

L'Émergence dans les systèmes complexes : De la philosophie à l'intelligence artificielle et ses applications en gestion

Emergence in complex systems : From philosophy to artificial intelligence and its applications in management

Sofia BENNANI

Docteur (Ph.D)

Laboratoire d'Économie Dyonisien (LED), Université Paris 8
École Doctorale de Sciences Sociales, France.

Fatima Ezzahra MOUSTAID

Doctorante (Ph.D)

Faculté des Sciences Juridiques, Économiques et Sociales de Marrakech
Université Cadi Ayyad de Marrakech, Maroc.

Date de soumission : 17/09/2024

Date d'acceptation : 28/10/2024

Pour citer cet article :

BENNANI S. & MOUSTAID F. (2024) «L'Émergence dans les systèmes complexes : De la philosophie à l'intelligence artificielle et ses applications en gestion», Revue Internationale des Sciences de Gestion « Volume 7 : Numéro 4 » pp : 885 - 898

Résumé :

Le concept d'émergence, qui trouve ses origines en philosophie et en biologie, est devenu un cadre central dans plusieurs disciplines, notamment les sciences sociales, la gestion des organisations, et l'intelligence artificielle (IA). Ce travail explore l'évolution du concept d'émergence à travers diverses disciplines, en mettant l'accent sur son rôle dans les économies émergentes et dans l'intelligence artificielle. L'émergence décrit comment des comportements complexes et inattendus peuvent naître d'interactions simples dans des systèmes biologiques, sociaux ou artificiels. Les systèmes d'IA imitent ces processus d'adaptation et d'évolution, redéfinissant les dynamiques organisationnelles. L'étude démontre également l'importance d'une approche éthique et de la science ouverte pour que l'IA atteigne son plein potentiel tout en réduisant les inégalités d'accès aux outils technologiques.

Mots-clés : émergence, systèmes complexes, intelligence artificielle, gestion, science ouverte, systèmes adaptatifs, réseaux neuronaux, économies émergentes.

Abstract:

The concept of emergence, which has its roots in philosophy and biology, has become a central framework across several disciplines, notably in social sciences, organizational management, and artificial intelligence (AI). This paper explores the evolution of the concept of emergence across various fields, with a focus on its role in emerging economies and AI. Emergence describes how complex and unexpected behaviors can arise from simple interactions within biological, social, or artificial systems. AI systems mimic these processes of adaptation and evolution, redefining organizational dynamics. The study also highlights the importance of an ethical approach and open science to ensure that AI reaches its full potential while reducing inequalities in access to technological tools.

Keywords: emergence, complex systems, artificial intelligence, management, open science, adaptive systems, neural networks, emerging economies.

Introduction

L'émergence est un concept fascinant qui traverse de nombreuses disciplines, avec des racines profondément ancrées dans la philosophie, la biologie, et plus récemment dans les technologies avancées, comme l'intelligence artificielle (IA). Initialement introduit en philosophie au XIX^e siècle par des penseurs comme John Stuart Mill (1843) et George Henry Lewes (1875), ce concept a rapidement été adopté dans d'autres domaines, notamment la biologie, pour décrire des phénomènes complexes où de nouvelles propriétés apparaissent à partir d'interactions entre des éléments simples.

Mill (1843), dans *A System of Logic*, décrivait l'émergence comme l'apparition de nouvelles propriétés qui ne peuvent pas être réduites ou expliquées par les composantes individuelles d'un système. Lewes (1875), quant à lui, a mis l'accent sur le caractère imprévisible de ces nouvelles propriétés, soulignant qu'elles ne peuvent être déduites à partir des caractéristiques isolées des parties constitutives du système. Ces idées ont servi de base à l'étude des systèmes complexes, un champ interdisciplinaire qui cherche à comprendre comment des comportements complexes émergent d'interactions simples.

En biologie, l'émergence a joué un rôle crucial pour comprendre des processus tels que l'embryogenèse et l'évolution. Stephen Jay Gould (1977), dans son travail sur l'évolution, a démontré comment de petites variations dans des systèmes biologiques peuvent entraîner de grands changements au fil du temps, soulignant l'importance de l'émergence dans l'évolution des espèces. En parallèle, Prigogine (1977), prix Nobel de chimie, a montré comment des structures organisées peuvent spontanément émerger dans des systèmes loin de l'équilibre thermodynamique, introduisant ainsi le concept d'auto-organisation dans la physique et la biologie.

Dans le domaine des sciences sociales, l'émergence permet de comprendre des phénomènes collectifs qui ne peuvent pas être expliqués par les actions individuelles isolées. Granovetter (1973) a introduit l'idée que les liens faibles au sein des réseaux sociaux jouent un rôle crucial dans la propagation des comportements sociaux, soulignant ainsi l'importance des interactions microsociales dans l'émergence des phénomènes macrosociaux.

Aujourd'hui, l'émergence est également un concept clé dans le domaine de l'intelligence artificielle. Les systèmes d'IA, notamment les réseaux neuronaux, développent des comportements adaptatifs complexes à partir de simples interactions entre des neurones

artificiels. LeCun, Bengio et Hinton (2015) ont montré comment ces systèmes, à travers l'apprentissage automatique, imitent les processus biologiques d'adaptation et d'évolution, soulignant les parallèles entre l'émergence dans les systèmes naturels et artificiels.

Ce travail se propose d'explorer les racines philosophiques et scientifiques du concept d'émergence avant d'examiner ses applications contemporaines dans des domaines comme la gestion et l'intelligence artificielle. Nous nous concentrerons sur la manière dont les systèmes auto-organisés, qu'ils soient biologiques ou artificiels, influencent les dynamiques organisationnelles modernes.

1. Émergence : Origines philosophiques et scientifiques

Le concept d'émergence trouve ses racines dans la philosophie et a été développé par plusieurs penseurs à travers l'histoire. John Stuart Mill (1843), dans *A System of Logic*, décrivait l'émergence comme des propriétés d'un système qui ne peuvent être réduites aux caractéristiques individuelles de ses composants. Ce point de vue souligne la complexité systémique et met en évidence que l'ensemble dépasse la somme de ses parties. Mill a ainsi jeté les bases de la réflexion sur l'émergence, laquelle sera reprise et approfondie par de nombreux autres chercheurs.

Tableau 1 : Comparaison des caractéristiques de l'émergence dans différentes disciplines

Discipline	Caractéristique principale de l'émergence	Exemples concrets
Philosophie	Propriétés imprévisibles des systèmes	Émergence des idées dans la métaphysique
Biologie	Propriétés émergentes dans l'évolution et l'embryogenèse	Évolution des espèces (Gould, 1977)
Sciences sociales	Comportements collectifs à partir d'interactions simples	Réseaux sociaux et liens faibles (Granovetter, 1973)
Intelligence artificielle	Comportements adaptatifs dans des systèmes neuronaux	Apprentissage automatique (LeCun et al., 2015)

Source : Auteurs

Ce tableau compare les principales caractéristiques du concept d'émergence dans diverses disciplines, telles que la philosophie, la biologie, les sciences sociales, et l'intelligence

artificielle. Il met en évidence les points communs et les différences dans la manière dont l'émergence est interprétée et appliquée dans ces domaines.

George Henry Lewes (1875) a étendu ce concept en insistant sur l'imprévisibilité des phénomènes émergents. Selon lui, les nouvelles propriétés qui émergent d'un système ne peuvent pas être anticipées à partir des caractéristiques des éléments constitutifs de ce même système. Ce caractère imprévisible, tel que souligné par Lewes, a été fondamental pour comprendre des systèmes complexes où des interactions simples aboutissent à des résultats inattendus et non linéaires. D'autres penseurs, comme Samuel Alexander (1920), ont également examiné les aspects philosophiques de l'émergence, particulièrement dans le domaine de la métaphysique, où ils ont exploré comment l'émergence se manifeste à travers différents niveaux d'existence.

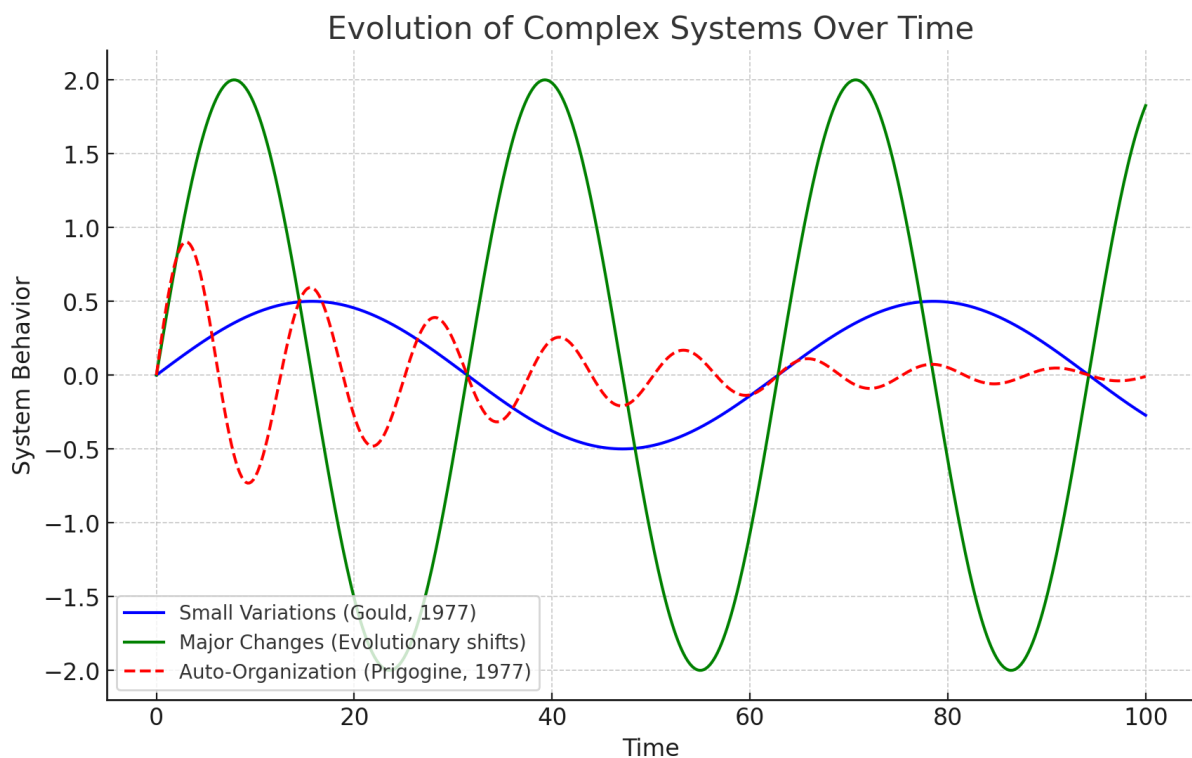
Dans le domaine de la biologie, le concept d'émergence a pris une importance particulière pour expliquer des processus évolutifs tels que l'embryogenèse. Stephen Jay Gould (1977) a montré comment des variations apparemment mineures peuvent conduire à des transformations majeures au sein des systèmes biologiques. Il a mis en lumière le fait que l'évolution n'est pas uniquement le produit de mutations génétiques linéaires, mais aussi de processus émergents à des niveaux plus complexes d'organisation biologique. Cette compréhension de l'émergence est partagée par d'autres biologistes comme Ernst Mayr (1982), qui ont insisté sur le rôle des interactions multiples dans l'évolution des espèces.

Le concept d'émergence s'étend également à la théorie des systèmes complexes, où des scientifiques comme Ilya Prigogine (1977) ont apporté des contributions significatives. Prigogine, prix Nobel de chimie, a montré que des structures organisées pouvaient émerger spontanément dans des systèmes éloignés de l'équilibre thermodynamique, un phénomène qu'il a qualifié de "structures dissipatives". Ses travaux ont révolutionné la compréhension de l'auto-organisation dans les systèmes physiques et biologiques. Ces idées ont été renforcées par les recherches de chercheurs comme Murray Gell-Mann (1994), qui a exploré comment des systèmes complexes adaptatifs peuvent évoluer et se restructurer de manière émergente.

Le graphique ci-dessus illustre l'évolution des systèmes complexes à travers le temps, en se basant sur des concepts théoriques discutés dans cet article. Les données utilisées sont créées de manière **illustrative** pour représenter les idées de **Gould (1977)** et **Prigogine (1977)** sur l'émergence des comportements complexes dans des systèmes biologiques et physiques.

- **Les petites variations** (courbe bleue) représentent de légers changements évolutifs au sein des systèmes biologiques. Ces variations mineures, bien que progressives, peuvent s'accumuler et provoquer des transformations profondes au fil du temps, comme l'a décrit **Gould (1977)** dans ses travaux sur l'évolution.
- **Les grandes transformations** (courbe verte) symbolisent les changements majeurs dans un système qui résultent de l'accumulation de ces petites variations. Ces transformations peuvent correspondre aux sauts évolutifs ou aux révolutions dans les systèmes complexes.
- **L'auto-organisation** (courbe rouge pointillée) représente le concept d'auto-organisation dans des systèmes éloignés de l'équilibre, comme démontré par **Prigogine (1977)**. Ce phénomène montre comment des structures organisées peuvent spontanément émerger à partir de simples interactions, même dans des conditions chaotiques ou déséquilibrées.

Figure 1 : Evolution des systèmes complexes à travers le temps



Source : Auteurs

Ce graphique a pour but de visualiser la manière dont l'émergence peut se manifester de façon imprévisible mais structurée, à la fois dans les systèmes biologiques et physiques. Il soutient l'idée que de petites interactions peuvent conduire à des résultats complexes et auto-organisés au sein de systèmes dynamiques.

L'émergence ne se limite pas à la biologie et aux systèmes physiques ; elle s'applique également aux sciences sociales et à la gestion des organisations. Granovetter (1973), par exemple, a introduit l'idée que des phénomènes sociaux tels que la formation de réseaux ne peuvent être compris uniquement par l'étude des individus, mais nécessitent l'analyse des interactions complexes entre eux. En gestion, Mintzberg et Waters (1985) ont exploré l'émergence des stratégies organisationnelles, affirmant que les stratégies d'entreprise ne sont souvent pas planifiées de manière linéaire, mais émergent de l'interaction entre différents acteurs au sein de l'organisation.

Enfin, le concept d'émergence a trouvé un écho dans le domaine de l'intelligence artificielle. Des chercheurs comme LeCun, Bengio et Hinton (2015) ont montré comment des systèmes d'IA, en particulier les réseaux neuronaux, peuvent imiter des processus biologiques d'apprentissage adaptatif, donnant naissance à des comportements complexes à partir de simples interactions entre neurones artificiels. Ces avancées dans le domaine de l'IA offrent une nouvelle perspective sur l'émergence en tant que processus essentiel dans l'évolution technologique et scientifique.

Ainsi, des racines philosophiques jusqu'aux applications modernes en biologie, sciences sociales, et technologies, le concept d'émergence s'est révélé être une clé de voûte pour comprendre la complexité des systèmes à travers de multiples disciplines.

2. L'émergence en management : Applications aux économies émergentes

Dans le cadre des économies émergentes, l'émergence permet d'appréhender les transformations **L'émergence en management : Applications aux économies émergentes**

Dans le contexte des économies émergentes, le concept d'émergence joue un rôle essentiel pour comprendre les transformations rapides provoquées par la mondialisation. Contrairement à une idée répandue, ces économies ne se développent pas uniquement grâce à des dynamiques internes, mais également par leur interaction constante avec l'économie mondiale. Amin (2008) décrit l'émergence comme un processus d'industrialisation accélérée et de compétitivité

croissante à l'échelle internationale, qui modifie non seulement des secteurs spécifiques mais l'ensemble du système productif. Ce phénomène est particulièrement visible dans des pays qui, en quelques décennies, sont passés du statut de pays en développement à celui d'acteurs majeurs dans l'économie mondiale, comme le montrent les travaux de Amsden (2001) sur l'industrialisation en Asie de l'Est.

L'émergence dans les économies émergentes peut être analysée à travers plusieurs dynamiques, dont la mondialisation (Perroux, 1950). François Perroux a été l'un des premiers à souligner que la mondialisation ne se manifeste pas de manière homogène, mais à travers des pôles de croissance, où certaines industries ou régions deviennent les moteurs du développement économique. Par exemple, des zones économiques spéciales, comme celles observées en Chine, ont permis à des régions spécifiques de devenir des hubs économiques d'importance internationale (Breslin, 2004). Ces pôles de croissance attirent les investissements, stimulent l'innovation et contribuent à l'intégration de l'économie locale dans les chaînes de valeur mondiales.

Cependant, l'émergence n'est pas sans défis. Si elle stimule la croissance économique, elle peut également entraîner des inégalités sociales et économiques. Amin (2008) a souligné que dans de nombreuses économies émergentes, les fruits de la croissance ne sont pas répartis équitablement. En effet, une minorité profite de la prospérité générée par l'émergence, tandis que la majorité continue de vivre dans la pauvreté. Ce phénomène d'inégalité a également été mis en avant par Stiglitz (2002), qui a montré comment la mondialisation, sans un cadre politique adéquat, peut exacerber les inégalités au sein des économies émergentes.

Les politiques publiques jouent un rôle central dans la gestion de ces dynamiques d'émergence. L'intervention de l'État, à travers des politiques de développement industriel et des programmes de redistribution, est cruciale pour garantir que la croissance profite à l'ensemble de la population. Des économistes comme Rodrik (2007) ont défendu l'idée que des politiques publiques bien conçues peuvent permettre aux économies émergentes de naviguer à travers les défis de la mondialisation tout en maximisant les avantages de l'intégration dans l'économie mondiale. Par ailleurs, Krugman (1991) a montré que les investissements dans les infrastructures et l'éducation peuvent renforcer la compétitivité des pôles de croissance et favoriser un développement plus inclusif.

Tableau 2 : Phases de l'industrialisation et de l'émergence dans les économies émergentes

Phase	Description	Exemples de pays
Industrialisation accélérée	Développement rapide des infrastructures industrielles	Corée du Sud, Chine
Intégration mondiale	Connexion des économies émergentes aux chaînes de valeur	Chine, Inde
Défis et inégalités	Répartition inégale des richesses créées	Brésil, Afrique du Sud

Source : Auteurs

Ce tableau présente les principales phases de l'émergence dans les économies émergentes, en soulignant les dynamiques locales et globales qui influencent leur développement. Il illustre comment les économies émergentes évoluent à travers des processus d'industrialisation, d'intégration mondiale et de gestion des inégalités sociales.

Ainsi, l'émergence, dans le cadre des économies émergentes, est un processus complexe qui combine des dynamiques locales et globales. Il est crucial de comprendre que l'émergence ne se limite pas à l'industrialisation rapide ou à la croissance économique, mais inclut également des aspects sociaux et politiques qui influencent la manière dont les bénéfices de cette émergence sont répartis au sein de la société.

3. Émergence et Intelligence Artificielle : Parallèles avec les systèmes adaptatifs

L'introduction de l'intelligence artificielle (IA) dans la réflexion sur l'émergence a ouvert de nouvelles perspectives sur la manière dont les systèmes évoluent et s'auto-organisent. Les systèmes d'IA, notamment les réseaux neuronaux et les algorithmes d'apprentissage automatique, présentent des dynamiques similaires à celles des systèmes biologiques et sociaux émergents. Dans ces systèmes, des comportements complexes émergent souvent à partir d'interactions simples entre des éléments, et ces processus peuvent parfois se produire de manière imprévisible (Hinton, 2006; Schmidhuber, 2015).

L'émergence en IA peut être comparée aux mécanismes biologiques, où l'adaptation et l'évolution des systèmes se font en réponse à l'environnement. Par exemple, les algorithmes d'apprentissage profond, inspirés du fonctionnement des neurones dans le cerveau humain, ajustent leurs paramètres en fonction des données reçues. Ce processus d'ajustement évoque les

théories de l'évolution biologique, telles que celles décrites par Kauffman (1993), qui met en avant l'auto-organisation dans les systèmes complexes biologiques. Tout comme les organismes vivants évoluent pour s'adapter à leur environnement, les systèmes d'IA modifient leurs structures internes pour optimiser leurs performances, soulignant ainsi un parallèle avec l'émergence de propriétés intelligentes à partir d'interactions simples (Goodfellow et al., 2016).

De plus, les systèmes d'IA comme ceux développés dans l'apprentissage automatique (machine learning) et les réseaux neuronaux évolutifs (neural evolutionary networks) continuent d'améliorer leur capacité à résoudre des problèmes complexes à grande échelle. Holland (1992) a été l'un des premiers à observer que les systèmes artificiels pouvaient reproduire des mécanismes adaptatifs similaires à ceux présents dans la nature, avec la capacité d'apprendre et d'évoluer à partir de l'expérience.

L'impact de l'IA sur la recherche scientifique est également révolutionnaire. Les chercheurs peuvent aujourd'hui traiter d'immenses quantités de données bien au-delà des capacités cognitives humaines, ce qui a permis des avancées majeures dans des domaines allant de la biologie computationnelle à la physique des particules (Mitchell, 2009). Cependant, cette avancée soulève également des questions éthiques. Comme l'ont observé Floridi et Cows (2019), la puissance accrue de l'IA crée des disparités entre les chercheurs qui ont accès aux outils et aux données nécessaires pour exploiter ces technologies et ceux qui n'y ont pas accès. Cela met en lumière la nécessité de promouvoir les principes de la science ouverte, un mouvement qui prône la transparence, la collaboration, et le partage des données (Borgman, 2015).

En parallèle, l'émergence de l'IA comme une force dominante dans la recherche scientifique et technologique appelle à une réflexion éthique plus approfondie. Bostrom (2014) met en garde contre les dangers d'une utilisation non régulée de l'IA, qui pourrait exacerber les inégalités sociales si des règles claires ne sont pas établies pour encadrer son développement. Cela soulève la question de la responsabilité dans l'usage de ces outils et du rôle des gouvernements et des institutions pour garantir une utilisation équitable et éthique de l'IA.

Tableau 3 : Applications de l'intelligence artificielle et émergence dans divers secteurs

Secteur	Application de l'IA	Exemple d'émergence
Santé	IA dans le diagnostic médical	Apprentissage automatique dans la détection de maladies (Goodfellow et al., 2016)
Finance	Modèles prédictifs basés sur des algorithmes neuronaux	Évolution des marchés financiers (Hinton, 2006)
Éducation	Personnalisation des programmes d'apprentissage	Systèmes adaptatifs dans les plateformes d'apprentissage (Schmidhuber, 2015)

Source : Auteurs

Ce tableau fournit des exemples concrets d'applications de l'émergence dans l'intelligence artificielle, à travers différents secteurs économiques et sociaux. Il illustre comment les systèmes d'IA adaptatifs influencent des domaines tels que la santé, la finance et l'éducation, en générant des comportements complexes à partir de simples interactions.

Ainsi, tout comme dans les systèmes biologiques, l'émergence en IA repose sur des processus d'adaptation et d'évolution constants. Cependant, pour que l'IA atteigne son plein potentiel en tant qu'outil de transformation sociétale, il est essentiel de promouvoir des cadres de gouvernance et de science ouverte qui garantissent un accès équitable aux données et aux technologies, tout en limitant les risques éthiques liés à son utilisation.

Conclusion

Le concept d'émergence, initialement exploré dans les domaines de la philosophie et de la biologie, a progressivement pris une place centrale dans des disciplines telles que les sciences sociales, l'économie et la gestion des organisations. À travers ses multiples applications, l'émergence permet de comprendre comment des phénomènes complexes naissent de simples interactions entre des éléments au sein de systèmes, et comment ces systèmes évoluent de manière imprévisible mais structurée. Les travaux pionniers de Mill (1843) et Lewes (1875) ont jeté les bases de cette réflexion, et des chercheurs comme Prigogine (1977) et Gould (1977) ont élargi la portée de l'émergence aux systèmes biologiques et physiques.

Aujourd'hui, l'intelligence artificielle redéfinit ces dynamiques en apportant une nouvelle dimension à l'émergence, notamment par sa capacité à imiter et accélérer les processus auto-organisés observés dans les systèmes biologiques et sociaux. Des chercheurs comme LeCun et al. (2015) et Schmidhuber (2015) ont montré comment les réseaux neuronaux et l'apprentissage

automatique permettent de générer des comportements complexes à partir d'interactions simples entre neurones artificiels, reproduisant ainsi les mécanismes d'émergence déjà observés dans la nature. Cette redéfinition des dynamiques organisationnelles et scientifiques contemporaines par l'IA souligne l'importance des nouvelles technologies dans la transformation de nos sociétés.

La combinaison de l'intelligence artificielle et des principes de la science ouverte offre aux chercheurs l'opportunité de repousser les frontières de la connaissance et d'encourager l'innovation. Borgman (2015) a mis en avant les avantages de la science ouverte pour faciliter la collaboration et le partage des données, tandis que des auteurs comme Floridi et Cowls (2019) insistent sur la nécessité d'intégrer une dimension éthique dans l'utilisation de ces technologies. En effet, ces outils puissants, s'ils sont mal utilisés, peuvent accroître les inégalités et concentrer le pouvoir technologique entre les mains de quelques acteurs, comme le souligne Bostrom (2014).

Pour que l'intelligence artificielle et la science ouverte atteignent leur plein potentiel, il est essentiel de promouvoir une utilisation éthique et responsable des technologies. Cela implique la mise en place de cadres de gouvernance transparents et inclusifs, qui garantissent un accès équitable aux technologies et aux connaissances. Comme l'ont suggéré Floridi et Taddeo (2016), un développement durable de l'IA doit reposer sur la protection des droits humains et l'égalité d'accès à l'information. Cela permettra de s'assurer que les bénéfices de ces avancées scientifiques et technologiques profitent à l'ensemble de la société, plutôt qu'à une minorité.

En somme, l'émergence, tant dans sa dimension philosophique que technologique, nous rappelle l'importance des interactions simples dans la formation des systèmes complexes. Pour tirer pleinement parti des capacités de l'IA et de la science ouverte, il est nécessaire de concilier innovation et responsabilité, afin de relever les défis sociétaux et organisationnels contemporains de manière équitable et éthique.

RÉFÉRENCES :

- Alexander, S. (1920). *Space, Time, and Deity: The Gifford Lectures at Glasgow, 1916-1918*. Macmillan and Co.
- Amin, A. (2008). *Globalization, institutions, and regional development in Europe*. Oxford University Press.
- Amsden, A. H. (2001). *The rise of "the rest": Challenges to the west from late-industrializing economies*. Oxford University Press.
- Borgman, C. L. (2015). *Big data, little data, no data: Scholarship in the networked world*. MIT Press.
- Bostrom, N. (2014). *Superintelligence: Paths, dangers, strategies*. Oxford University Press.
- Breslin, S. (2004). *China's integration into the global political economy*. Palgrave Macmillan.
- Floridi, L., & Cowls, J. (2019). A unified framework of five principles for AI in society. *Harvard Data Science Review*, 1(1).
- Gell-Mann, M. (1994). *The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex*. W. H. Freeman and Company.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.
- Gould, S. J. (1977). *Ontogeny and phylogeny*. Harvard University Press.
- Granovetter, M. (1973). The strength of weak ties. *American Journal of Sociology*, 78(6), 1360-1380.
- Hinton, G. (2006). Reducing the dimensionality of data with neural networks. *Science*, 313(5786), 504-507.
- Holland, J. H. (1992). *Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. MIT Press.
- Kauffman, S. A. (1993). *The origins of order: Self-organization and selection in evolution*. Oxford University Press.
- Krugman, P. (1991). *Geography and trade*. MIT Press.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444.
- Lewes, G. H. (1875). *Problems of life and mind*. Trübner & Co.
- Mayr, E. (1982). *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance*. Harvard University Press.
- Mill, J. S. (1843). *A system of logic, ratiocinative and inductive*. John W. Parker.

- Mintzberg, H., & Waters, J. A. (1985). Of strategies, deliberate and emergent. *Strategic Management Journal*, 6(3), 257-272.
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: A guided tour*. Oxford University Press.
- Perroux, F. (1950). Economic space: Theory and applications. *The Quarterly Journal of Economics*, 64(1), 89-104.
- Prigogine, I. (1977). Time, structure, and fluctuations. *Science*, 201(4358), 777-785.
- Rodrik, D. (2007). *One economics, many recipes: Globalization, institutions, and economic growth*. Princeton University Press.
- Schmidhuber, J. (2015). Deep learning in neural networks: An overview. *Neural Networks*, 61, 85-117.
- Stiglitz, J. E. (2002). *Globalization and its discontents*. W. W. Norton & Company.