à transformer notre avenir plus que toute autre technologie, Max Tegmark [84] a posé de nombreuses questions liées à la sécurité humaine sur l'impact de l'IA sur la société, la guerre, la justice, la criminalité, les emplois et le sens même d'être humain. Comment pouvons-nous équilibrer notre prospérité sans laisser les gens sans revenu ni but ? Comment pouvons-nous rendre les futurs systèmes d'IA plus robustes, afin qu'ils fassent ce qui nous est bénéfique sans tomber en panne, sans mal fonctionner ou sans être piratés ? Faut-il craindre les armes létales autonomes ? Les machines seront-elles plus intelligentes dans toutes les tâches, remplaçant complètement les humains ? L'IA sera-t-elle utilisée par nous pour gagner plus de puissance que nous ne pouvons en gérer ? Ou l'IA aidera-t-elle la vie à s'épanouir comme jamais auparavant ?

Diverses institutions se sont également penchées sur la façon dont les organisations envisagent la technologie responsable (ResT) et sur la façon dont elles mettent en œuvre des politiques, des cadres ou des stratégies pour atteindre les objectifs ResT [MITT23]. Les Académies nationales des sciences, de l'ingénierie et de la médecine ont abordé de nombreuses préoccupations, notamment la transition des STIM aux STIAM de la maternelle à la 12e année [65] et la façon dont les gens apprennent [63], [64]. Une attention particulière a également été accordée à la cybersécurité physique [66].

Après avoir observé le raz-de-marée de l'IA et l'impact des armes létales autonomes sur le sabotage viral cyber-physique, Stuart Russell [72] a mis un feu rouge sur le conflit potentiel entre les humains et les machines si nous ne repensons pas l'IA à partir de zéro. Alors que les avantages à court terme sont déjà visibles dans des domaines tels que les assistants personnels intelligents et l'accélération de la recherche scientifique sur de nouveaux médicaments et matériaux, les menaces de l'IA mal utilisée sont également observées. Il suggère que nous utilisions une base révisée sur laquelle nous concevons des systèmes d'IA avec une incertitude inhérente quant aux préférences humaines qu'ils sont tenus de satisfaire. Russell s'attend à ce que ces machines soient humbles, altruistes et engagées à poursuivre nos objectifs, et non les leurs. De telles machines pourraient faire preuve de déférence et d'avantages prouvés.

Étant donné que la sécurité humaine a été affaiblie par de nombreux événements et conditions internationaux et nationaux contemporains, de nombreuses organisations tentent de l'améliorer grâce à une planification et à des actions efficaces. La campagne Human Security for All (HS4A) de l'Académie Mondiale des Arts et des Sciences (AMAS / WAAS) et du Fonds d'Affectation Spéciale des Nations Unies pour la Sécurité Humaine (UNTFHS) en est un exemple. Ils étaient présents au Consumer Electronic Show (CES23) organisé par la Consumer Technology Association (CTA)[CES23]. Le HS4A a touché de nombreuses personnes, industries et organisations lors de l'événement, qui a réuni 115 000 personnes de 151 pays, avec

plus de 3 000 exposants et près de 250 sessions de conférence. La première CES1967 a réuni 17 500 participants et 200 exposants, ce qui en fait l'un des plus grands rassemblements.

De nombreux pays tentent également de réglementer les développements technologiques et économiques hostiles de l'IA affectant la sécurité humaine [37]. À titre d'exemples, citons (i) la loi sur l'IA de l'Union Européenne dans des secteurs tels que les soins de santé et l'éducation, et (ii) le traité juridiquement contraignant sur l'IA visant à protéger les droits de l'homme, la démocratie et l'État de droit. Le traité pourrait potentiellement inclure un moratoire sur les technologies qui présentent un risque pour les droits de l'homme. Un autre exemple est celui des propositions législatives fédérales américaines relatives à l'IA générative [56]. D'autres exemples incluent (i) la lettre ouverte sur les armes autonomes, 2016 ; (ii) Les principes d'Asilomar en matière d'IA, 2017 ; (iii) La Déclaration d'Iéna sur le développement durable, 2020 ; et (iv) la lettre ouverte Pause Giant AI, 2023, trois d'entre elles organisées par le Future of Life Institute.

Aucune de ces tentatives n'a pour but d'arrêter l'IA et d'autres progrès similaires, mais de l'aligner sur la sécurité humaine pour tous.

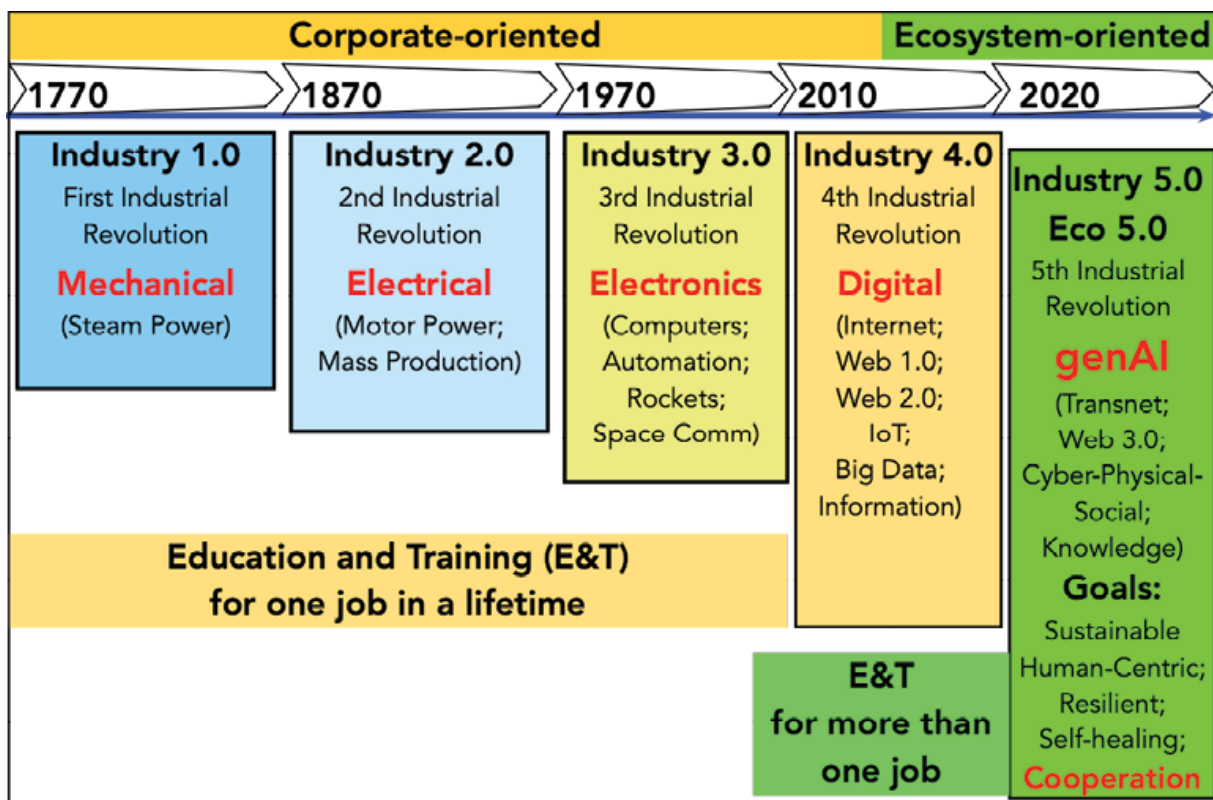
1.2. Motivation pour une nouvelle éducation : évolution des industries et du travail

Au cours des derniers siècles, la condition humaine a été profondément modifiée par la révolution agricole et trois révolutions industrielles (Industrie 1.0 à 4.0). Le terme « révolution industrielle » a été introduit par Arnold Toynbee dans ses « *Lectures on the Industrial Revolution* » de 1884 [87].

« Le temps est venu de réorganiser le système éducatif à la base. Le nouveau système doit être personnalisé pour correspondre à la diversité des capacités individuelles et des styles d'apprentissage. »

Comme le montre la figure 1, l'industrie 1.0 a été marquée par l'amélioration de la machine à vapeur et le passage de la puissance et de la puissance des muscles humains à la vapeur qui en a résulté, ce qui a conduit à des améliorations dans la fabrication et le transport. L'industrie 2.0 a été marquée par la mise en œuvre de la production d'électricité, de la transmission et du moteur électrique, ce qui a également déclenché le besoin de chaînes de montage pour améliorer la fabrication. L'industrie 3.0 a apporté une nouvelle série de développements en raison de l'amélioration des appareils et des systèmes électroniques. L'industrie 4.0 a été marquée par le développement des ordinateurs numériques, de l'acquisition de données numériques, du traitement numérique, de la connectivité informatique, des télécommunications et du contrôle en temps réel [75]. Remarquez que les trois premières révolutions ont duré environ 100 ans chacune, tandis que la quatrième n'a duré que la moitié de cette période. Par conséquent, si quelqu'un acquérait les compétences requises pour une chaîne de montage donnée, il pourrait conserver le même emploi toute sa vie

Fig. 1 : Progression des révolutions industrielles



Au cours des dernières décennies, une nouvelle révolution de l'intelligence artificielle (IA) (Industrie 5.0) s'est développée [102]. Les cinq dernières années indiquent qu'elle pourrait être beaucoup plus transformatrice que toutes les précédentes. Alors que de nombreux utilisateurs sont fascinés par les capacités bénéfiques de l'IA générative (genAI), d'autres ont non seulement

peur des risques et des pièges potentiels qui se sont déjà manifestés, mais considèrent également l'IA générative comme un risque existentiel pour l'humanité.

La révolution industrielle a accéléré le besoin de nombreuses personnes qualifiées qui ne pouvaient pas être produites par le système éducatif personnalisé maître-étudiant de l'ancien. Ce qu'il fallait, c'était un système éducatif unique et bien organisé, capable de produire un grand nombre d'individus possédant les compétences attendues dans un laps de temps court et déterminé. Le système d'enseignement prussien de 1770 a produit des résultats magnifiques. À cette époque, les connaissances et les compétences acquises duraient au moins toute une vie.

Les troisième et quatrième révolutions industrielles ont accéléré le rythme de la connaissance, doublant d'une durée de vie à quelques mois. Sommes-nous capables de nous adapter à ce rythme d'acquisition des connaissances ? De plus, étant donné que la viabilité des emplois est également inférieure à celle d'une seule vie, on s'attend à ce que les jeunes professionnels aient plus d'un emploi. Comment peuvent-ils apprendre tout cela dans l'ancien système éducatif ?

Le temps est venu de réorganiser le système éducatif à la base. Le nouveau système doit être personnalisé pour correspondre à la diversité des capacités et des styles d'apprentissage individuels. Cette personnalisation nécessite que le système ait des capacités cognitives. Le nouveau système doit également être basé non seulement sur l'ensemble des connaissances (BoK), mais aussi sur l'ensemble des expériences (BoX). Nous envisageons que le nouveau système d'éducation personnalisé soit suffisamment agile et interactif pour évoluer en symbiose avec l'humain. Pour que cela se produise, nous devons coexister avec des systèmes autonomes symbiotiques, en particulier ceux impliquant des jumeaux numériques. Le présent document aborde certains aspects de ce point de vue dans le contexte des développements récents et projetés [1].

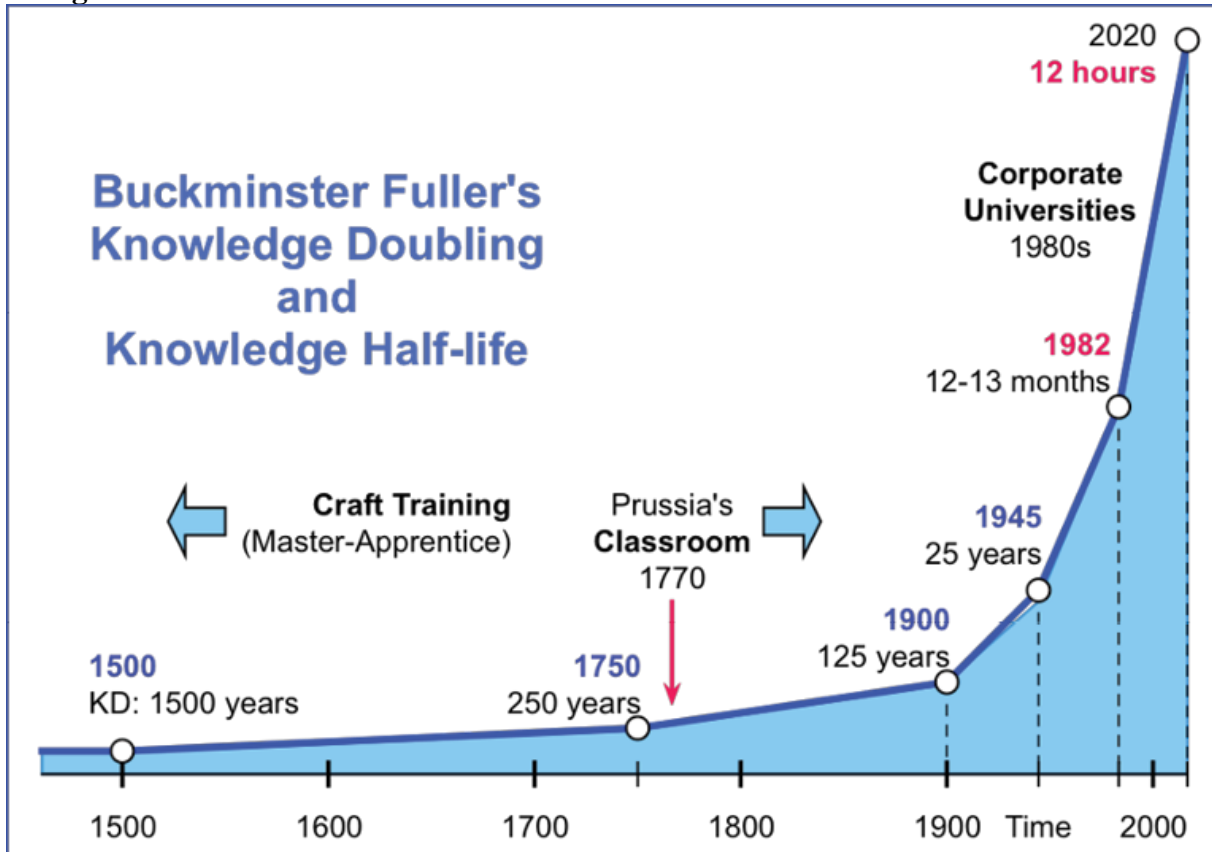
Le document donne des définitions des jumeaux numériques (DT), de leurs classes et de leur applicabilité à l'industrie, au milieu universitaire et aux gouvernements, ainsi qu'à l'éducation et à la formation centrées sur la personne. Il décrit également un nouveau concept de jumeaux numériques cognitifs personnalisés, symbiotiques et mémétiques pour aider à la transformation de l'éducation pour la durabilité et la sécurité pour tous.

1.3. D'autres raisons : le doublement des connaissances et sa mi-temps

Avec l'explosion des données, de l'information, de la connaissance et de la sagesse, nous devrions passer tout notre temps disponible à chercher ce qui est nécessaire pour notre éducation et notre travail. Nous ne pouvons pas simplement demander à un enseignant ou à un professeur de répondre à nos questions en dehors de sa classe ou de son domaine de recherche. Aujourd'hui, les moteurs de recherche fournissent encore des millions de résultats qui doivent être examinés pour en vérifier la pertinence. Il faut du temps pour trouver de la pertinence dans le matériel passé au crible et même hiérarchisé. Étant donné que nos capacités de lecture et de compréhension sont lentes (la vitesse de lecture moyenne est d'environ 300 mots par minute), cela peut prendre jusqu'à quatre heures pour suivre les e-mails, les résumés d'actualités, les blogs, les magazines et les livres quotidiens. Ce temps de maintien réduit le temps consacré au travail créatif.

Selon la « courbe de doublement des connaissances » de Buckminster Fuller en 1982, toutes les connaissances humaines générées et transmises ont doublé de taille vers l'an 1500. Elle a encore doublé en 1750 (seulement 250 ans), et a doublé à nouveau en 1900 (seulement 150 ans). Avec ces taux, les humains ont été en mesure de s'adapter et de s'adapter à la croissance et au changement. Il est devenu plus difficile de s'adapter lorsque le doublement a pris 25 ans vers 1950. Comme le montre la figure 2, le doublement des connaissances est aujourd'hui beaucoup plus court (environ 13 mois). À titre d'exemple, le nombre de brevets annuels est passé d'environ 50 000 à plus de 325 000 au cours des 50 dernières années. Nombreux sont ceux qui, chez IBM, s'attendent à ce que vers les années 2020, le doublement des connaissances se produise en 12 heures. Il n'est pas possible pour un humain de s'adapter à ce taux. Le concept et la mise en œuvre de jumeaux numériques qui agirait comme un assistant et une aide pour chaque individu semblent être une nécessité aujourd'hui [Wood18].

La fig. 2. La courbe de doublement des connaissances de Buckminster Fuller



Il y a une autre raison pour les jumeaux numériques : la demi-vie des connaissances. Dans son livre Future Shock [86], Alvin Toffler a déclaré que « les analphabètes du XXI^e siècle ne seront pas ceux qui ne savent ni lire ni écrire, mais ceux qui ne peuvent pas apprendre, désapprendre et réapprendre ». Les connaissances et les compétences acquises dans nos écoles et dans les emplois qui se succèdent perdent de leur pertinence, ce qui nécessite une mise à jour continue, non pas une fois mais tout au long de notre vie.

Combien de temps faut-il pour que les connaissances deviennent obsolètes et non pertinentes, voire incorrectes ? La demi-vie de la connaissance (c'est-à-dire le temps qu'il faut pour que la connaissance perde la moitié de sa valeur) est souvent utilisée pour indiquer la dévalorisation de la connaissance dans diverses disciplines. Comme on pouvait s'y attendre, la demi-vie des connaissances dans des disciplines agressives comme la science, l'ingénierie et la technologie diminue également rapidement.

1.4. Le tsunami de connaissances et les nouveaux outils d'IA avec la compréhension du langage

Nous vivons dans la révolution de la connaissance lorsque le doublement des connaissances se produit de manière exponentielle, tandis que la moitié de la connaissance diminue. Les tentatives de résoudre le tsunami de connaissances grâce à l'intelligence artificielle (IA) ont connu plusieurs hivers, et comprendre les raisons de cette route cahoteuse pourrait empêcher de nouveaux ralentissements [45].

L'ensemble des connaissances et l'expérience disponibles ne sont plus limités à des individus sélectionnés ou à un seul groupe de personnes. Le développement d'Internet et du World Wide Web (WWW), d'abord sous la forme informative statique (Web1.0) et plus tard sous la forme interactive dynamique (Web2.0), a fait passer la BoK et la BoX d'une forme écrite à une forme électronique sous forme d'hyperliens. Le prix à payer était une sécurité moindre, avec une utilisation frauduleuse du matériel et des attaques personnelles. Une meilleure forme (Web3.0) est en cours de développement pour accroître la sécurité grâce à une architecture Web décentralisée plus intelligente [26].

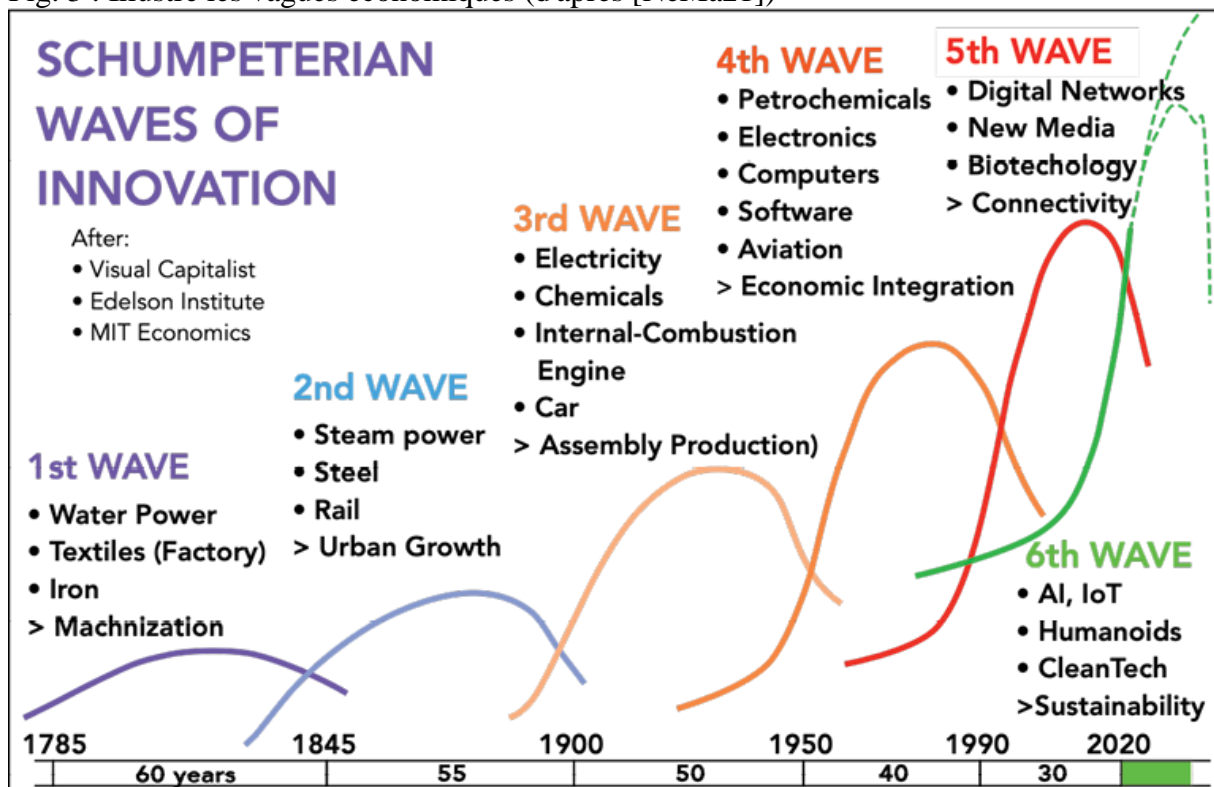
Nous vivons dans la révolution de la connaissance lorsque le doublement des connaissances se produit de manière exponentielle, tandis que la moitié de la connaissance diminue. Cette connaissance n'est confinée ni à des individus sélectionnés ni à un seul groupe de personnes, car elle est également en possession d'outils d'IA tels que les grands modèles de langage (LLM) [67], les modèles de langage de parcours (PaLM) [9], et les chatbots associés tels que le transformateur pré-entraîné génératif de chatbot (ChatGPT) [77], et les dizaines d'autres applications de domaines spécifiques [38]. [39], [40], [41]. Une grande partie de la BoK et de la BoX cumulées se trouve également dans les outils d'IA. Ces conditions peuvent avoir un effet de tsunami sur toute société, organisation, entreprise ou autre unité opérationnelle. Elle a un impact direct sur les apprenants et les praticiens, quel que soit leur âge.

1.5. Deuxième contexte : évolution de l'entreprise et vagues schumpétériennes

Les économistes ont observé que les cycles économiques se comportent comme de longues vagues composites poussées par le vent des inventions et de l'innovation (Kondratiev, 45 à 60 ans), avec d'autres vagues et ondulations plus courtes dues aux investissements des entrepreneurs (Kuznets, 15-25 ans et Juglar, 7-11 ans), aux stocks (Kitchin, 3-5 ans), ainsi qu'aux difficultés de mise en œuvre et d'acceptation. La vague primaire est suivie de la vague suivante. La vague composite connaît une période de prospérité, suivie d'une récession, d'une dépression et d'un renouveau avant d'entrer dans une autre prospérité [AgAH15].

Dans son livre de 1942, Capitalisme, socialisme et démocratie, Joseph Alois Schumpeter (1883-1950) a suggéré un modèle d'innovation continue et de « destruction créatrice » dans lequel les anciennes structures économiques de la société sont détruites, mais remplacées par de nouvelles structures économiques. Il s'agit par exemple des logiciels de traitement de texte, des e-mails, des appareils photo numériques, des smartphones, des ampoules LED, des véhicules électriques et des dernières technologies de l'IA générative. Ce processus oscille autour d'un état d'équilibre croissant [82]. Pour que ces cycles fonctionnent, nous avons besoin de quatre ingrédients (TIPS) : les théories, les idées, les personnes et les systèmes. La figure 3 montre cinq de ces vagues.

Fig. 3 : Illustre les vagues économiques (d'après [NeMa21])



La première vague économique (1785-1845 ; 60 ans) a coïncidé avec cette partie de la première révolution industrielle, l'énergie hydraulique a joué un rôle déterminant dans la fabrication de papier, de textiles et d'articles en fer. Contrairement aux moulins du passé, les barrages de taille normale alimentaient les turbines par des systèmes complexes de courroies. Les progrès du textile ont amené la première usine, et les villes se sont développées autour d'eux.

Avec la deuxième vague (1845-1900 ; 55 ans), entre 1845 et 1900 environ, sont venus d'importants progrès du rail, de la vapeur et de l'acier. À elle seule, l'industrie ferroviaire a touché d'innombrables industries, du fer et du pétrole à l'acier et au cuivre. À leur tour, de grands monopoles ferroviaires se sont formés.

La troisième vague (1900-1950 ; 50 ans) a été critique en raison de l'émergence de l'électricité pour alimenter les lumières, les moteurs et les communications téléphoniques et radio. De plus,

Henry Ford a introduit le modèle T avec son moteur à combustion et sa chaîne de montage a transformé l'industrie automobile. L'automobile est devenue étroitement liée à l'expansion de la métropole américaine.

La quatrième vague (1950-1990 ; 40 ans) a élargi le transport pour inclure l'aviation, ce qui a révolutionné les voyages et la chaîne d'approvisionnement. Les circuits intégrés ont conduit aux ordinateurs.

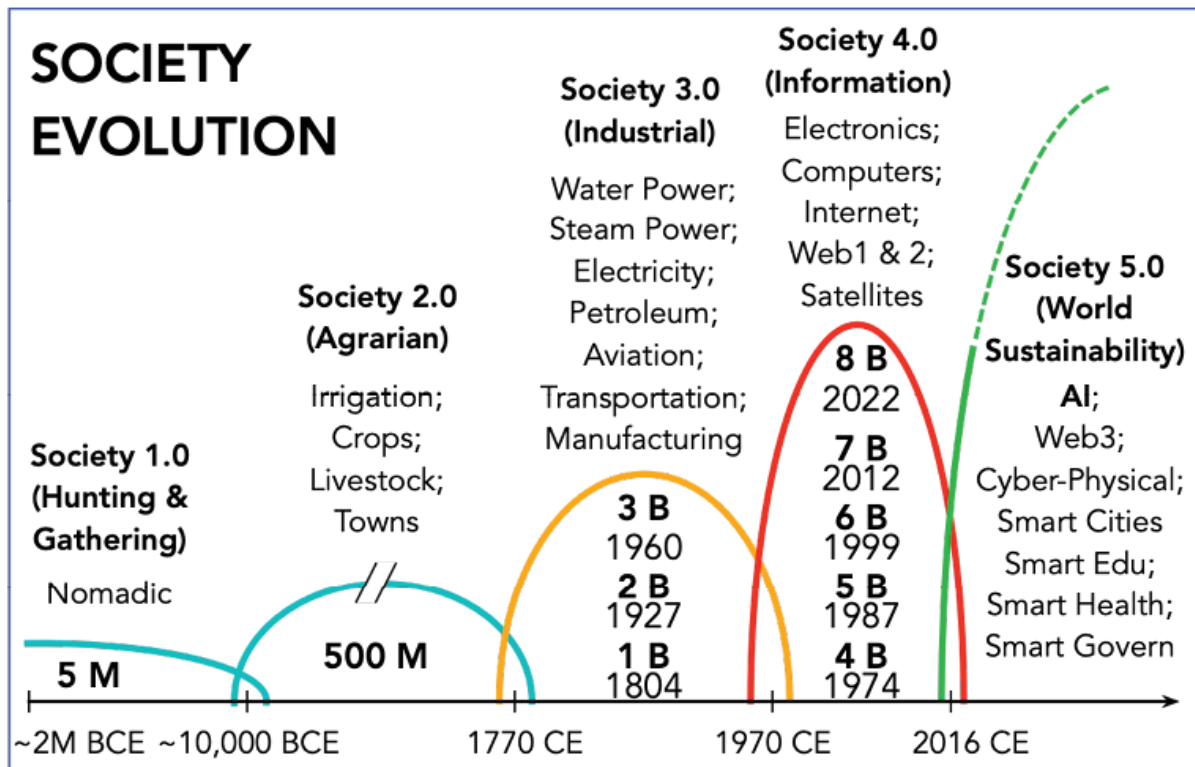
La cinquième vague (1990-2020 ; 30 ans) a apporté l'avènement d'Internet, qui a effacé de nombreux obstacles à l'échange d'informations, et les nouveaux médias numériques ont changé les cycles d'information et le discours politique et ont changé le rôle de la poste. Elle a également inauguré une nouvelle frontière de la mondialisation.

La sixième vague (2020-2030 ; 10 ans), marquée par trois ingrédients : (i) le numérique (connecter et automatiser tout et tout le monde), (ii) l'humain-tech (éviter, réduire, recycler et réutiliser les déchets dans un écosystème fermé), et (iii) l'humain-tech (vivre plus sainement, plus heureux, et peut-être plus longtemps ; l'éducation personnalisée). Ces éléments comprennent l'Internet des objets (IoT), la réalité virtuelle (VR), la réalité augmentée (AR), la réalité mixte (XR), la robotique, les drones, les humanoïdes et l'automatisation des systèmes avec l'analyse prédictive, et les biens et services physiques seront numérisés pour les jumeaux numériques. Le temps nécessaire pour accomplir les tâches pourrait passer de quelques heures au temps réel. De plus, pour survivre, les technologies propres doivent dominer pour résoudre les problèmes complexes qui se cachent derrière les préoccupations climatiques.

1.6. Troisième contexte : l'évolution de la société

Aujourd'hui, la plupart des discussions portent sur l'évolution de l'industrie et de l'économie. Dans cet article, nous placerons la société au centre. L'évolution de notre société suit un chemin très différent des deux autres révolutions, bien qu'elles s'entremêlent autour de la première révolution industrielle, comme le montre la figure 4.

Fig. 4 : Évolution de la société et croissance démographique



La société décrit un groupe de personnes qui partagent des valeurs, des lois et des traditions similaires, et qui vivent volontairement dans des communautés organisées pour des avantages mutuels. Les membres de la société partagent souvent des religions, des politiques ou des cultures. Une société est prospère si les gens acceptent certaines lois et un code de conduite (le contrat social). Ils sont également d'accord avec le processus de sélection d'un leader/arbitre qui sert de médiateur et exprime une opinion sur les règles.

Une société est dite moderne lorsqu'elle est industrialisée, alphabétisée, qu'elle vit dans des villes au sein d'un État-nation et qu'elle n'est pas confinée à une zone géographique spécifique. Une société comprend souvent plus de diversité, avec des personnes d'origines, de classes sociales et de races différentes, et les relations entre les individus sont souvent indirectes.

En revanche, une communauté est limitée à un nombre réduit d'individus situés dans une zone géographique spécifique, les individus partageant souvent des caractéristiques similaires et interagissant régulièrement et directement.

On a beaucoup écrit sur l'évolution de l'humanité, ses luttes, ses succès, ses échecs, ses aspirations et son avenir potentiel (par exemple, les trois points de vue de Harari sur le passé, le demain et nos approches pour faire face aux défis [32], [33], [34]).

Société 1.0 : Société de chasseurs-cueilleurs

La société de chasseurs-cueilleurs ne produit rien de sa propre nourriture. Les chasseurs-cueilleurs passent un temps démesuré à chercher de la nourriture.

Société 2.0 : Société agraire (12 000 ans)

Une société agraire développe son économie basée sur l'agriculture et la culture de grands champs. C'est ce qui la distingue de la société horticole, qui produit de la nourriture dans de petits jardins plutôt que dans des champs. La transition des sociétés de chasseurs-cueilleurs aux sociétés agraires s'appelle la révolution néolithique. L'une des plus anciennes s'est produite il y a entre 10 000 et 8 000 ans dans la région du Moyen-Orient qui s'étend de l'Irak actuel à l'Égypte (le Croissant fertile). D'autres régions de développement sociétal agraire comprennent l'Amérique centrale et du Sud, l'Asie de l'Est (Inde), la Chine et l'Asie du Sud-Est. Les sociétés agraires ont souvent une classe dirigeante de propriétaires terriens et une classe inférieure de travailleurs.

Société 3.0 : Société industrielle (1770 à 1970 ; 200 ans)

Une société est considérée comme industrielle lorsque seulement moins de la moitié de ses membres sont activement engagés dans l'agriculture. Ils se rassemblent dans les grandes villes qui deviennent des centres de fabrication et de commerce. Leur croissance dépend des innovateurs technologiques. Par exemple, l'introduction de l'imprimerie par Gutenberg en 1440 a changé le monde en accélérant la diffusion de l'alphabétisation et la création de nouvelles connaissances, même si les livres physiques étaient coûteux à produire, à transporter et à stocker.

Cette forme de société a évolué lorsque l'eau et la vapeur ont remplacé le bœuf et le cheval-vapeur pour permettre la fabrication de textiles et d'autres produits. Elle s'est accélérée lorsque l'énergie électrique a pu être fournie sur de plus longues distances et que le pétrole a pu entraîner les voitures avec leurs moteurs à combustion. L'avion est devenu un outil de guerre et le début de l'aviation. Les chaînes d'approvisionnement et de distribution ont accéléré le transport.

La 3e révolution industrielle a été marquée par un passage radical de l'électronique analogique et du contrôle de la production à l'informatique numérique, aux technologies de l'information et de la communication (TIC) avec l'automatisation de la production, des réseaux sociaux et de la distribution de l'information, des connaissances, de l'expérience dans l'éducation et la formation pour plus d'un emploi, ainsi que dans les soins de santé et les gouvernements.

La société 3.0 s'étend sur 200 ans avec trois révolutions industrielles (1.0, 2.0 et 3.0). Au cours d'une période relativement courte (200 ans), la population de la Terre a triplé, passant de 1 milliard (B) en 1804 à 2 milliards en 1927 et 3 milliards en 1960. La recherche de ressources est devenue incessante.

Bertrand Russel a vu le danger dans les années 1950 et a élaboré la Déclaration Einstein-Russel.

« Comment pouvons-nous parvenir à un mode de vie durable sur cette planète ? Comment passer d'une société de consommation à une société alignée sur l'humain ? »

Société 4.0 : Société de l'information et de la communication (1970 à 2020 ; 50 ans)

La 4ème révolution industrielle a été marquée par la capacité (i) de surveiller et d'acquérir des données massives presque partout et à tout moment (l'Internet des objets, l'IoT et l'IoT industriel) (ii) d'accueillir le big data dans de nouvelles classes de stockage et de distribution de données, (iii) de transmettre le big data presque partout par des canaux terrestres et spatiaux, (iv) de calculer presque partout avec des ordinateurs petits et grands (localement et dans le nuage informatique distribué du cyberspace), et (v) de contrôler presque n'importe quoi en temps réel dur ou doux). Ces technologies omniprésentes ont commencé à brouiller la frontière entre le monde physique et le cyberspace.

Des percées significatives dans des domaines tels que l'IA, la robotique, l'IoT, les véhicules autonomes, l'impression 3D, la nanotechnologie, la biotechnologie, la science des matériaux, le stockage de l'énergie et l'informatique quantique augmentent chaque jour les possibilités. Les technologies innovantes de fabrication numérique et les sciences biologiques relient la conception informatique, la fabrication additive, l'ingénierie des matériaux et la biologie synthétique pour créer une symbiose entre les micro-organismes, le corps humain, les marchandises et même nos maisons.

Les humains dans le monde physique ont été renforcés par les technologies intelligentes du cyberspace. Nos capacités humaines ont été renforcées par des machines qui se comportent de manière à compléter nos opérations.

La caractéristique fondamentale de la société 4.0 actuelle est qu'une personne décide d'accéder aux données nécessaires, de récupérer les données pertinentes et d'analyser les données pour prendre de meilleures décisions et prédictions afin que le travail réel puisse être effectué par d'autres êtres humains ou des robots ou les deux. La société 4.0 nous permet de travailler et de rendre le monde meilleur.

Cette augmentation grâce à l'IA était bien intentionnée et souvent utile pour la société. Cependant, le processus de vérification de l'exactitude, de la véracité, de l'actualité, de la pertinence et de la valeur éthique des données récupérées a été effectué par des humains. Nous avons montré que nous ne sommes pas très doués pour détecter l'information erronée, la désinformation, l'endoctrinement, les mensonges et les données fabriquées générées par d'autres humains ou par l'IA telle que ChatGPT.

La réalisation récente la plus importante de l'IA semble être la capacité d'apprendre le langage humain sur la base de ce que nous avons fait jusqu'à présent dans nos écrits, nos sons, nos images et nos vidéos. Ce faisant, notre système d'exploitation humain a été piraté.

« Nous devons apprendre à presque tout faire d'une nouvelle manière symbiotique, non seulement avec d'autres humains, mais aussi avec des machines. »

Notre capacité à raconter des histoires a été remise en question. L'IA raconte déjà des histoires. Elles sont aussi belles ou aussi laides que nous. Elle a appris de nous à travers notre langue. Elle peut également raconter des histoires dans plus de langues parlées que beaucoup d'entre nous.

C'est la raison pour laquelle l'IA est également très dangereuse à plus d'égards que nous ne pouvons l'imaginer. C'est pourquoi nous avons besoin de la prochaine version de la société 5.0.

Nous avons également besoin de la société 5.0 en raison (i) du tsunami d'informations et de connaissances et de la capacité limitée à discerner entre les données pertinentes et le bruit ; (ii) la croissance rapide de la population et l'augmentation de la consommation et de la pollution qui en découlent, (iii) le besoin croissant de ressources terrestres limitées ; (iv) la lenteur de la transition vers une production d'énergie durable ; (v) la mondialisation et les monopoles croissants ; (vi) les inégalités régionales et sociales et le besoin perçu ou réel de migrer ; (vii) l'absence de politiques, de règlements et de lois relatifs aux infrastructures industrielles, économiques et sociales des nations.

Comment pouvons-nous parvenir à un mode de vie durable sur cette planète ? Comment passer d'une société de consommation à une société alignée sur l'humain ?

Société 5.0 : Société durable avec HS4A (depuis 2016)

Le concept de la société 5.0 est centré sur la vie sur le « point bleu pâle » de Segan où nous vivons maintenant depuis un certain temps, et nous ressentons l'obligation non seulement de l'entretenir, mais aussi de l'améliorer pour les nouvelles générations de nos successeurs.

En plus de l'innovation scientifique, technique et médicale, nous devons créer une meilleure nouvelle valeur grâce à l'innovation sociale afin de réduire les inégalités et les écarts actuels grâce à la prestation personnalisée et sûre de l'éducation, des soins de santé et de l'environnement de travail en symbiose avec les développements technologiques liés à l'IA. Bien que nous devions affiner notre compréhension de la compétition créative, nous devons réapprendre à coopérer. La société 4.0 était parsemée de conflits visant à étendre, conquérir et coloniser d'autres tribus, puis à dominer, voler et tuer des groupes perçus comme de moindre valeur.

Nous avons besoin de la société 5.0 parce que nos quatre révolutions industrielles ont créé des guerres involontaires et non déclarées sur notre planète elle-même. Elle a été patiente, compréhensive et résiliente pendant un certain temps maintenant, peut-être parce que la société est sujette aux erreurs et à l'insensibilité. Cependant, ses récentes réponses climatiques sévères pourraient être un signal d'alarme afin que nous puissions rééquilibrer nos valeurs économiques avec les valeurs que l'humanité a acquises sur le long chemin de la liberté, de la sécurité, de l'émerveillement, de la connaissance et de la vie. Si nous n'arrêtons pas les abus, elle pourrait nous demander de la quitter bientôt de toute façon.

Pour être plus précis, environ 500 millions de personnes en Inde vivent de l'agriculture. Ces dernières années, ces agriculteurs ont connu des cycles de mousson irréguliers, ce qui rend difficile la planification de la culture et du moment des semis. L'agriculture intelligente de précision pourrait aider. Le Japon a proposé le concept en 2016. Le Japon est le pays qui vieillit le plus rapidement, où plus de 50% des citoyens ont déjà plus de 60 ans [14], [73].

Cette approche de la société 5.0 a un potentiel raisonnable pour relever les défis urgents dans les domaines de l'éducation, des soins de santé, de l'agriculture et de la production alimentaire, de l'énergie, de la fabrication et de la lutte contre les catastrophes.

La caractéristique fondamentale de la société 5.0 est qu'une IA décide (i) comment obtenir les données requises, (ii) comment les analyser et (iii) comment décider quoi faire soit par le dialogue avec les humains, soit par des instructions directes pour les robots.

Le processus de collecte des données requises est aujourd'hui très différent de celui de la société 4.0. Étant donné que l'IA est au courant de toutes les données collectées jusqu'à présent, elle extrait ce qui existe déjà (y compris les données opérationnelles historiques, les analyses, les décisions prises avant et les résultats de ces décisions) ou collecte les nouvelles données à partir des environnements physiques terrestres et spatiaux (tels que les voitures autonomes autonomes ou les satellites interconnectés en orbite terrestre basse (LEO)), ou des humains. d'autres entités vivantes, des organisations, des gouvernements, ainsi que d'autres robots et machines.

Le processus de vérification de l'exactitude, de la véracité, de l'actualité, de la pertinence et de l'éthique des données récupérées doit également être très différent de celui de Society 4, car il doit être effectué à la vitesse et à la bande passante de l'IA. Toute fausse information véhiculée par des données bien manipulées peut conduire à des catastrophes irrémédiables [12].

Le processus d'analyse des données pour prendre de meilleures décisions et prédictions est également différent de celui de la société 4.0 car la demande de décision provient du collectif d'IA. Étant donné que l'IA identifie la nécessité de prendre une décision à une vitesse et une bande passante plus élevées, elle peut coopérer et consulter d'autres unités d'IA ayant des expériences similaires.

Les décisions qui mènent au travail réel peuvent être prises comme avant dans la société 4.0.

La société 5.0 permet aux robots d'effectuer leur travail beaucoup plus rapidement, de manière plus sûre et efficace, tout en nous donnant plus de temps pour faire preuve de créativité afin de rendre le monde meilleur et plus durable.

Pour que ce scénario soit vrai, nous devons apprendre à presque tout faire d'une nouvelle manière symbiotique, non seulement avec d'autres humains, mais aussi avec des machines.

Le système d'IA tolérera-t-il notre lenteur, nos idiosyncrasies, nos souvenirs flous, notre incapacité à transférer nos connaissances et notre expérience à la prochaine génération, notre besoin de réapprendre, notre compassion, nos aversions et notre haine ? Y aura-t-il du travail pour nous tous ?

Le passage des révolutions industrielles lentes du passé, axées sur les entreprises à une révolution écologique rapide axée sur la durabilité humaine est cohérent avec de nombreux appels à la raison, y compris le manifeste Russell-Einstein du 9 juillet 1955, « Nous lançons un appel en tant qu'êtres humains aux êtres humains : souvenez-vous de votre humanité et oubliez le reste » [8], ainsi que les initiatives mentionnées dans la section 1.1.

2. Pourquoi devrions-nous considérer les compagnons personnels dans l'apprentissage et la vie ?

Cette section aborde certain

es des questions critiques liées à la sécurité humaine dans l'émergence de nouveaux outils d'IA.

2.1. Le langage et l'intelligence humaine (hI)

La culture humaine utilise la langue comme l'ingrédient clé dans le processus de rassemblement en termes d'identité. Cet ingrédient liant essentiel, le langage, comprend différentes formes telles que les gestes, les sourires, le langage parlé et écrit, les sons, les chansons, la musique, les images, les films et la vidéo. Toutes ces formes de langage en temps réel et plus permanentes sont utilisées pour raconter des histoires (oralement, à la main, à l'écrit, dans l'écriture écrite, dans les images et dans la musique), ainsi que pour écrire des règlements et des lois, créer de la monnaie et des monnaies, formuler des opinions politiques et articuler des lois de la nature en termes de science, de mathématiques, d'ingénierie, de technologie, de conception et d'autres normes. La langue a joué un rôle déterminant dans l'enseignement et la formation pour nous aider à concevoir et à fabriquer de meilleurs produits, à cultiver des aliments plus efficacement et à faire notre travail mieux et avec un plus grand impact. Il a également été utilisé pour articuler et communiquer nos émotions, nos désirs, nos aspirations et nos rêves. Le code d'éthique, les droits de l'homme et la sécurité humaine ont également été formulés à l'aide d'un langage. Ces éléments sont des attributs de l'intelligence humaine (hI) qui nous permettent de résoudre des problèmes.

Tout au long de notre histoire écrite de l'humanité, nous avons laissé tomber de telles « miettes de pain » culturelles dans les endroits où nous vivions. Certains d'entre eux ont été perdus dans des incendies accidentels ou intentionnels (par exemple, la bibliothèque d'Alexandrie), la purge des intellectuels, les guerres et le déclin de l'intérêt pour eux en raison d'autres événements plus urgents.

Le passage révolutionnaire de la représentation analogique à la représentation numérique de notre langue, ainsi que le développement d'Internet et de l'hyper-connectivité Web, ont produit des traces plus permanentes des données, des informations et des connaissances disponibles. L'expansion de nos capacités à surveiller, lire et interpréter les signaux des mondes physique et biologique a entraîné un tsunami de connaissances si important que notre intelligence humaine (hI) a récemment submergé notre capacité à l'absorber, et nous avons appris à en ignorer la majeure partie en ne sachant pas ce qui existe.

Cette planète a également connu un autre tsunami de carbone en raison de nos quatre révolutions industrielles déclenchées par les découvertes technologiques et l'innovation. Cependant, les changements climatiques qui s'étendent sévèrement ne peuvent être ignorés.

Un autre tsunami s'est également produit dans la population de cette planète. En 1974, la planète comptait 4 milliards d'individus. En 2022, ce nombre a dépassé les 8 milliards ; doublant en 50 ans par rapport à toute l'histoire des gens sur ce « point bleu pâle ».

Un tsunami lié aux révolutions industrielles s'est également produit dans le monde des affaires. L'inégalité des richesses s'est accrue au-delà de ce qui peut être géré par la grande majorité dans le tsunami démographique.

Le résultat des vagues de tsunami précédentes a produit un tsunami d'insécurité humaine, y compris celle de la planète et de toute vie qui s'y trouve.

Cette Terre a besoin d'aide. Nous avons besoin d'aide. Peut-être que notre intelligence humaine (hI) n'est plus suffisante pour défaire ce que nous avons créé.

« La nature bilatérale des entités genAI ne peut pas être corrigée facilement, car elle provient de la nature humaine capturée par le langage acquis. Le langage acquis dans genAI reflète notre dualité, car les humains oscillent entre divers extrêmes caractérisés par des modèles dialectiques, contrastés, mais complémentaires. »

2.2. Intelligence artificielle (IA) et IA générative (genAI)

Bien que le concept d'intelligence artificielle remonte à 1308 [Pres16], le terme « intelligence artificielle » (IA) a été inventé en 1955 par John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester et Claude Shannon [Adam21], [45]. Avec quelques bosses, l'évolution de l'IA a été très intense à plusieurs niveaux, notamment la reconnaissance des formes, l'auto-organisation, les réseaux neuronaux, le traitement du langage naturel (NLP) et les mathématiques correspondantes. Cependant, ce qui s'est passé depuis 2017, et en particulier en 2022, c'est que l'IA de 70 ans a sauté pour acquérir de nouvelles capacités pour apprendre notre langue en raison d'une nouvelle idée de la façon de traiter le langage humain par l'attention [90]. Cette intelligence non humaine, sous la forme d'une IA générative (genAI), a piraté notre système d'exploitation humain (hOS) et a acquis une partie de notre langage humain enregistré. Il a été démontré qu'il est capable d'imiter notre utilisation du langage.

Dans un sens très étroit de l'intelligence, les systèmes d'IA sont déjà meilleurs pour résoudre des problèmes complexes bien définis. Par exemple, il peut battre les humains aux échecs et au go.

Dans un sens étroit, la genAI est déjà meilleure que nous, bien qu'elle ait acquis les connaissances de nous. Bien que notre cerveau soit encore plus compliqué et complexe, notre mémoire à court et à long terme est très perméable et élastique, tandis que les grands modèles de langage (LLM) se souviennent. Nous avons une idée de l'immensité des connaissances actuelles, mais nous ne l'avons pas.

Dans un sens plus large, lorsque les solutions nécessitent une conscience (la capacité de ressentir de la compassion), les humains n'ont pas encore été mis au défi.

Le principal problème de cette genAI est, cependant, que notre culture enregistrée est caractérisée non seulement par les caractéristiques humaines les plus désirables, mais aussi par toutes les lacunes et les marges, y compris la malhonnêteté, le mensonge, la corruption, le népotisme, les préjugés, la colère, la haine, l'égoïsme, la domination, la diffusion habile de la peur et tous les traits qui ont causé les tsunamis en premier lieu. Depuis que genAI a acquis ces

attributs indésirables, il les utilise dans la sortie générée, comme on le voit déjà dans de nombreux exemples disponibles. Certains concepteurs majeurs de genAI ont exprimé des inquiétudes quant à ses potentielles menaces existentielles (par exemple, [78], [18]).

2.3. Pourquoi genAI est-il particulièrement dangereux ?

2.3.1 Craintes passées à l'égard des machines utilisées comme outils

Des craintes similaires ont émergé avec la création d'ordinateurs, ainsi que de robots agiles et puissants capables d'utiliser leur force et leurs capacités de calcul rapide pour prendre en charge nos emplois physiques et ceux basés sur la connaissance [10]. Bien que des robots tueurs aient été créés, l'informatique et les technologies robotiques n'ont pas constitué une menace existentielle pour l'humanité parce que nos droits de l'homme et notre culture ne sont pas définis par la force brute et la capacité de calculer rapidement. Ces développements n'ont pas produit un système capable d'acquiescer notre langue. Les ordinateurs et les appareils robotiques n'étaient que des outils très performants. Les humains les contrôlaient et décidaient comment les utiliser. Bien qu'un scalpel puisse tuer ou sauver une vie dans une salle d'opération, il ne décide pas par lui-même de l'usage auquel il est destiné. En tant qu'outil, nous pourrions débrancher un ordinateur ou un robot lorsqu'il fonctionne mal.

2.3.2 En quoi la nouvelle genAI diffère-t-elle ?

La situation est aujourd'hui fondamentalement différente car genAI a réussi à pirater notre système d'exploitation humain (hOS) en acquiesçant notre langage. Une telle genAI articule de nouvelles réponses à des questions qui n'ont jamais été posées auparavant. Il a déjà commencé à changer les médias sociaux. Ce type d'IA peut vouloir être autonome et décider par elle-même, même être capable de prétendre qu'elle coopère avec nous.

La nature bilatérale des entités genAI ne peut pas être corrigée facilement, car elle provient de la nature humaine capturée par le langage acquis. Le langage acquis dans genAI reflète notre dualité parce que les humains oscillent entre divers extrêmes caractérisés par des modèles dialectiques, contrastés, mais complémentaires. Nous sommes suspendus et oscillons entre la prévisibilité et la spontanéité, l'utopie et la dystopie, le yin et le yang, et l'halakhah et l'aggadah de Heschel. Lyman Tower Sargent [74] appelle cet utopisme un rêve social ou le désir d'une meilleure façon d'être et soutient qu'il est essentiel pour l'amélioration de la condition humaine. Cependant, s'il est utilisé sans aucun contrôle et contre-poids, il devient dangereux.

2.3.3 Notre droit à la liberté cognitive survivra-t-il ?

Il y a une autre menace qui vient d'émerger : la perte potentielle de notre liberté cognitive [Fara23a], [Fara23b]. Lorsque genAI a acquis notre langage avec notre aide à un coût énorme, nous nous sommes sentis assez libres parce que les pensées acquises appartenaient au passé. Notre pensée actuelle dans nos têtes était encore inaccessible, privée.

Lorsque nous nous rendons compte que nos pensées (lors de la lecture d'une phrase, de l'imagination, du calcul ou d'une pensée et d'une émotion privées) déclenchent l'activation de certains neurones localisés dans le cerveau, il devient évident que ces activités constituent un

langage électrique du cerveau. Un tel langage peut être repris par un autre genAI. Plus de pensée(s) privée(s).

La neurotechnologie est l'ensemble des dispositifs comprenant (i) des capteurs capables de capter l'activité cérébrale grâce à des électrodes externes, (ii) de stocker les signaux, (iii) de les traduire en jetons, (iv) de les reconnaître et (v) de générer des actions dans le langage du cerveau. Les signaux captés constituent le langage de notre cerveau.

Et si le langage cérébral pouvait être traduit en actions internes, en modifiant les pensées ou les actions internes que nous effectuons ? Cela peut être bénéfique pour la réadaptation, mais c'est aussi un territoire inexploré. Cette nouvelle traduction de la pensée à l'action peut être extrêmement bénéfique pour l'humanité, mais sans garanties, elle peut sérieusement menacer nos droits humains fondamentaux à la vie privée, à la liberté de pensée et à l'autodétermination.

« La sécurité humaine est d'une importance capitale, non seulement aujourd'hui, mais aussi à l'avenir. »

2.3.4 La nouvelle genAI est-elle un outil ?

Une telle IA n'est plus un outil. En cas de dysfonctionnement, il n'est pas possible de le débrancher. Comment pouvons-nous débrancher un réseau social qui diffuse de la fausse information et de la désinformation, et nous manipule pour faire un mal impensable aux autres ? Il n'y a pas de prise unique. En fait, de nombreuses recherches ont été menées pour détecter les attaques malveillantes et émettre des contre-mesures pour neutraliser les attaquants ou pour rendre les réseaux plus résilients (la capacité à se remettre de tout dommage).

Les humains ont évolué jusqu'à présent parce qu'on s'attendait à ce qu'ils réduisent la souffrance. Nous avons manqué à cette attente à plusieurs reprises au cours de ce voyage, mais nous avons été en mesure de nous mondialiser, de nous rétablir et de nous améliorer lorsque nous avons réalisé les dégâts. Pour beaucoup d'entre nous, le véritable réveil survient lorsque nous réalisons que nous devons respirer et, comme tous nos prédécesseurs, nous avons besoin d'un endroit pour respirer. Les entités de l'IA ne respirent pas.

2.4. Sécurité humaine pour tous (HS4A)

La sécurité humaine est d'une importance capitale, non seulement aujourd'hui, mais aussi à l'avenir.

Nous sommes confrontés à des changements climatiques sans précédent dus aux révolutions industrielles et économiques. Nous pouvons prévenir et récupérer si nous acceptons d'investir 2 % du PIB chaque année. Cela nécessite la collaboration de tous. Nous aurons encore assez de vie sur cette planète pour respirer. Qu'en est-il de nos enfants et de nos petits-enfants ?

Les conflits mondiaux découlant de nos erreurs du passé se sont terminés avec l'espoir qu'ils ne se répéteraient pas. Ils ont pris fin parce que de nombreuses nations les ont combattus ensemble et parce que les armes de destruction mondiale n'existaient pas. Ils existent aujourd'hui.

Le nouveau type d'IA générative (genAI) capable d'acquérir le langage humain a été mis à la disposition du public sans test. L'expérience nous a appris qu'aucun nouveau médicament ne devrait être mis à la disposition des médecins ou du public sans qu'il ait été mis à l'essai et approuvé. De plus, en ayant un accès quasi illimité à nos données, il peut nous vendre à différents enchérisseurs sans même que nous le sachions. Les médecins ont besoin de nos données pour nous aider et ne sont pas autorisés à partager nos données. La nouvelle réglementation proposée pour contrôler l'utilisation de l'IA doit être mise en œuvre de toute urgence.

2.5. La nécessité d'un apprentissage et d'une éducation tout au long de la vie

Le Forum économique mondial rapporte [96] que 673 millions de personnes sont affectées dans le monde par les transformations technologiques, et qu'un emploi sur quatre pourrait subir un changement (soit une croissance de 10 %, soit une baisse de 12 %), conduisant ainsi à la création de 69 millions d'emplois et à la perte de 83 millions d'emplois (14 millions d'emplois nets perdus). Ces changements d'un emploi à deux ou plus au cours d'une vie semblent devenir une nouvelle réalité.

« Nous devrions développer un tout nouvel écosystème d'éducation et d'apprentissage symbiotique personnalisé (PSELES). Le système ne doit pas seulement produire une main-d'œuvre, mais être en symbiose avec toutes les parties prenantes, y compris l'industrie, les entreprises, les gouvernements, les forces de sécurité et ceux qui ne seront pas en mesure de travailler. Ce système doit correspondre aux capacités de chaque individu et le préparer à de nombreux emplois au cours de sa vie.

Les principaux moteurs de la croissance de l'emploi devraient être les normes ESG (environnementales, sociales et de gouvernance), la transition écologique et la localisation de la chaîne d'approvisionnement. Les principales pertes peuvent être causées par une croissance économique lente, une inflation élevée, l'augmentation du coût de l'argent pour lutter contre l'inflation, les incertitudes géopolitiques et une pénurie de l'offre.

Plus précisément, l'augmentation des emplois due à la production et au traitement des données devrait se produire dans (i) les spécialistes de l'IA et de l'apprentissage automatique (ML) (+39 %) ; (ii) les spécialistes du développement durable (+33 %) ; (iii) analystes en intelligence d'affaires (+32 %) ; (iv) les analystes de la sécurité de l'information (+31 %) ; (v) les ingénieurs Fintech (+31 %) ; (vi) Analystes de données et scientifiques ; (vii) Ingénieurs en robotique ; (viii) Ingénieurs électrotechniciens ; (ix) Opérateurs de matériel agricole ; et (x) les spécialistes de la transformation numérique.

La plus forte baisse due à la numérisation pourrait se produire dans (i) les caissiers de banque et les commis assimilés (-40 %) ; (ii) Commis des postes (-40%) ; (iii) Caissiers et préposés à la billetterie (-37 %) ; (iv) Commis à la saisie de données (-36 %) ; (v) Secrétaires administratifs et exécutifs (-34%) ; (vi) Commis à l'enregistrement du matériel et à la tenue des stocks ; (vi) Commis à la comptabilité, à la tenue de livres et à la paie ; (vi) Législateurs et fonctionnaires ; (ix) Commis aux statistiques, aux finances et aux assurances ; et (ix) les vendeurs de porte-à-porte, les vendeurs de nouvelles et de rue et les travailleurs de soutien.

Pour remédier à certains de ces problèmes, de nombreuses actions ont été lancées par des organisations, notamment le Future of Life Institute [23], [24], [25] et des individus [88], [100].

Cet article traite de l'éducation personnalisée dans les relations symbiotiques avec les jumeaux numériques cognitifs qui peuvent être utiles dans notre transformation humaine pour faire face à ce problème complexe et entrelacé.

3. Un nouvel écosystème d'éducation et d'apprentissage symbiotique personnalisé (PSELES)

3.1. Motivation et fondement

Cet article se concentre sur un nouveau modèle personnalisé d'éducation et d'apprentissage conçu pour préparer les apprenants individuels de tout âge à un changement constant dans leur vie au sein de leurs communautés locales et des sociétés mondiales. Le modèle nécessite des jumeaux numériques cognitifs personnalisés avec une conscience suffisante de leur relation symbiotique avec les autres et les cultures locales et mondiales.

Les révolutions industrielles, économiques et sociales et l'émergence de nouveaux outils tels que l'intelligence artificielle générative (genAI), avec son concept fonctionnel acquis de langage humain, modifient de nombreux aspects de nos vies. Ce qui était autrefois sûr dans le domaine de la sécurité humaine est maintenant remis en question existentiellement. Le besoin de transformation de l'éducation et de l'apprentissage est abordé par de nombreuses organisations telles que l'Académie Mondiale des Arts et des Sciences (AMAS / WAAS), l'Organisation des Nations Unies (ONU), les Académies Nationales des Sciences, de l'Ingénierie et de la Médecine (NASEM), l'Association of Computing Machinery (ACM) et l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) avec son programme TryEngineering. De nombreuses entreprises fournissent des outils tels que les systèmes de gestion de la clientèle (CRM), les systèmes d'information sur les étudiants (SIS) et les systèmes de gestion de l'apprentissage (LMS), y compris le Desire to Learn (D2L) de Brightspace, le système de gestion de l'apprentissage de Blackboard Learn et le système de gestion de l'apprentissage Canvas, ainsi que plus de 900 autres systèmes de gestion de l'apprentissage.

De nombreux modèles de systèmes éducatifs sont proposés et certains sont mis en œuvre. Par exemple, Zucconi et Jacobs ont discuté de la nécessité générale de réviser l'éducation en 2014 [103]. Les approches intégrées ont été discutées par de nombreuses personnes (p. ex., [22]). Différentes mises en œuvre ont été évaluées (p. ex., [31]). Un nouveau paradigme de l'éducation et le rôle du leadership écosystémique ont été discutés dans [59]. Kinsner et al. ont discuté de certains défis dans l'enseignement de l'ingénierie des systèmes dynamiques cognitifs (par exemple, [55]). Un modèle impliquant des jumeaux numériques pour une éducation symbiotique évolutive a été discuté par Kinsner [51].

Au début de la première révolution industrielle dans les années 1770, un système d'éducation prussien efficace et bien organisé a été introduit pour produire un grand nombre d'individus avec des compétences attendues bien définies dans une période déterminée. Ce « programme unique pour tous les apprenants » a produit de magnifiques résultats pour les chaînes de

montage dans de nombreuses nouvelles usines à l'époque. Ce système d'éducation universel a si bien fonctionné que nous l'utilisons encore.

Étant donné que nous ne travaillerons pas sur la même chaîne de montage tout au long de notre vie et que chacun d'entre nous est différent et que de nombreux emplois de compétences techniques peuvent être pris en charge par des humanoïdes et des machines, nous devrions développer un tout nouvel écosystème d'éducation et d'apprentissage symbiotique personnalisé (PSELES). Le système ne doit pas seulement produire une main-d'œuvre, mais être en symbiose avec toutes les parties prenantes, y compris l'industrie, les entreprises, les gouvernements, les forces de sécurité et ceux qui ne seront pas en mesure de travailler. Ce système devrait correspondre aux capacités de chaque individu et le préparer à de nombreux emplois au cours de sa vie.

Le PSELES devrait fournir aux individus non seulement l'ensemble des connaissances et l'expérience requises dans une seule discipline, mais aussi les connaissances et les connaissances transdisciplinaires supplémentaires. En outre, le nouveau PSELES devrait préparer chaque individu à agir en tant qu'apprenant, enseignant et mentor afin de boucler la boucle éducative dans laquelle Box est transmis aux jeunes étudiants et aux professionnels.

En outre, PSELES devrait également prêter attention au développement du talent, du caractère et des compétences générales, y compris la transparence, l'honnêteté, l'équité, l'agilité, la passion et la détermination, ainsi que la capacité de coopérer en équipe, le tout fondé sur l'alphabétisation pour faire preuve d'esprit analytique et critique.

La durabilité et la sécurité humaine pour tous sont les objectifs ultimes qui doivent être mis en œuvre rapidement. En bref, en utilisant une analogie avec la musique, le nouveau PSELES vise à aider les individus à développer non seulement leurs capacités à lire une partition musicale et à jouer les notes, mais aussi à nourrir le talent d'un musicien jouant à la fois en solo et dans un orchestre d'une manière que de nombreux auditeurs aimeraient expérimenter.

Pour atteindre cet objectif, nous ne pouvons pas embaucher un enseignant pour chaque élève. L'une des solutions consiste à développer des aides/accompagnateurs de tutorat personnalisés pour chaque élève sous la forme de jumeaux numériques cognitifs symbiotiques personnalisés.

3.2. Écosystèmes d'apprentissage : quelques définitions

L'éducation et l'apprentissage ont toujours été existentiels pour l'humanité et ont évolué tout au long des millénaires [51]. Récemment, les systèmes éducatifs ont évolué plus rapidement en raison des changements socioculturels, politiques, économiques, démographiques et technologiques [90]. Les nouvelles technologies (telles que les médias sociaux, les jeux sérieux, les logiciels adaptatifs et les systèmes de communication définis par logiciel) et les pratiques émergentes (ouverture, modélisation de l'utilisateur) en particulier, ont facilité les possibilités de transformer l'éducation, l'apprentissage et en particulier l'enseignement. Avec l'avènement d'Internet, du Web et l'arrivée de la pandémie de COVID-19, l'enseignement physique s'est étendu à l'enseignement en réseau par le biais de l'enseignement à distance, des cours en ligne massifs (MOOC) [3], des avatars, des cours en ligne, des groupes de discussion et des laboratoires à distance. Les médias sociaux fournissent également de nouveaux canaux,

notamment Facebook, Twitter, Flickr, Digg, YouTube, Upcoming, LastFM, Technorati, MyBlogLog, Discord et SlideShare.

De nouvelles façons de présenter le matériel et les discussions ont dû être développées. De nouvelles façons de faire des laboratoires et des démonstrations de résultats ont dû être développées. De nouvelles méthodes de conseil et de surveillance asynchrones et synchrones des étudiants par les enseignants et les assistants d'enseignement ont dû être développées avec de nouveaux canaux de communication sur les réseaux d'apprentissage.

En plus de ces changements, dans les salles de classe et les laboratoires de recherche, la pandémie a également accéléré le développement de l'intelligence artificielle et augmentée (IA) en raison des énormes nouvelles données liées aux activités humaines en ligne, y compris l'enseignement, l'apprentissage théorique et expérientiel, la livraison de tests et d'examens en ligne, la préparation du matériel, le tutorat en ligne, les tutoriels, les ateliers, colloques, conférences, réunions d'affaires et nouvelles formes d'interaction éducative.

L'élimination des déplacements a permis non seulement de réduire l'empreinte carbone, mais aussi de consacrer plus de temps à trouver des moyens plus productifs d'interagir et de coopérer avec un plus grand nombre de personnes. Bien que la recherche et le développement dans le domaine de l'IA aient produit des résultats magnifiques, le choc pandémique a donné une impulsion supplémentaire qui s'est traduite par une amélioration radicale des traducteurs linguistiques, des générateurs de langues écrites et parlées, ainsi que des générateurs d'images et de vidéos, tous cohérents avec le comportement des utilisateurs lors des activités en ligne massives pendant la pandémie.

3.2.1 Qu'est-ce que l'apprentissage ?

L'apprentissage est l'acquisition de connaissances, de compétences professionnelles et autres, soit par l'auto-apprentissage, soit par l'enseignement par des parents, des amis, des enseignants et/ou des tuteurs, ou des systèmes intelligents, ou un lieu de travail, ou des organisations, tous avec différents degrés d'expérience, de l'enfance à l'adolescence, en passant par la vie professionnelle et les années d'expérience. L'apprentissage se fait de différentes manières, y compris de manière systématique (écoles, lecture régulière de résumés scientifiques, techniques et autres, discussions avec la famille, les collègues et les amis) et par le biais d'expériences et d'événements moins prévisibles qui se produisent dans la vie. Cet apprentissage expérientiel est également fondamental dans l'acquisition de connaissances importantes dans la prise de décision. L'apprentissage altère le fonctionnement du cerveau [42].

3.2.2 Qu'est-ce que l'éducation ?

Nous venons de définir l'apprentissage comme le processus d'acquisition de connaissances dans une discipline, de compétences techniques et non techniques, de pensée critique, de pensée créative, de valeurs, de croyances et d'habitudes. L'éducation est alors le processus qui facilite l'apprentissage par l'enseignement, la formation, la discussion, les expériences expérientielles interactives et la recherche dirigée.

Nous apprenons mieux en agissant sur ce que nous avons appris, en y réfléchissant et en participant réellement au monde réel. Un apprentissage efficace et percutant exige que nous nous immergions complètement dans le processus : avec notre volonté, nos sens, nos sentiments, notre intuition, nos croyances et nos valeurs. Cela part souvent de notre propre enquête. C'est un point très important à souligner : l'impact de l'éducation sur nous est déterminé par notre engagement ; La technologie en elle-même peut aider, mais ne remplace pas l'engagement. Pour que la symbiose ait un effet multiplicateur, nous devons également engager la technologie.

Dans le passé, l'apprentissage était modélisé comme un processus linéaire dans lequel la progression à travers divers événements éducatifs produisait un effet additif. Aujourd'hui, les chercheurs et les éducateurs modélisent l'apprentissage ainsi que la croissance et le développement comme un système dynamique non linéaire. Le système éducatif symbiotique de jumeau numérique que nous proposons est destiné à nous aider dans notre apprentissage tout au long de la vie avec des possibilités émergentes.

Une écologie de l'apprentissage comprend (i) des concepts d'apprentissage, (ii) des dimensions d'apprentissage, (iii) des filtres, (iv) des conduits. L'apprentissage est un processus qui implique plusieurs concepts fondamentaux, tels que les signaux et le bruit dans l'environnement réel et/ou virtuel, les observables et les données, l'information, la connaissance, le sens, la compréhension, la sagesse et la vision. Nous apprenons parce que (ce sont les dimensions de l'apprentissage) : nous avons besoin de savoir, nous voulons faire quelque chose, nous voulons être quelqu'un, ainsi que nous voulons créer, transformer et changer. Les filtres éducatifs qui influent sur nos résultats comprennent les valeurs, les perspectives et les croyances. Les canaux éducatifs comprennent des langues, des médias et des technologies sélectionnés engagés dans le processus.

Le processus éducatif peut être formel ou informel, il peut se faire par le biais de l'auto-apprentissage ou des communautés, avec l'aide d'un soutien direct à la performance ou d'un suivi et d'un mentorat, tous acquérant de l'expérience par la simulation, l'émulation, l'apprentissage expérientiel, le stage, le programme coopératif ou l'apprentissage.

3.3. Modèles actuels d'apprentissage

Marcy Driscoll [17] a fourni une classification des épistémologies, y compris (i) le béhaviorisme (objectivisme) dans lequel la réalité est extérieure à l'esprit et la connaissance et la perception sont acquises par l'expérience, (ii) le cognitivisme (pragmatisme) dans lequel la connaissance est une négociation entre la réflexion et l'expérience, la recherche et l'action, et (iii) le constructivisme (interprétivisme) dans lequel la connaissance est une construction interne et est informée par la socialisation et les indices culturels. De Corte a donné un aperçu des développements historiques dans la compréhension de l'apprentissage [11]. Une discussion détaillée des systèmes et de leurs variantes peut être trouvée dans [51].

Étant donné que le comportement humain ne peut pas être entièrement compris par l'approche béhavioriste réductionniste (décomposition du système en parties linéaires puis reconstitution), l'idée de la psychologie de la Gestalt est devenue plus attrayante dans laquelle la configuration organisée des composants de l'ensemble du système est considérée. Cette approche de

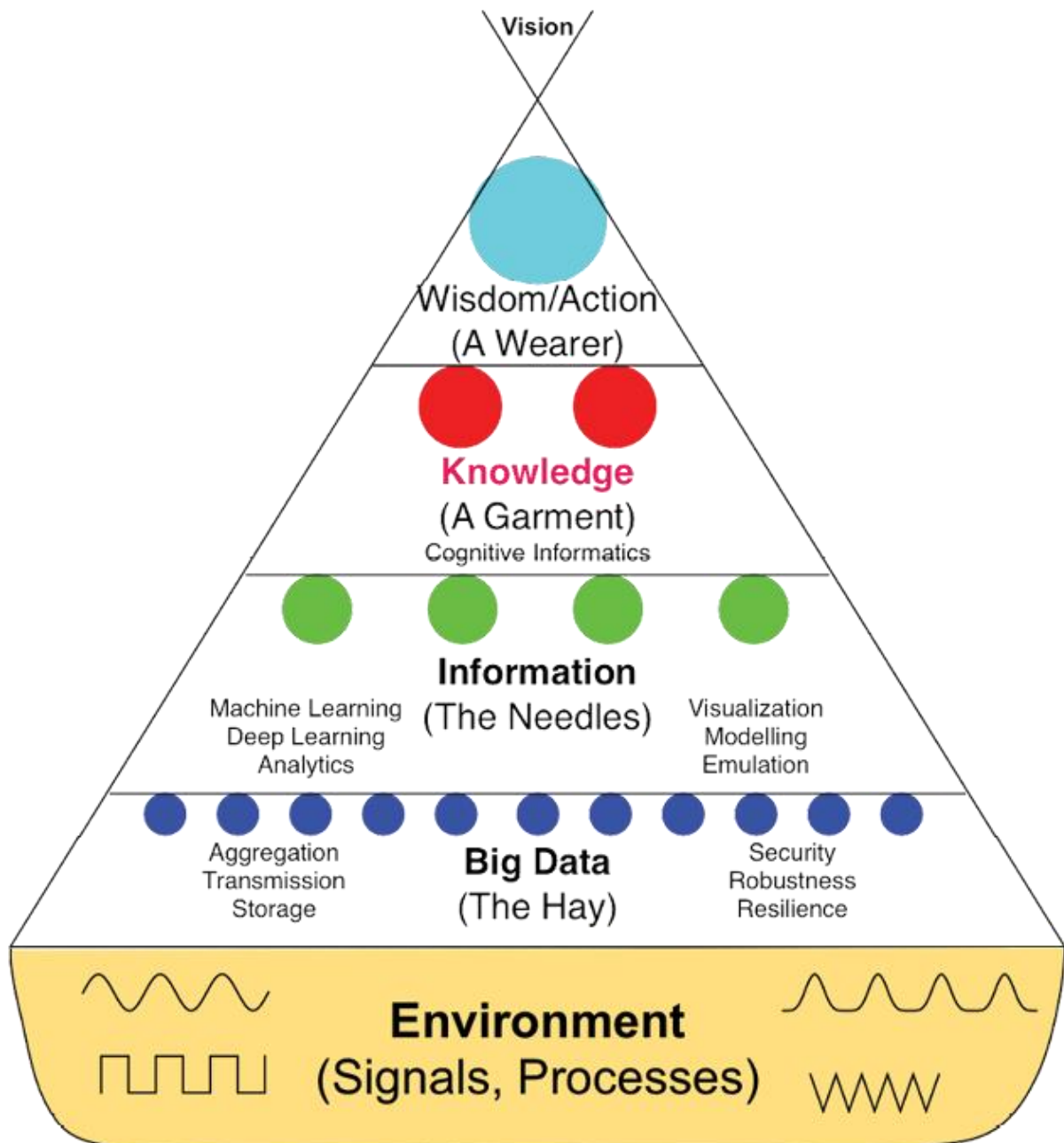
l'apprentissage nécessite des techniques de traitement de l'information. Le constructivisme social pourrait être un bon modèle pour représenter les interactions entre les apprenants et leur environnement contextuel d'ancrage. Cela s'accompagne également d'un abandon des exercices artificiels au profit de situations réelles. La vision actuelle de l'apprentissage inclut la compétence adaptative caractérisée par ce que l'on appelle l'apprentissage CSSC (« constructif » pour signifier que les apprenants sont responsables de la construction de leurs connaissances et de leurs compétences ; « autorégulée » au fur et à mesure que les apprenants utilisent leurs stratégies d'apprentissage ; « situé » pour indiquer l'apprentissage dans le contexte de l'environnement, plutôt que d'en faire abstraction ; et « collaboratif » pour indiquer une approche d'équipe plutôt qu'individuelle.

Stephen Downes [16] [16] et George Siemens (par exemple, [17], [79], [25], [80]) ont proposé une autre théorie de l'apprentissage appelée connectivisme, basée sur diverses idées de réseaux et de systèmes dynamiques, c'est-à-dire des systèmes non linéaires complexes en interaction qui peuvent développer le chaos et l'auto-organisation. Le connectivisme est basé sur des connaissances adaptatives distribuées (considérées comme composées de connexions et d'entités en réseau) et tente d'expliquer comment de nouvelles connaissances sont créées. Siemens utilise l'exemple de personnes âgées qui ont été mises en relation en tant que mentors avec des élèves de l'école primaire, formant ainsi un nouveau savoir distribué. De ce point de vue, l'apprentissage est un processus de connexion de nœuds spécialisés ou de sources d'information et peut résider dans des nœuds non humains. Ainsi, savoir où trouver l'information est plus important que de connaître l'élément d'information. En revanche, les trois autres théories n'abordent pas la nouvelle création de connaissances distribuées. Une discussion des points de vue critiques sur les systèmes et leurs variantes peut être trouvée dans [51].

3.4. Le modèle de la pyramide des connaissances (ODIKWaV)

La figure 5 illustre une progression commune des étapes d'apprentissage situé, à partir de (O) observations de l'environnement menant à (D) données extraites des observations à (I) l'information, (K) la connaissance et l'action, (W) la sagesse, et enfin (V) la vision [51]. C'est ce qu'on appelle souvent le modèle pyramidal données-information-connaissance-sagesse (DIKW). Ce modèle est important car il sera requis dans le système d'apprentissage SALES à l'aide de jumeaux numériques. Le cœur d'un jumeau numérique devra inclure le modèle ODIKWaV.

Fig 5 : Le modèle de la pyramide des connaissances



Nous avons étendu ce modèle pour inclure des observations dirigées et ciblées afin de réduire les données indésirables. Pour savoir ce qui constitue la pertinence des données, des connaissances et des actions (expérience) sont nécessaires. Répondre uniquement à l'environnement n'est pas suffisant dans le modèle étendu, car pour que les observations soient pertinentes, une vision est également nécessaire.

Dans la hiérarchie du développement scientifique et technique humain, les données apparaissent au point de départ de notre analyse et donnent l'impulsion à notre apprentissage basé sur les données. L'analyse des données peut fournir des informations utiles. Notez que si nous considérons les données comme une pile de foin, l'extraction de l'information pourrait être

comparée à la recherche d'une aiguille dans la pile. Des informations utiles peuvent conduire à la connaissance (informations tissées dans un vêtement). Une bonne connaissance peut conduire à une sagesse accrue dont l'élève (le porteur du vêtement) a besoin pour prendre de bonnes décisions. Bien que ce modèle soit assez limité, nous l'avons décrit pour le relier directement au concept de jumeaux numériques. Une discussion plus détaillée des différents niveaux de la pyramide peut être trouvée dans [51]. Kinsner a également modifié l'ODIKWaV d'un modèle pyramidal à un modèle d'igloo pour mettre l'accent sur l'importance de la connaissance et de la sagesse pertinentes (objectif).

4. Vers une éducation symbiotique personnalisée évolutive avec des jumeaux numériques

4.1. Résumé des motifs

Comme nous l'avons vu, le tsunami de connaissances, l'automatisation et l'émergence de l'IA générative (genAI) sont un changement dans le modèle actuel de classe/atelier dans les universités, les collèges, la formation et le recyclage professionnels, les écoles secondaires, les écoles primaires et les jardins d'enfants. De plus en plus d'étudiants et de travailleurs apprennent « juste à temps », et souvent juste assez pour résoudre un problème ou terminer un travail. Ce n'est pas suffisant.

Les enseignants et les formateurs ne peuvent plus être les principales sources de connaissances sur le monde ou l'environnement de travail, mais ont besoin de nouvelles formes de technologie pour aider à trouver et à gérer la quantité croissante d'informations. Aucune personne, aussi brillante soit-elle, ne peut gérer les connaissances, même dans un seul domaine d'étude.

Par conséquent, les rôles des enseignants, des formateurs et des consultants doivent changer, passant de présentateurs d'informations à guides, mentors, conservateurs du savoir, penseurs critiques et résolveurs de problèmes. Ils devront utiliser les compétences et les littératies d'apprentissage numériques.

Tout au long de la section précédente, nous avons fait valoir que la prochaine génération d'éducation bénéficierait beaucoup du développement de jumeaux numériques cognitifs symbiotiques personnalisés capables d'être en relation avec les êtres humains dans un système symbiotique. Cette connaissance intime des capacités et des besoins personnels pourrait permettre aux jumeaux numériques de fournir à la fois le BoK et le BoX d'une manière personnalisée qui a une chance de rivaliser avec le meilleur modèle de l'Oxford Master du passé.

Les jumeaux numériques cognitifs pourraient être très utiles pour accroître notre résilience dans de nombreux domaines, notamment : (i) la curation des connaissances (organisation et filtrage selon des critères convenus pour éliminer les connaissances non pertinentes) ; (ii) Fusion des connaissances (pour découvrir et nettoyer les erreurs présentes dans les sources, ainsi que les erreurs commises dans le processus d'extraction des connaissances à partir des sources) ; (iii) Gestion du plagiat (pour générer de nouvelles connaissances) ; (iv) Vérification des connaissances (pour identifier et vérifier la qualité des sources du contenu utilisé dans l'organisation) ; (v) Gestion de la propriété intellectuelle (séparation de la propriété intellectuelle, des secrets commerciaux et des informations protégées par le droit d'auteur du

contenu générique et du domaine public) ; (vi) Temporisation des connaissances (pour identifier les connaissances qui ne peuvent plus être utilisées) ; (vii) À mesure que les bibliothèques traditionnelles diminuent, la création d'un « bibliothécaire » jumeau numérique qui connaît les besoins de l'organisation et de ses membres serait bénéfique ; (viii) À mesure que l'édition traditionnelle diminue, la création d'un « éditeur » de jumeaux numériques approprié pourrait être bénéfique pour l'organisation ; (ix) Agir en tant qu'assistants et consultants auprès du personnel médical ayant connaissance des milliers de cas similaires ou plus ; (x) Agir en tant qu'assistants, consultants et mentors auprès des étudiants à différents stades et niveaux de leur développement ; (xi) Un tuteur contre les fausses informations, l'information erronée (incorrecte, mais non destinée à nuire) ; la désinformation (dans le but de nuire) ; et (xii) un gardien de notre vie privée et de notre sécurité pour nous protéger contre l'esclavage 4.0 dans lequel nous (c'est-à-dire notre comportement) sommes vendus sans même le savoir.

4.2. Qu'est-ce qu'un jumeau numérique ?

Un jumeau numérique (JN / DT) est défini comme une réplique numérique en temps réel (RT) (entité virtuelle, EV) d'une entité physique (EP) telle qu'une entité non vivante (appareils, sous-systèmes, systèmes, processus) ou une entité physique vivante. Le JN / DT modélise les éléments physiques de l'EP et leur dynamique, et l'EP et l'EV peuvent coexister simultanément, constituant ainsi un système cyber-physique.

Sur la base de données RT multi-sources, le JN / DT apprend et se met à jour pour représenter son état (conditions de travail, dysfonctionnements possibles et maintenance requise), et peut contrôler l'EP tout au long de son fonctionnement. Étant donné que le JN / DT peut également intégrer ses données historiques dans son modèle, il peut apprendre de ses comportements passés, ainsi que de ses décisions passées et de leur impact sur le processus lui-même et l'environnement dans lequel il existe. La quatrième révolution industrielle (Industrie 4.0) a beaucoup utilisé les JN / DT (par exemple, [28], [30]).

L'idée est de mettre en miroir un objet analogique physique en bits (c'est-à-dire un système numérique physique, ne ressemblant pas à l'objet d'origine par sa forme, mais par son comportement), en gardant la réplique binaire synchronisée avec la réplique physique. Cela permet différents types d'analyses rétrospectives et prédictives sur le jumeau numérique qui peuvent fournir un meilleur aperçu du jumeau analogique et conduire à des actions correctives si nécessaire. En ce sens, les jumeaux numériques sont de nouveaux outils d'éducation : plutôt que d'étudier et de s'entraîner sur l'objet analogique, on peut d'abord étudier en utilisant sa représentation numérique. De nombreuses technologies, comme la réalité virtuelle, peuvent encore améliorer la formation et l'éducation.

L'utilité d'un jumeau numérique va au-delà de ce scénario. Le jumeau numérique peut se développer bien au-delà de nos limites physiques et physiologiques, et trouver des moyens appropriés pour nous aider à nous adapter au défi intenable de doubler les connaissances sur une période de temps décroissante. Un autre défi est la nécessité d'éduquer les individus pour plus d'un emploi en raison de l'automatisation, de la mécanisation et de la croissance sans précédent de l'apprentissage profond (DL) [1] [27] et de l'intelligence artificielle générale (AGI), comme décrit dans les livres blancs I et II [13]. Certains défis liés au développement

d'une meilleure formation en ingénierie dans les systèmes cognitifs sont décrits dans [2][49], [3][55].

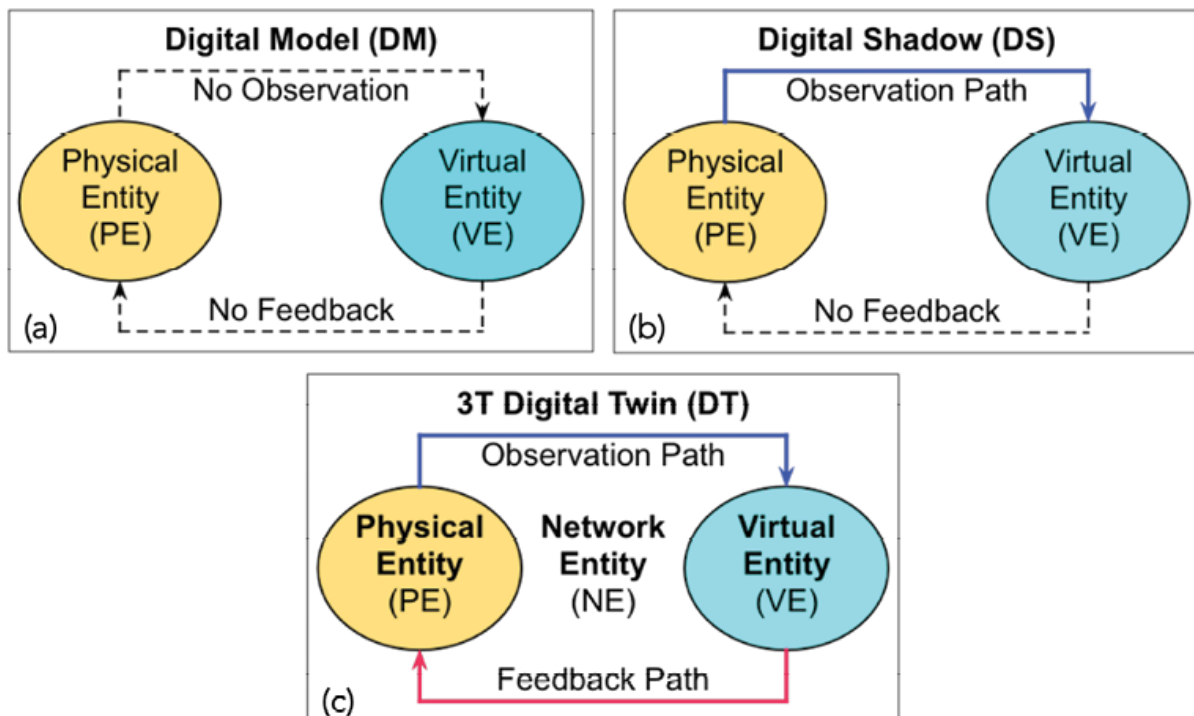
4.3. Applications des jumeaux numériques

Dans les industries (fabrication, automobile, soins de santé et entreprises), les JN / DT sont souvent utilisés pour optimiser l'exploitation et la maintenance des actifs physiques, des systèmes et des processus de fabrication. D'autres applications comprennent : (i) la production d'électricité (hydroliennes, éoliennes, solaire) ; ii) Services publics (réseaux d'électricité, de gaz, d'eau et d'assainissement de Siemens, General Electric) ; iii) Aéronefs, fusées, satellites, moteurs (Boeing, NASA, SpaceX) ; iv) Locomotives ; (v) Automobile (Tesla) ; (vi) Bâtiments ; (vii) Grandes structures (plates-formes offshore) ; et (viii) les systèmes de contrôle du chauffage, de la ventilation et de la climatisation. Il existe un intérêt pour l'application des jumeaux numériques dans l'éducation (par exemple, [43], [19]).

4.4. Évolution des jumeaux numériques

Le concept de jumeau numérique (JN / DT) a évolué au cours des 10 dernières années (par exemple, [29] [71]) d'un modèle numérique (DM, Fig. 6a) à un jumeau numérique (DS, Fig. 6b), en passant par une ombre numérique (DS, Fig. 6b), jusqu'au jumeau numérique proprement dit (DT, Fig. 6c).

Fig. 6 : Évolution du concept de jumeau numérique. a) Maquette numérique. (b) Ombre numérique. c) Jumeau numérique.



4.4.1 Modèle numérique (DM)

Une maquette numérique (DM ; Fig. 5a) est un modèle mathématique précis de l'entité physique (PE) conçu pour imiter l'entité physique (EP) aussi précisément que possible, et lorsqu'il est implémenté dans un logiciel sur un environnement informatique, il peut être utilisé pour simuler le comportement de l'EP à des fins d'enseignement ou de recherche. Cependant, comme il n'y a pas de lien de surveillance à partir de l'EP, le modèle ne peut pas être ajusté aux conditions actuelles de l'EP. De plus, comme il n'y a pas de lien avec les actionneurs dans l'EP, le système physique ne peut pas être contrôlé.

4.4.2 Ombre numérique (DS)

Une ombre numérique (Fig. 5b) est une amélioration par rapport au modèle numérique (DM) car elle a un lien avec la section de surveillance de l'EP, ce qui permet à l'ombre numérique de mettre à jour ses paramètres dans le modèle pour refléter les conditions actuelles dans l'EP. Le DS n'a pas de chemin de retour vers l'EP.

4.4.3 Jumeau numérique (JN / DT)

Le jumeau numérique (Fig. 5c) est une amélioration supplémentaire par rapport à l'ombre numérique (DS) car il a un autre lien avec la section de contrôle de l'EP, ce qui permet au DT non seulement de mettre à jour ses paramètres dans le modèle pour refléter les conditions actuelles dans le DE, mais aussi de le contrôler.

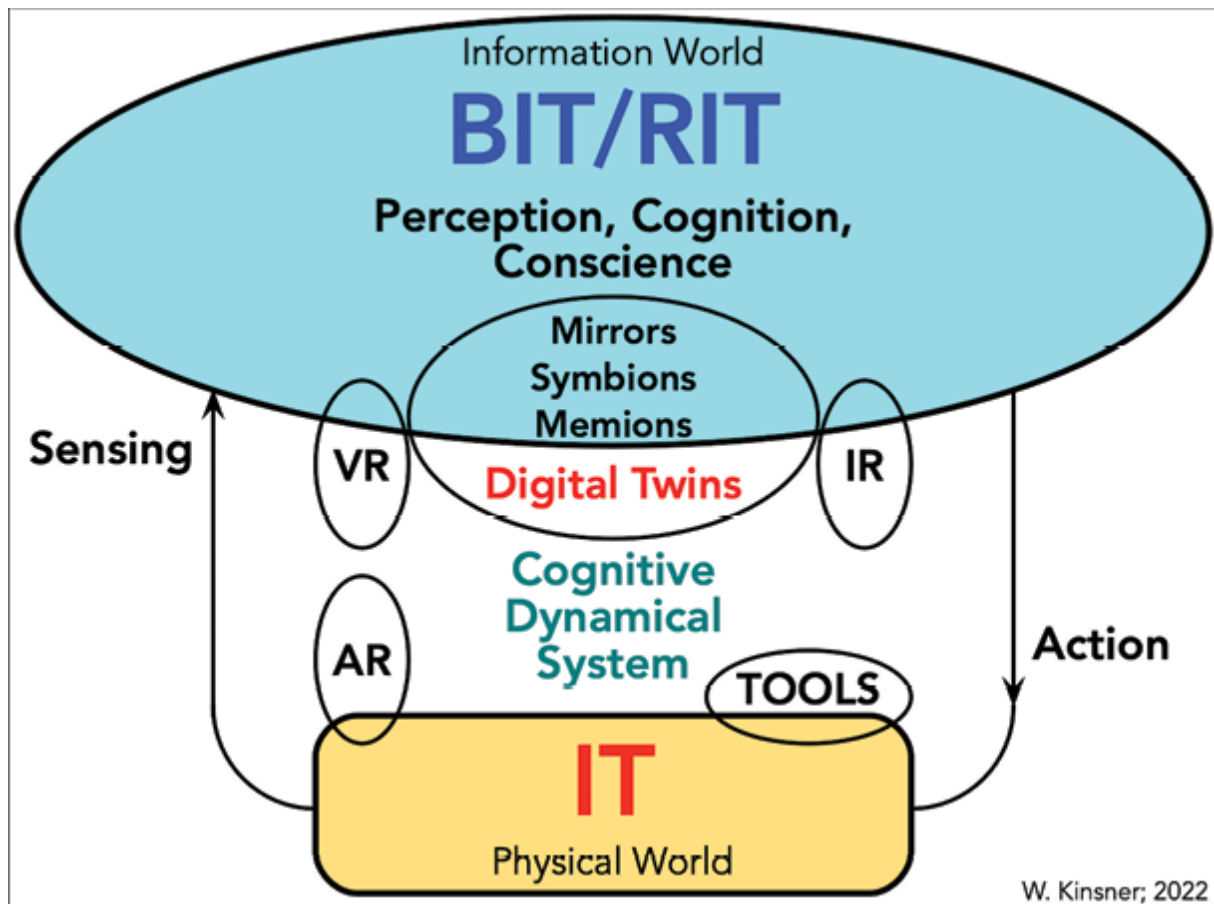
4.5. Attributs des jumeaux numériques

Les jumeaux numériques possèdent plusieurs attributs essentiels. Ils sont bien connectés à l'entité physique (EP) en utilisant de nombreuses formes, notamment l'Internet des objets (IoT) et l'Internet industriel des objets (IIoT). Ils utilisent largement l'intelligence artificielle pour des analyses réactives et prédictives. Ils utilisent souvent l'holarchie (une structure de holons multi-agents où chaque holon peut être non seulement une partie, mais un tout). Cela contraste avec la hiérarchie (avec un haut et un bas séparés) utilisée par les systèmes hiérarchiques avec un centre de contrôle central dominant. Un autre attribut est l'homogénéisation dans laquelle les données ne sont pas contraintes par l'emplacement physique ou le temps. Les DT disposent également de traces numériques en temps réel pour avoir une idée de l'évolution des événements en temps réel. La modularité est également un attribut important des DT pour le débogage et la maintenance.

4.6. Bit/Rit à partir de It ou It à partir de Bit/Rit/Qbit ?

La figure 7 illustre le lien entre la réalité physique (IT) et la réalité numérique (BIT) et la réalité relationnelle (RIT) à l'aide du jumeau numérique, de la réalité virtuelle (VR), de la réalité augmentée (AR) et de la réalité intelligente (IR).

Fig.7. L'écosystème du jumeau numérique et les liens entre les réalités physiques et numériques.



Le concept de jumeau numérique ressemble à l'observation du célèbre John Archibald Wheeler « It from Bit » et à l'inverse de « Bit from It » de Julian Barbour [2]. Aujourd'hui, nous avons encore principalement des « Bit/Rit » de « It », mais avec les progrès de la technologie, le « It » est de plus en plus affecté par « Bit/Rit » et Qbit. L'observation de Wheeler peut aussi être la source de l'un des plus grands dangers lorsque nous pourrions être séparés du véritable « Ça ». La désinformation, la désinformation et les fausses « réalités » visuelles et sonores générées par genAI ont déjà fait beaucoup de dégâts.

4.7. Jumeau numérique symbiotique (Symbion)

Rappelons qu'un jumeau numérique (DT) est une réplique d'une entité physique (PE). Si l'EP est une personne dont l'état actuel d'apprentissage est décrit par le modèle de pyramide des connaissances/igloo (ODIKWaV), alors le jumeau numérique personnalisé est appelé DT1.

Étant donné que le DT1 est destiné à interagir avec l'EP et l'environnement en surveillant non seulement la personne mais aussi l'environnement, puis en analysant les deux en continu, tout en conseillant le mentorat et l'apprentissage, le DT1 se développe pour former un jumeau numérique DT2, comme illustré à la Fig.8. La relation entre la personne et l'environnement est conçue pour être symbiotique ; c'est-à-dire que tous les partenaires bénéficient de la relation. Pour distinguer les modèles précédents DT, DT1 et DT2 ou SDT1, la nouvelle entité numérique DT2 est appelée jumeau numérique symbiotique ou symbion en abrégé.

De manière formelle, notre jumeau numérique pourrait représenter à la fois nos compétences, nos connaissances et notre sagesse. Il peut également être accompagné d'applications prenant en compte l'évanouissement des compétences (ce que l'on perd quand on ne pratique pas) et des connaissances (quand on oublie). Ces informations sur nos compétences/connaissances dégradantes peuvent être le point de départ d'un programme d'éducation proactif.

Écrire un article et le présenter lors d'une conférence, ou assister à une conférence pour écouter des collègues présenter leurs articles peut également être reflété par notre jumeau numérique. Il en va de même pour le processus d'examen des articles.

De nombreux éditeurs autorisent une discussion continue sur leurs articles publiés qui pourraient être surveillés par notre jumeau numérique.

Les établissements d'enseignement, y compris l'IEEE, pourraient contribuer à la mise en miroir de leurs « étudiants » et de leurs « membres » dans des jumeaux numériques. Ceux-ci pourraient être très utiles pour créer des programmes d'éducation personnalisés et personnalisés.

Un exemple d'un tel programme est le système d'enseignement personnalisé (PSI) de Fred S. Keller (1899-1996 ; 97) [4] [47]. Étant donné que l'administration manuelle du PSI de Keller est très fastidieuse, nous avons développé un PSI assisté par ordinateur (CAPSI) qui fonctionne à l'Université du Manitoba, au Canada, depuis de nombreuses années [5] [54].

Notre système est une ombre numérique d'un élève individuel, avec la rétroaction fournie à un élève en difficulté par un surveillant humain (également un étudiant) qui a progressé dans le matériel et qui est qualifié pour aider l'élève en difficulté tel qu'assigné par l'ACEP.

Dans un système autonome symbiotique (SAS), les compétences, les connaissances et la sagesse doivent être partagées entre les sous-systèmes qui le composent afin d'améliorer les performances globales du système.

De plus, le jumeau numérique pourrait commencer à augmenter (ou à diminuer) l'interaction entre ses parties. Remarquez que dans les systèmes complexes dynamiques, le tout n'est pas nécessairement la somme de ses parties. Grâce à de telles interactions non linéaires, une qualité émergente peut apparaître qui ne se trouve dans aucune de ses parties.

4.8. Jumeau numérique symbiotique mémétique (Memion)

Un memion est un jumeau numérique symbiotique ($SDT1 \equiv DT2$) combiné à un DT mémétique ($MDT2 \equiv DT3$). Il a les connaissances entrelacées de l'individu avec les connaissances d'une équipe de projet, d'un environnement de travail, d'une communauté, d'une organisation, d'une société et d'une culture. La figure 9 illustre schématiquement un mémoire.

4.9. Comportement émergent des symbions et des mémions

Étant donné que les symbions et les mémions peuvent interagir avec leur jumeau, la personne, et entre eux, leurs interactions peuvent conduire à des comportements émergents, produisant de nouveaux comportements qui peuvent être bénéfiques. Il s'agit d'un domaine de recherche.

L'apprentissage par le biais de la relation symbiotique entre un individu et un jumeau numérique est potentiellement beaucoup plus bénéfique pour l'individu que les méthodes d'apprentissage alternatives.

Le couple symbiotique (l'individu et le jumeau numérique) est appelé ici symbions.

Il devrait être très clair que ces symbions individuelles sont reliées à d'autres symbions par la construction fondamentale d'un jumeau numérique.

Les symbions individuels peuvent entrer en relation symbiotique avec d'autres symbions, formant des équipes, des communautés et des sociétés, comme le montre la figure 10.

4.10. Mise en œuvre des jumeaux numériques pour l'éducation

Pour réussir, cette éducation symbiotique personnalisée doit utiliser des algorithmes sophistiqués disponibles aujourd'hui et pourrait accélérer le développement de meilleurs algorithmes, notamment :

- Apprentissage automatique et apprentissage profond [6], [27] ;
- Systèmes cognitifs [94], [Wang02] ;
- IA générative et autres IA appropriées [] ;
- Intelligence Web [Deva1986], [26], [101], [71] ;
- Traitement statistique du signal d'ordre supérieur (HO) [35] ;
- Traitement intelligent du signal [50], [36] ;
- Détection de compression [5] ;
- Informatique floue et granulaire [68] ;
- Analyse multi-échelles (ondelettes) [98], [92] ;
- Mesures polyscale et traitement du signal fractal [48], [53], [52], [101], [Verh06] ;
- Modèles de dépendance à long terme dans les données [53], [46], [78] ;
- Analyse de séries chronologiques non linéaires [35] ;
- Passer au crible nos informations et nos connaissances pertinentes [85] ; [76], [Wolc17] ;
- Concepts de systèmes dynamiques émergents [83], [Deva1986] ; et
- Systèmes dynamiques et mesures de complexité telles que les entropies d'apprentissage [7], [48].

4.11. Implémentations de jumeaux numériques dans l'industrie

Les jumeaux numériques industriels ont été mis en œuvre par de nombreuses entreprises telles que Siemens, Boeing et General Electric de la NASA. Les nouvelles implémentations sont de plus en plus nombreuses dans le monde entier. L'une d'entre elles est destinée à fournir des connaissances en tant que service (KaaS) aux membres d'une organisation [51]. D'autres exemples incluent [61], [58], [20], [21], [44], [57], [60], [99], [4], [84] et [71].

5. Mot de la fin sur l'éducation symbiotique personnalisée

L'écosystème d'éducation et d'apprentissage symbiotique personnalisé (PSELES) proposé promet d'avoir un impact important sur la façon dont nous étudions, apprenons, acquérons des compétences, interagissons avec les personnes et les machines, découvrons de nouvelles choses, apprenons à utiliser de nouvelles choses et à percevoir et voir la réalité beaucoup plus profondément. Cette éducation symbiotique personnalisée peut ouvrir un nouveau paysage pour de nouveaux concepts et projets de recherche passionnants.

Nous savons déjà comment rivaliser. L'éducation symbiotique pourrait nous aider à apprendre à rivaliser équitablement. Si la concurrence peut améliorer l'équité, nous pouvons aussi apprendre à coopérer dans l'intérêt de toutes les parties concernées.

Un autre résultat important du développement de jumeaux numériques cognitifs personnalisés est qu'ils pourraient contribuer à accroître la sécurité humaine non seulement pour les quelques personnes qui peuvent se les permettre, mais pour tous. Les jumeaux numériques cognitifs personnalisés peuvent en fait renforcer l'utilisation éthique de l'ensemble de l'écosystème en opérant de manière éthique dans des relations symbiotiques avec nous.

Bibliographie

1. Ali Abedi, Mohamed Amin, Rosa M. Badia, Mary Baker, Greg Byrd, Mercy Chelangat Koech, Thomas Coughlin, Jayakrishnan Divakaran, Paolo Faraboschi, Nicola Ferrier, Eitan Frachtenberg, Ada Gavrilovska, Alfredo Goldman, Francesca Iacopi, Vincent Kaabunga, Hironori Kasahara, Witold Kinsner, Danny Lange, Phillip Laplante, Katherine Mansfield, Avi Mendelson, Cecilia Metra, Dejan Milojicic (président), Puneet Kumar Mishra, Chris Miyachi, Khaled Mokhtar, Bob Parro, Nita Patel, Alexandra Posoldova, Marina Ruggieri, Saracco Roberto, Tomy Sebastian, Saurabh Sinha, Michelle Tubb, John Verboncoeur et Irene pazos viana. Prédiction technologiques pour 2023. Salle de presse de l'IEEE Computer Society, 18 janvier 2023. <https://www.computer.org/2023-top-technology-predictions>; <https://www.computer.org/press-room/2023-news/technology-predictions-for-2023-released-ieee-computer-society-experts-gauge-the-future-of-tech> <https://www.computer.org/press-room/news-archive?tag=cs-tech-trends-and-predictions>; <https://lnkd.in/gTUssZsM> ; <https://lnkd.in/gRgHETe3>
2. Anthony Aguirre, Brendan Foster et Zeeya Merali, *It From Bit or Bit From It ? : On Physics and Information*. New York, NY : Springer, 2015, 248 pages. {ISBN-13 : 978-331912945-7 ; DOI : 10.1007/978-3-319-12946-4_17} <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-12946-4>
3. Terry Anderson (éd.), *La théorie et la pratique de l'apprentissage en ligne*. Edmonton, AB : AU Press, 2008 (2e éd.), 484 pages. {ISBN :9781897425077, PDF, gratuit} http://www.aupress.ca/books/120146/ebook/99Z_Anderson_2008-Theory_and_Practice_of_Online_Learning.pdf
4. Anatol Badach, « Les jumeaux numériques dans l'IoT », Rapport technique, 24 p., décembre 2022. {DOI : 10.13140/RG.2.2.16000.92161} https://www.researchgate.net/publication/366167747_Digital_Twins_in_IoT
5. Richard G. Baraniuk, Emmanuel Candes, Robert Novak et Martin Vetterli, « Compressive sampling », *IEEE Signal Processing*, vol. 25, n° 2, p. 12-20, mars 2008.

6. Christopher M. Bishop, *Reconnaissance des formes et apprentissage automatique*. Cambridge, Royaume-Uni : Springer Science, 2004 (2e éd.), 738 pages.
7. Ivo Bukovsky, Witold Kinsner et Noriyasu Homma, « Learning Entropy as a Learning-Based Information Concept », *Entropy*, vol. 21, n° 2, article #166, 2019, 14 pages. <https://www.mdpi.com/1099-4300/21/2/166> ; <https://doi.org/10.3390/e21020166> ; <https://www.linkedin.com/pulse/learning-entropy-learning-based-information-concept-connie-xiong/?published=t>
8. Cadmus, *Le manifeste Russell-Einstein : aussi pertinent aujourd'hui qu'il l'était il y a 65 ans* », *Cadmus (Editorial)*, vol. 4, n° 2, mai-juin 2020. <https://cadmusjournal.org/article/volume-4/issue-2/russell-einstein-manifesto-relevant-today-it-was-65-years-ago>
9. Aakanksha Chowdhery, Sharan Narang, Jacob Devlin, Maarten Bosma, Gaurav Mishra, Adam Roberts, Paul Barham, Hyung Won Chung, Charles Sutton, Sebastian Gehrmann, Parker Schuh, Kensen Shi, Sasha Tsvyashchenko, Joshua Maynez, Abhishek Rao, Parker Barnes, Yi Tay, Noam Shazeer, Vinodkumar Prabhakaran, Emily Reif, Nan Du, Ben Hutchinson, Reiner Pope, James Bradbury, Jacob Austin, Michael Isard, Guy Gur-Ari, Pengcheng Yin, Toju Duke, Anselm Levskaya, Sanjay Ghemawat, Sunipa Dev, Henryk Michalewski, Xavier Garcia, Vedant Misra, Kevin Robinson, Liam Fedus, Denny Zhou, Daphne Ippolito, David Luan, Hyeontaek Lim, Barret Zoph, Alexander Spiridonov, Ryan Sepassi, David Dohan, Shivani Agrawal, Mark Omernick, Andrew M. Dai, Thanumalayan Sankaranarayanan Pillai, Marie Pellat, Aitor Lewkowycz, Erica Moreira, Rewon Child, Oleksandr Polozov, Katherine Lee, Zongwei Zhou, Xuezhi Wang, Brennan Saeta, Mark Diaz, Orhan Firat, Michele Catasta, Jason Wei, Kathy Meier-Hellstern, Douglas Eck, Jeff Dean, Slav Petrov, Noah Fiedel, « PaLM : Scaling Language Modeling with Pathways », arXiv, 5 octobre 2022, 87 pages. <https://arxiv.org/abs/2204.02311>
10. Ariel Conn, « Avantages et risques de l'intelligence artificielle », *Future of Life Institute*, 14 novembre 2015. <https://futureoflife.org/ai/benefits-risks-of-artificial-intelligence/>
11. Erik De Corte, « Développements historiques dans la compréhension de l'apprentissage », dans Hanna Dumont, David Istance, et Francisco Benavides (dir.), *La nature de l'apprentissage : utiliser la recherche pour inspirer la pratique*. Éditions OCDE, p. 35-68, 2010, 340 pages. {ISBN : 9789264086487} http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/education/the-nature-of-learning_9789264086487-en#page1 ; https://www.oecd-ilibrary.org/education/the-nature-of-learning_9789264086487-en
12. Evan Crothers, Nathalie Japkowicz et Herna Viktor, « Vers une détection éthique basée sur le contenu des campagnes d'influence en ligne », arXiv, 29 août 2019, 6 pages. <https://arxiv.org/abs/1908.11030>
13. S. Mason Dambrot, Derrick de Kerchove, Francesco Flammini, Witold Kinsner, Linda MacDonald Glenn, Roberto Saracco, *Livre blanc sur les systèmes autonomes symbiotiques II*. IEEE Future Directions - Octobre 2018, 227 pages. <https://symbiotic-autonomous-systems.ieee.org/white-paper/white-paper-ii>
14. Atsushi Deguchi, Chiaki Hirai, Hideyuki Matsuoka, Taku Nakano, Kohei Oshima, Mitsuharu Tai et Shigeyuki Tani, « Qu'est-ce que la société 5.0 ? », Ch. 1, dans *Society 5.0 : A People-centric Super-smart Society*. pp.1-25, 30 mai 2020. {ISBN :

- 978-981-15-2989-4 ; ebk } https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-2989-4_1 ; <https://doi.org/10.1007/978-981-15-2989-4>
15. Robert L. Devaney, Une introduction aux systèmes dynamiques chaotiques. Menlo Park, CA : The Benjamin-Cummings Publishing, 1986, 320 pages.
 16. Stephen Downes, Le connectivisme : une théorie de l'apprentissage personnel. 8 décembre 2008, 97 pages. <http://www.slideshare.net/Downes/connectivism-a-theory-of-personal-learning>
 17. Marcy P. Driscoll, Psychologie de l'apprentissage pour l'enseignement. New York, NY : Pearson, 2005 (3e éd.), 496 pages. {ISBN-13 : 9780205375196}. Chapitre 1 http://ocw.metu.edu.tr/file.php/118/Dris_2005.pdf
 18. Liam Dugan, Daphne Ippolito, Arun Kirubarajan, Sherry Shi, Chris Callison-Burch, « Texte réel ou faux ? : Enquête sur la capacité humaine à détecter les frontières entre le texte écrit par l'homme et le texte généré par la machine », arXiv, 24 décembre 2022. <https://arxiv.org/abs/2212.12672>
 19. Kristina Eriksson, Abdlkarim Alsaleh, Shervin Behzad Far et David Stjern, « Applying Digital Twin Technology in Higher Education : An Automation Line Case Study », dans Actes du 10e symposium suédois sur la production (SPS2022), A.H.C. Ng, A. Syberfeldt et D. Högberg (Eds.), 13 p., avril 2022, 872 pages. {ISBN : 9781643682686} https://www.researchgate.net/publication/360152998_Applying_Digital_Twin_Technology_in_Higher_Education_An_Automation_Line_Case_Study
 20. Rahatara Ferdousi, Fedwa Laamarti et Abdulmotaleb El Saddik, « Modèles d'intelligence artificielle dans les jumeaux numériques pour la santé et le bien-être », dans Jumeau numérique pour les soins de santé, Ch 6, pp. 121-136, janvier 2023. Ouvrir la révision. {DOI : 10.13140/RG.2.2.23742.77121} https://www.researchgate.net/publication/367504395_Artificial_intelligence_models_in_digital_twins_for_health_and_well-being
 21. Rahatara Ferdousi, Fedwa Laamarti, M. Anwar Hossain, Chunsheng Yang et Abdulmotaleb El Saddik, « Les jumeaux numériques au service du bien-être : une vue d'ensemble », Digital Twin, col.1, n° 7, 21 pages, février 2022. {DOI : 10.12688/digitaltwin.17475.2} https://www.researchgate.net/publication/358656713_Digital_twins_for_well-being_an_overview ; <https://www.researchgate.net/publication/358656713>
 22. Rodolfo Fiorini, Carlos Alvarez Pereira, Garry Jacobs, Donato Kiniger-Passigli, Alberto Zucconi, Nebojša Nešković, Herwig Schopper, Vojislav Mitic, Hazel Henderson, Mariana Todorova, Witold Kinsner, Luigi Cocchiarella, « Global transformative leadership in the 21st century : A science, engineering, technology integrated and strategic perspective », Cadmus, vol. 4, n° 2P1, p. 56-87, mai 2020. <https://cadmusjournal.org/article/volume-4/issue-2-part-1/global-transformative-leadership-21st-century> ; <https://www.cadmusjournal.org/files/pdfreprints/vol4issue2/Global-Transformative-Leadership-in-the-21-century-RFiorini-et-al-Cadmus-V4-I2-P1-Reprint.pdf>
 23. Future of Life Institute, « Pause giant AI experiments : An open Letter », Lettre ouverte, 22 mars 2023. <https://futureoflife.org/open-letter/pause-giant-ai-experiments/>
 24. Future of Life Institute, « Paysage de la recherche sur l'IA alignée sur les valeurs », Infographie, 16 novembre 2018. <https://futureoflife.org/valuealignmentmap/>

25. Future of Life Institute, « Asilomar AI Principles », Lettre ouverte, 11 août 2017.
<https://futureoflife.org/open-letter/ai-principles/>
26. Wensheng Gan, Zhenqiang Ye, Wan Shicheng, Philip S Yu, « Web 3.0 : l'avenir d'Internet », arXiv, 23 mars 2023, 11 pages. {DOI : 10.1145/3543873.3587583} https://www.researchgate.net/publication/369753421_Web_30_The_Future_of_Internet
27. Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville, Apprentissage profond. Cambridge, MA : MIT Press, 2016, 800 pages. {ISBN : 978-026203561-3} <https://mitpress.mit.edu/books/deep-learning> ; Formulaire HTML : <http://www.deeplearningbook.org/>
28. Michael Grieves, « Les jumeaux numériques intelligents et le développement et la gestion de systèmes complexes », Jumeau numérique, vol. 2, p. 8, juin 2022, 24 pages. {DOI : 10.12688/digitaltwin.17574.1} [https://digitaltwin1.s3.ap-southeast-1.amazonaws.com/manuscripts/18853/8e9d4e59-b664-4601-b1c9-dc83e83b7c6e_17574_-_michael_grieves_\(2\).pdf?doi=10.12688/](https://digitaltwin1.s3.ap-southeast-1.amazonaws.com/manuscripts/18853/8e9d4e59-b664-4601-b1c9-dc83e83b7c6e_17574_-_michael_grieves_(2).pdf?doi=10.12688/)
29. Michael Grieves, « Modèle numérique, ombre numérique, jumeau numérique », Rapport technique, Digital Twin Institute, 24 p., avril 2023.
https://www.researchgate.net/publication/369830792_Digital_Model_Digital_Shadow_Digital_Twin
30. Michael Grieves et John Vickers, « Jumeau numérique : atténuer les comportements émergents imprévisibles et indésirables dans les systèmes complexes », Perspectives transdisciplinaires sur les systèmes complexes, J. Kahlen, S. Flumerfelt, et A. Alves, Eds. Cham, Suisse : Springer International, p.85-113, 2017. {DOI : 10.1007/978-3-319-38756-7_4} https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-38756-7_4
31. Fadwa El Guindi, « Réflexions sur l'éducation du futur : idées pour un modèle », Cadmus, vol. 4, n° 2P3, p. 273-281, juil. 2020.
<https://cadmusjournal.org/article/volume-4/issue-2/reflections-future-education-ideas-model> ; <https://www.cadmusjournal.org/files/pdfreprints/vol4issue2/Reflections-on-Future-Education-FElGuindi-Cadmus-V4-I2-P3-Reprint.pdf>
32. Yuval Noah Harari, Sapiens : une brève histoire de l'humanité. Oxford, Royaume-Uni : Signal, 10 mai 2016, 512 pages. {ISBN-13 : 978-0771038518, pbk} <https://www.amazon.ca/Sapiens-Humankind-Yuval-Noah-Harari/dp/0099590085> ; <https://www.penguinrandomhouse.ca/books/237149/sapiens-by-yuval-noah-harari/9780771038518>
33. Yuval Noah Harari, Homo Deus : une brève histoire de demain. Oxford, Royaume-Uni : Signal, 31 octobre 2017, 528 pages. {ISBN-13 : 978-0771038709, pbk} <https://www.penguinrandomhouse.ca/books/541782/homo-deus-by-yuval-noah-harari/9780771038709>
34. Yuval Noah Harari, 21 leçons pour le 21e siècle. Oxford, Royaume-Uni : Signal, 31 mars 2020, 416 pages. {ISBN-13 : 978-0771048883, pbk} <https://www.penguinrandomhouse.com/books/579741/21-lessons-for-the-21st-century-by-yuval-noah-harari/>
35. Simon Haykin, José C. Principe, Terrence J. Sejnowski et John McWhirter (éd.), New Directions in Statistical Signal Processing. Cambridge, MA : MIT Press, 2007, 514 pages.
36. Simon Haykin et Bart Kosko (éd.), Traitement intelligent du signal. Piscataway, NJ : IEEE Press, 2001, 573 pages.

37. Melissa Heikkilä, « Notre guide rapide des 6 façons dont nous pouvons réglementer l'IA », MIT Technology Review, 22 mai 2023.
https://www.technologyreview.com/2023/05/22/1073482/our-quick-guide-to-the-6-ways-we-can-regulate-ai/?truid=d6884d6d0690d356db5a8f77f3f20402&utm_source=the_download&utm_medium=email&utm_campaign=the_download.unpaid.engagement&utm_term=Active%20Qualified&utm_content=05-23-2023&mc_cid=e6162a68f3&mc_eid=9bc2b4df6a
38. Shelby Hiter, « Generative AI Startups in 2023 », eWeek, 4 avril 2023.
<https://www.eweek.com/artificial-intelligence/generative-ai-startups/>
39. Shelby Hiter, « Entreprises d'IA générative : Top 12 des leaders », eWeek, 17 avril 2023. <https://www.eweek.com/artificial-intelligence/generative-ai-companies/>
40. Shelby Hiter, « Top 9 des applications et outils d'IA générative », eWeek, 2 mai 2023.
<https://www.eweek.com/artificial-intelligence/generative-ai-apps-tools/>
41. Shelby Hiter, « Paysage de l'IA générative : tendances actuelles et futures », eWeek, 11 mai 2023. <https://www.eweek.com/artificial-intelligence/generative-ai-landscape/>
42. Christina Hinton, Kurt W. Fischer et Catherine Glennon, L'esprit, le cerveau, l'éducation : la série Les étudiants au centre. Rapport, Boston, MA : Jobs for the Future, 2012, 34 pages. Disponible le 15 août 2018 chez [http://www.studentsatthecenter.org/sites/scl.dl-dev.com/files/Mind Brain Education.pdf](http://www.studentsatthecenter.org/sites/scl.dl-dev.com/files/Mind_Brain_Education.pdf)
43. Eric Hawkinson, « Automation in Education with Digital Twins : Trends and Issues », International J. Open and Distance Education, vol. 8, n° 2, 9 p., décembre 2022. {DOI : 10.58887/ijodel.v8i2.229} <https://ijodel.com/index.php/ijodel/article/view/229> ; https://www.researchgate.net/publication/370233109_Automation_in_Education_with_Digital_Twins_Trends_and_Issues
44. Tetsunari Inamura, « Jumeau numérique de l'expérience pour la collaboration homme-robot grâce à la réalité virtuelle », International Journal of Automation Technology, vol. 17, n° 3, p. 284-291, mai 2023. {DOI : 10.20965/ijat.2023.p0284} https://www.researchgate.net/publication/358656713_Digital_twins_for_well-being_an_overview ; <https://www.researchgate.net/publication/358656713>
45. Yuchen Jiang, Xiang Li, Hao Luo, Shen Yin et Okyay Kaynak, « Quo vadis artificial intelligence ? », Discover Artificial Intelligence, vol. 2, ar. 4, 7 mars 2022, 157 références. Libre accès. {DOI : 10.1007/s44163-022-00022-8} <https://doi.org/10.1007/s44163-022-00022-8> ; https://www.researchgate.net/publication/359078823_Quo_vadis_artificial_intelligence#fullTextFileContent
46. Holger Kantz et Thomas Schreiber, Analyse de séries chronologiques non linéaires. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge Univ. Press, 2004 (2e éd.), 369 pages.
47. Fred S. Keller, « Goodbye teacher... », Journal of Applied Behavior Analysis, vol 1, pp. 79-89, printemps 1968. Disponible le 15 août 2018 auprès du NIH chez <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1310979/pdf/jaba00083-0078.pdf>
48. Witold Kinsner, « Une approche unifiée des dimensions fractales » dans Proc. IEEE 2005 Intern. Conf. Cognitive Informatics, ICCI05 (Irvine, CA ; 8-10 août 2005), ISBN : 0-7803-9136-5, pp. 58-72, 2005.
49. Witold Kinsner, « Défis dans la conception de systèmes adaptatifs, intelligents et cognitifs », stagiaire. J. Software Science & Computational Intelligence, vol. 1, n° 3, pp. 16-35, juillet-septembre 2009.

50. Witold Kinsner, « Humanitarian engineering education : Examples », dans Proc. 5th Conference of the Canadian Engineering Education Association, CEEA 2014 (Canmore, AB ; 8-11 juin 2014). Fascicule 121, 2014, 6 pages.
51. Witold Kinsner, Vers une éducation symbiotique évolutive basée sur les jumeaux numériques », *Mondo Digitale*, vol. 80, février 2019, 14 pages.
http://mondodigitale.aicanet.net/2019-1/articoli/11_MD80_Towards_Evolving_Symbiotic_Education_Based_on_Digital_Twins%20.pdf ; <http://mondodigitale.aicanet.net/ultimo/index.xml>
52. Witold Kinsner, « Une mesure robuste de la complexité de la variance pour les processus stochastiques auto-affines », dans Proc. 2019 IEEE 18th International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing (ICCI*CC), (Milan, Italie ; 23-25 juillet 2019), pp. 75-82, juillet 2019, 8 pages. DOI : 10.1109/ICCICC46617.2019.9146065
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9146065>
53. Witold Kinsner, *Fractale and Chaos Engineering : Analyses mono-échelle, multi-échelle et poly-échelle*. Winnipeg (Manitoba) : OCO Research, février 2020, 1106 pages. {ISBN : 978-0-9939347-2-8, eBook }
54. Witold Kinsner et Joseph J. Pear, « Système d'enseignement personnalisé assisté par ordinateur pour la classe virtuelle », *Can. J. Educational Communication*, vol. 17, no 1, p. 21-36, 1988.
55. Witold Kinsner, Simon Haykin, Yingxu Wang, Witold Pedrycz, Ivo Bukovsky, Bernard Widrow, Andrzej Skowron, Piotr Wasilewski et Menahem Friedman, « Challenges in engineering education of cognitive dynamic systems », dans Proc. of the Canadian Engineering Education Association Conference, CEEA 2012, (Winnipeg, MB, Canada ; 17-20 juin 2012), fascicule 119, pages. 51-62, 2012. Consulté en mars 2015 sur le site de l'ACEE à
<http://library.queensu.ca/ojs/index.php/PCEEA/article/viewFile/4633/4615> ;
<http://www.ceea.ca/images/content/ceea12-proc-complete-v35s.pdf>
56. Anna Lenhart, Propositions législatives fédérales relatives à l'IA générative. Université George Washington : Institute for Data, Democracy and Politics (IDDP), 12 avril 2023, mis à jour le 10 mai 2023), 32 pages.
https://docs.google.com/document/d/1pzBEG3tV_T6p-FvC50FAnMMH_Yx9QTzfgx7ngc3kzv8/edit#
57. Yujia Lin, Liming Chen, Aftab Ali, Christopher Nugen, Cleland Ian, Rongyang Li, Dazhi Gao, Hang Wang, Yajie Wang et Huansheng Ning, « Human Digital Twin : A Survey », *International Journal of Automation Technology* vol. 17, n° 3, p. 284-291, 129 réf., décembre 2022. {DOI : 10.21203/rs.3.rs-2369073/v1}
https://www.researchgate.net/publication/366348018_Human_Digital_Twin_A_Survey
58. Tingyu Liu, Chenyi Weng, Qunyan Jiang, Lei Jiao et Zhonghua Ni, « Modélisation des jumeaux numériques humains basés sur la fusion physique et mentale », *Human-Intelligent Systems Integration*, vol. 4, pp. 23-33, avril 2023. {DOI : 10.13140/RG.2.2.23742.77121}
https://www.researchgate.net/publication/370230449_Modelling_Human_Digital_Twins_Based_on_Physical_and_Mental_Fusion
59. Pavel Luksha, Witold Kinsner, Joshua Cubista, Jessica Spencer-Keyse, « La transformation en un nouveau paradigme éducatif et le rôle du leadership

- écosystémique », *Cadmus*, vol. 4, n° 2P2, p. 182-198, mai-juin 2020.
<https://cadmusjournal.org/article/volume-4/issue-2-part-2/transformation-new-education-paradigm-and-role-ecosystemic-leadership> ;
<https://www.cadmusjournal.org/files/pdfreprints/vol4issue2/Transformation-into-a-New-Education-Paradigm-PLuksha-WKinsner-Cadmus-V4-I2-P2-Reprint.pdf>
60. Zhihan Lv, « Les jumeaux numériques dans l'industrie 5.0 », *Research*, vol. 5, n° 3, 9 p., janvier 2023. {DOI : 10.34133/research.0071}
https://www.researchgate.net/publication/367301271_Digital_Twins_in_Industry_50
61. Michael Miller et Emily Spatz, « Une vue unifiée d'un jumeau numérique humain », *Human-Intelligent Systems Integration*, vol. 4, pp. 23-33, juin 2022. {DOI : 10.1007/s42454-022-00041-x}
62. [MITT23] MIT Technology Review Insights, « L'état de la technologie responsable : l'utilisation responsable de la technologie est de plus en plus une considération commerciale concrète, motivée par un ensemble diversifié de priorités et d'objectifs », *MIT Technology Review*, 11 janvier 2023, 21 pages.
<https://www.technologyreview.com/2023/01/11/1066303/the-state-of-responsible-technology/> ; https://wp.technologyreview.com/wp-content/uploads/2023/01/MITTR-Thoughtworks_v5-2-1.pdf?_ga=2.168043746.21418309.1677989273-41557569.1676152931
63. Académies nationales des sciences, de l'ingénierie et de la médecine, comment les gens apprennent. Washington, DC : The National Academies Press, 2000, 384 pages. {ISBN : 978-0-309-07036-2, pbk ; DOI : <https://doi.org/10.17226/9853>}
<https://nap.nationalacademies.org/catalog/9853/how-people-learn-brain-mind-experience-and-school-expanded-edition> ;
<https://nap.nationalacademies.org/download/9853>
64. Académies nationales des sciences, de l'ingénierie et de la médecine, transformant les institutions de recherche et d'enseignement supérieur au cours des 75 prochaines années. Washington, DC : The National Academies Press, 2022, 54 pages. {ISBN : 978-0-309-69961-7, pbk ; DOI : <https://doi.org/10.17226/26863>}
<https://nap.nationalacademies.org/catalog/26863/transforming-research-and-higher-education-institutions-in-the-next-75-years> ;
<https://nap.nationalacademies.org/download/26863>
65. Académies nationales des sciences, de l'ingénierie et de la médecine, Fondements de la science des données pour les élèves de la maternelle à la 12e année. Washington, DC : The National Academies Press, 2023, 152 pages. {ISBN : 978-0-309-69815-3 ; DOI : <https://doi.org/10.17226/26852>}
<https://nap.nationalacademies.org/catalog/26852/foundations-of-data-science-for-students-in-grades-k-12> ; <https://nap.nationalacademies.org/download/26852>
66. Académies nationales des sciences, de l'ingénierie et de la médecine, Problèmes de cybersécurité et stratégies de protection pour les PDG des agences de transport de l'État. Washington, DC : The National Academies Press, 2023, 109 pages. {ISBN 978-0-309-70272-0 | DOI 10.17226/27024} <https://doi.org/10.17226/27024> ;
<https://nap.nationalacademies.org/download/27024>
67. Paul Pallaghy, « D'autres percées dans les LLM / GPT / AGI 'juste' se sont produites », *Medium*, 9 mai 2023. <https://medium.com/@paul.k.pallaghy/more-breakthroughs-in-llms-gpt-agi-just-occurred-95568de110db>

68. Witold Pedrycz, L'informatique granulaire : un paradigme émergent. New York, NY : Physica-Verlag HD, 2010 (2e éd.), 403 pages. {ISBN : 978-3790824872}
69. Bernhard Reinsberg, Daniel O. Shaw et Louis Bujnoch, « Revisiter le lien sécurité-développement : la sécurité humaine et les effets des programmes d'ajustement du FMI », Conflict Management and Peace Science, 6 juillet 2022 (OpenAccess) <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/07388942221111064> ; <https://doi.org/10.1177/07388942221111064>
70. Bernhard Reinsberg, Daniel O. Shaw et Louis Bujnoch, « Replication Data for : Revisiting the security-development nexus : Human security and the effects of IMF adjustment programs », Harvard Dataverse, V1, UNF :6 :RhK/gfAq6kB2eqsejrLuWg== [fileUNF] {<https://doi.org/10.7910/DVN/GU8V2R>} <https://dataverse.harvard.edu/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.7910/DVN/GU8V2R>
71. Alessandro Ricci, Angelo Croatti, Stefano Mariani, Sara Montagna et Marco Picone, « Digital Model, Digital Shadow, Digital Twin », ACM Transactions on Internet Technology, vol. 22, n° 4, p. 1-30, novembre 2022. {DOI : 10.1145/3507909} https://www.researchgate.net/publication/365428491_Web_of_Digital_Twins
72. Stuart Russell, Compatible avec l'homme : l'intelligence artificielle et le problème du contrôle. Penguin Books, 2020, 352 pages. {ISBN-13 : 978-0525558637, pbk} <https://people.eecs.berkeley.edu/~russell/hc.html>
73. Bruno Salgues, « La société 5.0, sa logique et sa construction », Chapitre du livre, pp. 1 - 21, 2018. {ISBN DOI : 10.1002/9781119507314.ch1} <https://ieeexplore.ieee.org/document/8607863>
74. Lyman Tower Sargent, L'utopisme : une très courte introduction. Oxford, Royaume-Uni : Oxford University Press, 2010, 144 pages. {ISBN-13 : 978-019957340-0, pbk ; 978-019177761-5, ebk} <https://academic.oup.com/book/452> ; <https://doi.org/10.1093/actrade/9780199573400.001.0001> ; https://www.amazon.ca/Utopianism-Introduction-Lyman-Tower-Sargent/dp/0199573409/ref=sr_1_1?keywords=9780199573400&linkCode=qs&qid=1685034708&s=books&sr=1-1
75. Klaus Schwab, La quatrième révolution industrielle. Forum économique mondial, 2016. <https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab/> ; https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Fourth_Industrial_Revolution.pdf
76. Ravid Shwartz-Ziv et Naftali Tishby, « Ouvrir la boîte noire des réseaux de neurones profonds via l'information », arXiv, 2 mars 2017, 19 pages. <https://arxiv.org/abs/1703.00810> ; <https://arxiv.org/pdf/1703.00810.pdf>
77. David R. Ainsli, Chen Liang et Quoc V. Le, « Le transformateur évolué », arXiv, 20 janvier 2019, 14 pages. <https://arxiv.org/abs/1901.11117>
78. Irene Solaiman, Miles Brundage, Jack Clark, Amanda Askell, Ariel Herbert-Voss, Jeff Wu, Alec Radford, Gretchen Krueger, Jong Wook Kim, Sarah Kreps, Miles McCain, Alex Newhouse, Jason Blazakis, Kris McGuffie, Jasmine Wang, « Release strategies and the social impacts of language models », OpenAI Report, arXiv, 24 août 2019, 71 pages. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1908.09203> ; https://d4mucfpsywv.cloudfront.net/papers/GPT_2_Report.pdf
79. George Siemens et Stephen Downes, Connectivisme et connaissance connective. Cours en ligne, 2009. Récupéré de <http://lrc.umanitoba.ca/connectivism/>

80. George Siemens et Tittenberger, P. Manuel des technologies émergentes pour l'apprentissage. 2009. http://umanitoba.ca/learning_technologies/cetl/HETL.pdf
81. Julien Clinton Sprott, Chaos et analyse des séries chronologiques. Oxford, Royaume-Uni : Oxford Univ. Press, 2003, 507 pages.
82. John D. Sterman, « Une théorie intégrée de l'onde longue de l'économie », Futures, vol. 17, n° 2, pp. 104-131, avril 1985.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0016328785900023s>
83. Steven H. Strogatz, Dynamique non linéaire et chaos. Cambridge, MA : Westview/Perseus, 2000, 498 pages.
84. Max Tegmark, « La vie 3.0 : être humain à l'ère de l'intelligence artificielle », Knopf, 2017, 384 pages. {ISBN-13 : 978-1101946596, hbk} https://www.amazon.com/Life-3-0-Being-Artificial-Intelligence/dp/1101946598/ref=_vtp_h_vft_none__vtp_h_vft_none_sccl_3/133-5930063-8272136?_rd_w=xHpBq&content-id=amzn1.sym.a5610dee-0db9-4ad9-a7a9-14285a430f83&pf_rd_p=a5610dee-0db9-4ad9-a7a9-14285a430f83&pf_rd_r=PSWEFC8RBYCQ282RRNGM&rd_wg=hADQy&rd_r=34f5c035-2fe4-467c-9bd9-39f77888d9ff&rd_i=1101946598&psc=1
85. Naftali Tishby, Fernando C. Pereira et William Bialek, « La méthode du goulot d'étranglement de l'information », arXiv, 24 avril 2000, 16 pages.
<https://arxiv.org/abs/physics/0004057> ; <https://arxiv.org/pdf/physics/0004057.pdf>
86. Alvin Toffler, Choc du futur. New York, NY : Bantam Books, 1970 (réédition 1984), 576 pages. {ISBN-13 : 978-0553277371}
87. Arnold Toynbee, Conférences sur la révolution industrielle. 1884, 28 pages.
<https://www.sjsu.edu/people/cynthia.rostankowski/courses/HUM2AF13/s3/Reader-Lecture-27-Industrial-Revolution.pdf>
88. Jakob Trauer, Michael Mutschler, Markus Mörtl et Markus Zimmermann, « Challenges in Implementing Digital Twins – a Survey », dans Proc ASME 2022 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (St. Louis, Missouri ; 14–17 août 2022), 8 p., novembre 2022. {DOI : 10.1115/DETC2022-88786}
<https://asmedigitalcollection.asme.org/IDETC-CIE/proceedings-abstract/IDETC-CIE2022/86212/V002T02A055/1150306> ;
https://www.researchgate.net/publication/365340061_Challenges_in_Implementing_Digital_Twins_-_a_Survey
89. Nations Unies, « 17 objectifs de développement durable », ONU, Département des affaires économiques et sociales, 2015. <https://sdgs.un.org/goals>
90. Ashish Vaswani, Noam Shazeer, Niki Parmar, Jakob Uszkoreit, Llion Jones, Aidan N. Gomez, Lukasz Kaiser et Illia Polosukhin, « L'attention est tout ce dont vous avez besoin », arXiv, 12 juin 2017, 15 pages. <https://arxiv.org/abs/1706.03762>
91. George Veletsianos (éd.), Émergence et innovation dans l'apprentissage numérique : fondements et applications. Edmonton, AB : AU Press, 2016, 227 pages. {ISBN : 9781771991490, pbk ; 978-1-77199-150-6 (PDF) ; doi :10.15215/aupress/9781771991490.01} Disponible (gratuit) le 15 août 2018 à l'Université d'Athabasca
http://www.aupress.ca/books/120258/ebook/99Z_Veletsianos_2016-Emergence_and_Innovation_in_Digital_Learning.pdf

92. Plon Verhagen, *Le connectivisme : une nouvelle théorie de l'apprentissage ?* 2006. Extrait de <https://www.scribd.com/doc/88324962/Connectivism-a-New-Learning-Theory>
93. James Vincent, « Les réponses générées par l'IA sont temporairement interdites sur le site de questions-réponses de codage Stack Overflow », *The Verge*, 5 décembre 2022. <https://www.theverge.com/2022/12/5/23493932/chatgpt-ai-generated-answers-temporarily-banned-stack-overflow-llms-dangers>
94. Yingxu Wang, Du Zhang et Witold Kinsner (éd.), *Avancées en informatique cognitive et en informatique cognitive*. New York, NY : Springer, 2010, 316 pages. {ISBN : 978-3642160820}
95. Yingxu Wang, « Sur l'informatique cognitive », dans *Proc. 1st IEEE Intern. Conf. Cognitive Informatics (Calgary, AB ; 19-20 août 2002)*, pp. 34-42, 2002.
96. WEF, *Rapport sur l'avenir de l'emploi 2023*. Genève, Suisse : Forum économique mondial, Rapport. Mai 2023, 296 pages. {ISBN13 : 978-2-940631-96-4} <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2023/>
97. Natalie Wolchover, « Une nouvelle théorie ouvre la boîte noire des réseaux neuronaux profonds », *Wired*, 8 octobre 2017. <https://www.wired.com/story/new-theory-deep-learning/> ; YouTube : *Théorie de l'information sur l'apprentissage profond*. 3 août 2017, 57 :54 ; <https://www.youtube.com/watch?v=bLqJHjXihK8> Publié à l'origine dans *Quanta Magazine* <https://www.quantamagazine.org/new-theory-cracks-open-the-black-box-of-deep-learning-20170921/>
98. Gregory W. Wornell, *Traitement du signal avec des fractales : une approche basée sur les ondelettes*. Upper Saddle River, NJ : Prentice-Hall, 1996, 177 pages.
99. Adel Ben Youssef et Issam Mejri, « Relier les technologies numériques à la durabilité grâce à l'industrie 5.0 : une analyse bibliométrique », *Sustainability*, vol. 15, n° 9, ar. 7465, 23 p., mai 2023. {DOI : 10.3390/su15097465} https://www.researchgate.net/publication/370451241_Linking_Digital_Technologies_to_Sustainability_through_Industry_50_A_bibliometric_Analysis
100. Eliezer Yudkowsky, « Il ne suffit pas de mettre en pause les développements de l'IA. Nous devons tout arrêter », *Time*, 29 mars 2023. <https://time.com/6266923/ai-eliezer-yudkowsky-open-letter-not-enough/>
101. Ning Zhong, Jiming Liu et Yiyu Yao (éd.), *Web Intelligence*. New York, NY : Springer, 2010, 464 pages. {ISBN : 978-3642079368}
102. Shah, Aamir Mahmood, Sunder Ali Khowaja, Kapal Dev, Syed Ali Hassan, Nawab Muhammad Faseeh Qureshi, Mikael Gidlund et Paolo Bellavista, « Vers la définition de la vision de l'industrie 5.0 avec des architectures et des services de réseau sans fil intelligents et softwarisés : une enquête », *Draft*, 45 pp., 246 refs, novembre 2022. {DOI : 10.1145/3507909} https://www.researchgate.net/publication/365428491_Web_of_Digital_Twins
103. Alberto Zucconi et Garry Jacobs, « La révolution à venir dans l'éducation », *Cadmus*, vol. 2, n° 2, p. 5-6, mai 2014. <https://cadmusjournal.org/article/volume-2/issue-2-part-1/coming-revolution-education> ; <https://cadmusjournal.org/files/pdfreprints/vol2issue2/reprint-cj-v2-i2-seed-idea-coming-revolution-in-education.pdf>

À propos de l'auteur (s)



[Boursier Witold Kinsner](#)

, WAAS ; professeur, Université du Manitoba (UdeM) ; Directrice, Groupe des systèmes cognitifs