

**Synergie de la pédagogie numérique et de l'intelligence artificielle
dans la formation des ingénieurs : étude exploratoire auprès d'anciens étudiants
de l'ENSTI-Annaba**

**Synergy of Digital Pedagogy and Artificial Intelligence in Engineering Education:
An Exploratory Study of Former Students of ENSTI Annaba**

Sofiane ZOUITENE

National Higher School of Technology and Engineering of Annaba, Laboratoire Pedden, El-Tarf (Algérie), s.zouitene@ensti-annaba.dz

Soumission: 13/03/2026

Acceptation: 02/05/2026

Publication: 31/05/2026

Résumé

Cette étude exploratoire examine l'impact de la synergie entre la pédagogie numérique et l'intelligence artificielle sur le développement des compétences professionnelles et entrepreneuriales chez les étudiants ingénieurs algériens. La recherche a été menée auprès de cinq anciens étudiants de l'École nationale supérieure de technologie et d'ingénierie d'Annaba (ENSTI), ayant poursuivi des projets de start-up technologiques après leur formation. La méthodologie adoptée repose sur une approche mixte combinant un questionnaire administré en ligne et des entretiens semi-directifs réalisés à distance. Les résultats révèlent que l'intégration progressive des outils numériques et des technologies d'intelligence artificielle dans la formation universitaire favorise l'autonomie cognitive, le développement de compétences techniques et la capacité de gestion de projets innovants. Elle contribue également à renforcer l'esprit d'initiative et la créativité entrepreneuriale. Malgré certaines limites liées aux infrastructures technologiques et à la formation pédagogique, cette synergie apparaît comme un levier stratégique pour la modernisation de la formation des ingénieurs en Algérie.

Mots-clés : pédagogie numérique ; intelligence artificielle ; formation des ingénieurs ; entrepreneuriat technologique ; innovation.

Abstract

This exploratory study examines the impact of the synergy between digital pedagogy and artificial intelligence on the development of professional and entrepreneurial skills among Algerian engineering students. The research was conducted with five former students from the National Higher School of Technology and Engineering of Annaba (ENSTI), who later engaged in technological start-up projects after graduation. The methodological approach combines quantitative and qualitative tools, including an online questionnaire and semi-structured interviews conducted remotely. The findings reveal that the progressive integration of digital tools and artificial intelligence technologies in higher education fosters cognitive autonomy, enhances technical skills, and supports the management of innovative projects. Moreover, it strengthens entrepreneurial initiative and creative thinking among

engineering graduates. Despite certain limitations related to technological infrastructure and pedagogical training, the synergy between digital pedagogy and artificial intelligence appears to be a strategic lever for modernizing engineering education in Algeria.

Keywords: Digital Pedagogy; Artificial Intelligence; Engineering Education; Technological Entrepreneurship; Innovation.

1. INTRODUCTION

L'essor de la pédagogie numérique et l'émergence fulgurante de l'intelligence artificielle (IA) redessinent en profondeur les paradigmes de la formation universitaire et de l'ingénierie éducative. À l'échelle mondiale, les institutions de formation technique et technologique s'efforcent d'intégrer ces innovations afin de répondre aux exigences d'un marché du travail de plus en plus automatisé, interconnecté et fondé sur la donnée. Dans ce contexte, la pédagogie numérique ne se limite plus à la simple numérisation des supports didactiques, mais s'impose comme un dispositif cognitif complexe où interagissent outils, données et humains. L'IA, quant à elle, intervient désormais comme un agent cognitif complémentaire capable d'assister, d'évaluer et parfois de co-construire les apprentissages.

En Algérie, la dynamique de transformation pédagogique a connu, au cours de la dernière décennie, une accélération significative. Les réformes de l'enseignement supérieur visent à renforcer la dimension technologique et entrepreneuriale des formations, en particulier dans les écoles d'ingénieurs et les établissements à orientation scientifique. Cependant, la transition numérique se heurte encore à des défis structurels : disparités régionales, insuffisance d'infrastructures, formation inégale des enseignants et manque de coordination institutionnelle. Malgré ces contraintes, des expériences émergent dans plusieurs établissements, révélant des pratiques pédagogiques innovantes fondées sur l'intégration progressive de l'IA dans la formation des ingénieurs.

C'est dans cette conjoncture que s'inscrit la présente étude exploratoire, menée auprès d'anciens étudiants de l'École nationale supérieure de technologie et d'ingénierie (ENSTI) d'Annaba, établissement pionnier dans la mise en œuvre de dispositifs numériques d'apprentissage. Ces étudiants, formés durant l'année universitaire 2016/2017 dans un environnement où les outils numériques commençaient à se généraliser, exercent aujourd'hui dans des contextes technologiques diversifiés, allant de la conception logicielle à la création de start-up innovantes. Leur trajectoire permet d'examiner rétrospectivement l'impact de la pédagogie numérique et de l'intelligence artificielle sur la construction de leurs compétences professionnelles, techniques et managériales.

La problématique centrale de cette recherche s'articule autour de la question suivante :

Dans quelle mesure la synergie entre pédagogie numérique et intelligence artificielle favorise-t-elle, chez les étudiants ingénieurs algériens, le développement d'un esprit entrepreneurial et d'une culture de l'innovation ?

Cette interrogation prend racine dans une double perspective. D'une part, elle repose sur l'hypothèse que la pédagogie numérique, en rendant les apprentissages plus flexibles et collaboratifs, favoriserait l'appropriation rapide des savoirs techniques et

méthodologiques indispensables à la gestion de projets technologiques. D'autre part, elle suppose que l'intelligence artificielle, par ses capacités de traitement et d'analyse, renforce les habiletés cognitives supérieures (créativité, résolution de problèmes, autonomie décisionnelle) nécessaires à l'entrepreneuriat technologique.

L'objectif principal de cette étude est donc de comprendre comment la complémentarité entre pédagogie numérique et intelligence artificielle contribue au développement de compétences hybrides, c'est-à-dire, de compétences techniques, managériales et communicationnelles chez les ingénieurs formés à l'ENSTI. Plus spécifiquement, il s'agit d'analyser comment ces dispositifs pédagogiques participent à la formation d'une culture de l'innovation et de l'initiative entrepreneuriale, et dans quelle mesure ils peuvent être considérés comme des catalyseurs du développement de start-up technologiques en Algérie.

2. Cadre théorique

La transformation numérique de l'enseignement supérieur constitue aujourd'hui l'un des axes majeurs de modernisation des systèmes éducatifs à l'échelle mondiale. En effet, comme le soulignent Holmes, Bialik et Fadel (2019), l'intégration des technologies numériques et de l'intelligence artificielle contribue à redéfinir les modalités d'enseignement et d'apprentissage. Dans cette dynamique, l'intégration des technologies numériques dans les dispositifs de formation a profondément modifié les modes de transmission, de construction et de diffusion des savoirs. Dans ce contexte, la pédagogie numérique ne se limite pas à l'usage d'outils technologiques dans l'enseignement, mais renvoie à une reconfiguration globale des pratiques pédagogiques, des interactions éducatives et des environnements d'apprentissage (Barbot & Rivens Mompean, 2019).

Dans cette perspective, les environnements numériques d'apprentissage favorisent l'émergence de dispositifs pédagogiques plus flexibles, collaboratifs et interactifs. Ainsi, les plateformes numériques, les systèmes de gestion de l'apprentissage et les outils de collaboration en ligne permettent aux apprenants d'accéder aux savoirs de manière autonome, tout en participant à des dynamiques collectives de construction des connaissances. Cette évolution s'inscrit dans une conception socio-constructiviste de l'apprentissage selon laquelle les connaissances se construisent à travers l'interaction entre les individus, les ressources et les contextes d'apprentissage.

Par ailleurs, le développement des réseaux numériques a contribué à l'émergence de nouvelles théories de l'apprentissage adaptées aux sociétés de l'information. Le connectivisme, proposé par Siemens (2005), constitue l'une des approches théoriques majeures dans ce domaine. Selon cette perspective, « learning may reside in non-human appliances », ce qui souligne le rôle central des technologies dans la construction des connaissances. Ainsi, les connaissances ne sont plus uniquement

stockées dans l'esprit de l'apprenant, mais distribuées au sein de réseaux composés d'acteurs, de ressources numériques et de systèmes intelligents.

Dans le contexte des formations scientifiques et technologiques, la pédagogie numérique revêt une importance particulière. Les écoles d'ingénieurs et les institutions de formation technique sont confrontées à la nécessité d'adapter leurs programmes aux transformations rapides des technologies industrielles et des marchés du travail. L'intégration des dispositifs numériques permet ainsi de développer des compétences transversales telles que la collaboration à distance, la gestion de projets technologiques et la résolution de problèmes complexes.

Passons maintenant au deuxième volet de ce cadre théorique, relatif à l'intelligence artificielle comme outil pédagogique. L'émergence de l'IA constitue l'une des mutations technologiques les plus significatives du XXI^e siècle. Dans le domaine éducatif, elle ouvre de nouvelles perspectives pour la personnalisation des apprentissages, l'évaluation automatisée et l'accompagnement des apprenants. Selon Luckin et al. (2016), l'intelligence artificielle en éducation peut être définie comme « l'ensemble des systèmes capables de reproduire certaines fonctions cognitives humaines afin d'améliorer les processus d'enseignement et d'apprentissage ».

Les systèmes d'apprentissage adaptatif représentent l'une des applications les plus développées de l'IA dans l'éducation. Ces systèmes analysent les données d'apprentissage des étudiants afin d'adapter les contenus pédagogiques à leurs besoins, à leur rythme et à leurs difficultés spécifiques. Cette approche contribue à renforcer l'individualisation des parcours d'apprentissage et à améliorer l'efficacité pédagogique des dispositifs numériques.

Par ailleurs, l'intelligence artificielle peut jouer un rôle d'agent cognitif complémentaire dans les environnements d'apprentissage. Les assistants intelligents, les systèmes de tutorat automatisés et les outils d'analyse des données éducatives permettent aux enseignants de mieux comprendre les processus d'apprentissage des étudiants et d'adapter leurs stratégies pédagogiques en conséquence. Comme le rappellent Holmes, Bialik et Fadel (2019), « AI systems can support both teaching and learning processes », en facilitant l'analyse des données éducatives et l'adaptation des contenus pédagogiques.

Toutefois, l'intégration de l'intelligence artificielle dans les systèmes éducatifs soulève également plusieurs enjeux éthiques et pédagogiques, notamment en ce qui concerne la protection des données, la transparence des algorithmes et le maintien du rôle central de l'enseignant dans la construction des savoirs.

En ce qui concerne la formation des ingénieurs à l'ère de l'IA, la transformation numérique des sociétés contemporaines impose aux institutions de formation de repenser leurs modèles pédagogiques afin de répondre aux nouvelles exigences du

monde professionnel. Les ingénieurs du XXI^e siècle doivent désormais maîtriser non seulement des compétences techniques avancées, mais également des compétences transversales liées à l'innovation, à la créativité et à la gestion de projets technologiques.

Dans ce contexte, la pédagogie numérique et l'intelligence artificielle apparaissent comme des leviers essentiels pour la formation de ces compétences hybrides. Les environnements numériques d'apprentissage permettent aux étudiants de simuler des situations professionnelles complexes, de collaborer sur des projets interdisciplinaires et de mobiliser des outils technologiques avancés dans la résolution de problèmes.

Selon Dron et Anderson (2022), les technologies numériques favorisent l'émergence de nouvelles formes d'apprentissage fondées sur la collaboration distribuée et la co-construction des connaissances. Ces dispositifs pédagogiques contribuent ainsi au développement d'une culture de l'innovation et de l'expérimentation, particulièrement importante dans les formations d'ingénierie.

Dans le contexte algérien, les politiques de modernisation de l'enseignement supérieur visent à renforcer l'intégration des technologies numériques dans les formations scientifiques et technologiques. Toutefois, cette transition reste confrontée à plusieurs défis, notamment en matière d'infrastructures numériques, de formation des enseignants et de coordination institutionnelle (Bouali & Bencheneb, 2023), ce qui limite encore l'exploitation optimale de ces technologies dans les dispositifs de formation.

Par ailleurs, l'un des enjeux majeurs de la transformation numérique de l'enseignement supérieur réside dans sa capacité à favoriser l'émergence d'une culture entrepreneuriale chez les étudiants. Les environnements numériques d'apprentissage offrent des opportunités inédites pour développer des compétences liées à l'innovation technologique, à la gestion de projets et à la création de start-up.

Les dispositifs pédagogiques fondés sur la résolution de problèmes, l'apprentissage par projet et la simulation numérique permettent aux étudiants de se confronter à des situations proches de celles qu'ils rencontreront dans le monde professionnel. Ces expériences contribuent à renforcer leur capacité d'initiative, leur créativité et leur autonomie décisionnelle.

En effet, plusieurs études montrent que l'intégration des technologies numériques et de l'intelligence artificielle dans les formations d'ingénierie favorise le développement de compétences entrepreneuriales, notamment dans les domaines de l'innovation technologique et de la création de start-up (Mishra & Mehta, 2023). Dans cette perspective, l'université ne se limite plus à transmettre des connaissances, mais devient un véritable écosystème d'innovation capable de soutenir l'émergence de projets technologiques portés par les étudiants.

Ainsi, la synergie entre pédagogie numérique et intelligence artificielle apparaît comme un facteur déterminant dans la formation des ingénieurs capables de s'adapter aux transformations rapides des économies contemporaines et de contribuer au développement de nouvelles dynamiques entrepreneuriales.

3.Méthodologie

Notre recherche adopte une approche exploratoire visant à comprendre la manière dont la synergie entre la pédagogie numérique et l'intelligence artificielle contribue au développement des compétences techniques, managériales et communicationnelles chez les étudiants ingénieurs, ainsi qu'à l'émergence d'un esprit entrepreneurial favorable à la création de start-up technologiques. Dans cette optique, la méthodologie retenue s'inscrit dans une perspective mixte combinant des outils quantitatifs et qualitatifs, afin de concilier la comparabilité des données et la richesse interprétative des expériences vécues.

L'échantillon étudié est constitué de cinq jeunes hommes, tous anciens étudiants de l'École nationale supérieure de technologie et d'ingénierie d'Annaba (ENSTI), ayant effectué leur cycle préparatoire durant l'année universitaire 2016/2017. Ces participants, originaires de cinq régions différentes du pays (Jijel, Alger, Annaba, Béjaïa et Tiaret), présentent des profils homogènes du point de vue académique, mais variés sur le plan géographique et professionnel. Tous ont poursuivi leurs études dans des spécialités technologiques et ont, après l'obtention de leur diplôme, entrepris des projets de start-up à dimension technologique, dont un exerce actuellement en France. Ce choix d'échantillonnage repose sur un critère raisonné, fondé sur la pertinence des parcours individuels au regard de la problématique de la recherche. En effet, ces anciens étudiants incarnent une génération formée à une période charnière de transition numérique dans l'enseignement supérieur algérien, période où les outils technopédagogiques et les premières applications d'intelligence artificielle commençaient à être intégrés dans les pratiques pédagogiques. Leur expérience permet ainsi d'observer, a posteriori, les effets de cette hybridation pédagogique sur la construction de leurs compétences et sur leur insertion professionnelle dans le champ de l'entrepreneuriat technologique.

Afin d'obtenir des données à la fois précises et nuancées, deux instruments complémentaires ont été mobilisés : un questionnaire (Annexe 1) et un entretien semi-directif (Annexe 2). Le questionnaire, administré individuellement via Google Forms, visait à recueillir des informations de nature sociodémographique, mais aussi des indicateurs quantitatifs sur l'exposition des participants aux dispositifs numériques et à l'intelligence artificielle au cours de leur formation. Il comportait des questions fermées à échelle de Likert, permettant de mesurer la fréquence et la perception de l'usage du numérique et de l'IA dans l'apprentissage, ainsi que des questions ouvertes destinées à recueillir des exemples concrets et des auto-évaluations des compétences

perçues. Cet outil a servi à structurer le corpus de données initiales et à préparer le déroulement des entretiens.

Les entretiens semi-directifs, menés à distance via la plateforme Google Meet, ont permis de recueillir des récits détaillés sur les expériences pédagogiques vécues, la perception des dispositifs numériques et des outils d'intelligence artificielle, ainsi que le processus de création des start-up après la formation. La modalité en ligne s'est imposée pour des raisons logistiques, notamment la dispersion géographique des participants et la présence de l'un d'entre eux à l'étranger. Chaque entretien, d'une durée moyenne de 60 minutes, a été enregistré avec le consentement explicite du participant, puis intégralement retranscrit afin de garantir une analyse rigoureuse. Le caractère semi-directif du protocole a permis d'assurer une homogénéité dans les thèmes abordés: l'expérience numérique, la contribution de l'IA, les apprentissages transférés, les compétences développées et les obstacles rencontrés, tout en laissant la liberté aux interlocuteurs de nuancer et d'enrichir leur discours.

4. Analyse des résultats

Rappelons que l'échantillon se compose de cinq jeunes ingénieurs algériens, tous diplômés de l'ENSTI-Annaba (promotion préparatoire 2016/2017), originaires de Jijel, Alger, Annaba, Béjaïa et Tiaret. Après l'obtention de leurs diplômes, chacun a lancé ou rejoint un projet de start-up technologique ; l'un d'eux exerce actuellement en France dans le domaine de l'ingénierie logicielle.

4.1. Représentations de la pédagogie numérique et de l'IA pendant la formation

Selon les données du questionnaire, 100 % des participants estiment que la pédagogie numérique a eu un impact « significatif » ou « très significatif » sur leur manière d'apprendre. Tous évoquent une autonomie accrue et une meilleure accessibilité à l'information. L'un d'eux déclare dans l'entretien :

« À l'ENSTI, l'usage des plateformes numériques nous a permis de suivre les cours à distance, mais aussi d'apprendre à organiser nos connaissances. C'est là que j'ai commencé à m'intéresser aux outils d'IA pour la modélisation de projets. »

Cette déclaration illustre ce que Henri et Lundgren-Cayrol (2020) appellent « la mutation cognitive du rapport au savoir », où l'apprenant devient un acteur autonome de sa formation. Les résultats montrent ainsi que la pédagogie numérique a joué un rôle structurant dans le développement de l'autoformation et de l'apprentissage collaboratif.

80 % des répondants au questionnaire affirment avoir expérimenté l'usage de logiciels d'IA ou d'outils intelligents (tels que MATLAB, TensorFlow ou ChatGPT) durant ou après leur cursus. Cette proportion révèle une appropriation précoce des technologies émergentes, confirmant l'analyse de Baker et Smith (2019) selon laquelle

les environnements d'apprentissage assistés par IA favorisent la pensée computationnelle et la résolution de problèmes complexes.

4.2. Impact sur les compétences techniques et managériales

Les croisements des résultats montrent que tous les participants considèrent la combinaison entre pédagogie numérique et IA comme un levier de professionnalisation. L'un d'eux affirme :

« J'ai appris à gérer un projet numérique en utilisant des outils d'intelligence artificielle. Ce n'est pas seulement une question de technique, mais aussi de coordination et de communication. »

Ce témoignage corrobore les études de Siemens (2022) sur le connectivisme et les apprentissages distribués : les environnements numériques intelligents développent des compétences transversales, notamment la collaboration à distance, la gestion de projet agile et la résolution collective de problèmes.

Les réponses au questionnaire confirment cette tendance :

5/5 affirment avoir amélioré leurs compétences techniques grâce aux outils numériques.

4/5 estiment que les outils d'IA ont renforcé leur prise de décision et leur capacité d'innovation.

3/5 attribuent leur réussite entrepreneuriale à cette synergie entre IA et pédagogie numérique.

Ces résultats révèlent une intégration cognitive et pragmatique des savoirs, où les apprenants mobilisent les outils numériques non seulement pour apprendre, mais pour innover et entreprendre.

4.3. Développement de l'esprit entrepreneurial et de la créativité

Les entretiens mettent en évidence une corrélation forte entre l'usage des outils numériques/IA et la naissance de projets entrepreneuriaux.

Un répondant de Béjaïa explique :

« Le travail sur les plateformes numériques nous a donné l'idée de créer une solution locale basée sur l'IA pour l'analyse de données industrielles. C'est devenu notre projet de start-up. »

Un autre, originaire d'Alger, précise :

« Grâce aux cours de modélisation et aux outils d'apprentissage en ligne, j'ai pu développer une application pour la maintenance prédictive. Aujourd'hui, on a réussi à décrocher un partenariat avec une entreprise privée. »

Ces témoignages confirment les observations de Dron et Anderson (2022) selon lesquelles les technologies intelligentes favorisent la création de valeur et la pensée entrepreneuriale, en transformant les apprenants en acteurs de l'innovation.

Le questionnaire renforce cette conclusion : 80 % des répondants attribuent leur esprit d'initiative à l'expérience de projets collaboratifs numériques, tandis que 60 % estiment que l'IA leur a permis d'identifier de nouvelles opportunités de marché.

4.4. Difficultés rencontrées et limites perçues

Malgré les effets positifs, les entretiens révèlent certaines limites structurelles.

Un répondant de Tiaret souligne :

« À l'époque, nous n'avions pas un accès constant à Internet, et les enseignants n'étaient pas toujours formés à l'usage des outils d'IA. »

Ces observations rejoignent les constats de Bouali et Bencheneb (2023) sur le retard institutionnel dans l'intégration des technologies éducatives en Algérie. Elles montrent que la réussite de cette synergie dépend autant des compétences numériques des enseignants que de l'infrastructure technologique disponible.

La convergence des données quantitatives et qualitatives permet d'affirmer que la synergie entre pédagogie numérique et intelligence artificielle agit comme un facteur structurant du développement professionnel des ingénieurs algériens.

Elle favorise une autonomisation cognitive, une culture de la créativité, et un passage effectif de la formation à l'innovation entrepreneuriale.

Les résultats valident ainsi l'hypothèse initiale selon laquelle cette complémentarité optimise la construction de compétences hybrides, mêlant technicité, gestion et communication, nécessaires à la création de start-up technologiques.

5. Analyse de la synergie entre pédagogie numérique et intelligence artificielle

L'analyse des données recueillies met en évidence que la relation entre la pédagogie numérique et l'intelligence artificielle dépasse une simple coexistence pour relever d'une véritable synergie. La pédagogie numérique constitue le cadre structurant des situations d'apprentissage, tandis que l'intelligence artificielle vient enrichir ces environnements en y intégrant des capacités d'adaptation, d'analyse et d'aide à la décision.

Cette synergie se manifeste selon trois dimensions principales. Premièrement, les dispositifs numériques facilitent l'accès aux ressources et le travail collaboratif, alors que les outils d'intelligence artificielle soutiennent la résolution de problèmes complexes et l'analyse de données. Deuxièmement, leur articulation favorise le développement de compétences hybrides, combinant technicité, gestion et capacités cognitives avancées. Troisièmement, cette interaction contribue à l'émergence d'un

esprit entrepreneurial en permettant aux étudiants de transformer les apprentissages en projets innovants.

Ainsi, la synergie observée apparaît à la fois pédagogique, technologique et cognitive, dans la mesure où elle reconfigure les modes d'apprentissage et les trajectoires professionnelles.

En effet, les témoignages recueillis offrent des illustrations concrètes de cette synergie en situation. Par exemple, un participant décrit comment l'usage combiné des plateformes numériques et des outils d'intelligence artificielle lui a permis de concevoir une application de maintenance prédictive. Un autre évoque la manière dont le travail collaboratif en ligne a favorisé le développement d'une solution d'analyse de données, devenue par la suite un projet de start-up. De ce qui précède, ces exemples montrent que l'articulation entre pédagogie numérique et intelligence artificielle ne relève pas uniquement d'un cadre théorique, mais se traduit par des réalisations concrètes dans des contextes professionnels.

Par ailleurs, une lecture comparative des parcours met en évidence à la fois des convergences et des divergences. Si l'ensemble des participants souligne l'impact positif de la pédagogie numérique, le degré d'appropriation des outils d'intelligence artificielle varie selon les contextes professionnels et géographiques. À titre d'exemple, le participant exerçant à l'étranger mentionne une utilisation plus avancée de ces technologies. Toutefois, malgré ces différences, tous s'accordent à reconnaître que la combinaison entre dispositifs numériques et outils d'intelligence artificielle a joué un rôle déterminant dans leur développement professionnel et entrepreneurial.

Enfin, les résultats de cette étude confirment que l'intégration de la pédagogie numérique et de l'intelligence artificielle contribue à transformer les dynamiques d'apprentissage dans la formation des ingénieurs. Toutefois, ils montrent également que cette synergie demeure dépendante de facteurs contextuels, tels que les infrastructures technologiques, la formation des enseignants et le soutien institutionnel.

Ces éléments suggèrent que l'efficacité de cette intégration ne peut être considérée comme automatique, mais nécessite une réflexion pédagogique approfondie et une stratégie cohérente. À ce titre, cette étude s'inscrit dans les débats actuels sur le rôle des technologies dans l'enseignement supérieur, en soulignant la nécessité d'un équilibre entre innovation technologique et encadrement pédagogique.

6. CONCLUSION

L'étude exploratoire menée auprès d'anciens étudiants de l'École nationale supérieure de technologie et d'ingénierie d'Annaba (ENSTI) a permis de mettre en lumière la portée et les limites de la synergie entre la pédagogie numérique et l'intelligence artificielle dans la formation des ingénieurs en Algérie. À travers l'analyse croisée des données issues du questionnaire et des entretiens semi-directifs, il

ressort que cette combinaison technopédagogique constitue un levier décisif dans la construction des compétences techniques, cognitives et entrepreneuriales nécessaires à l'insertion professionnelle dans un contexte économique fondé sur l'innovation.

Les participants à l'étude ont unanimement souligné le rôle structurant des dispositifs numériques et de l'IA dans leur parcours formatif et professionnel. Leurs réponses révèlent que ces outils ne se limitent pas à une fonction d'assistance ou de diffusion des savoirs, mais participent activement à la transformation des modes d'apprentissage, favorisant l'autonomie, la créativité et la prise de décision éclairée. Cette dynamique rejoint les conclusions de plusieurs recherches récentes (Mishra & Mehta, 2023 ; Boulahbal, 2022), selon lesquelles l'intégration réfléchie des technologies intelligentes favorise une pédagogie de la responsabilisation et de l'autoformation.

Toutefois, cette recherche demeure exploratoire et invite à la prudence dans la généralisation des résultats. La taille réduite de l'échantillon, la spécificité du contexte institutionnel et la nature qualitative de l'approche constituent des limites à élargir dans des études futures. Il serait souhaitable d'entreprendre des recherches longitudinales et comparatives impliquant plusieurs écoles d'ingénieurs algériennes, afin d'évaluer l'impact durable de ces dispositifs sur les trajectoires professionnelles et la création de start-up.

En effet, cette étude contribue à la réflexion sur la modernisation de la formation des ingénieurs en Algérie, en mettant en évidence la nécessité d'un modèle intégratif articulant technologie, pédagogie et innovation. Elle souligne également le rôle stratégique que peuvent jouer les établissements d'enseignement supérieur dans la construction d'une économie fondée sur la connaissance et l'intelligence artificielle.

La réussite de cette transition dépendra non seulement de la qualité des infrastructures numériques, mais aussi, et surtout, de la capacité des enseignants, des institutions et des étudiants à concevoir ensemble un écosystème d'apprentissage intelligent, au service du développement durable et de la souveraineté technologique du pays.

Bien que cette étude apporte des éclairages sur le rôle de la pédagogie numérique et de l'intelligence artificielle dans la formation des ingénieurs, elle présente certaines limites. La taille réduite de l'échantillon et la nature exploratoire de la démarche limitent la portée des résultats. De plus, le recours à des données déclaratives peut introduire une part de subjectivité.

Des recherches futures pourraient s'appuyer sur des échantillons plus larges et adopter des approches comparatives entre différents établissements. Des études longitudinales permettraient également d'évaluer l'impact à long terme de ces transformations pédagogiques.

En définitive, ce travail met en évidence la nécessité de repenser la formation des ingénieurs en Algérie à travers une intégration structurée des technologies numériques et de l'intelligence artificielle, au service de l'innovation et du développement économique.

Références:

- Baker, T., & Smith, L. (2019). *Educ-AI-tion rebooted? Exploring the future of artificial intelligence in schools and colleges*. London: Nesta.
- Barbot, M.-J., & Rivens Mompean, A. (2019). *Pédagogie numérique : transformations des pratiques et des dispositifs d'apprentissage*. Paris : Éditions des archives contemporaines.
- Bouali, N., & Bencheneb, A. (2023). La transformation numérique de l'enseignement supérieur en Algérie : enjeux et perspectives. *Revue algérienne des sciences de l'éducation*, 15(2), 45-62.
- Boulahbal, M. (2022). L'innovation pédagogique dans l'enseignement supérieur algérien à l'ère du numérique. *Revue des sciences humaines*, 33(1), 115-130.
- Dron, J., & Anderson, T. (2022). *Teaching crowds: Learning and social media* (2nd ed.). Edmonton: AU Press.
- Henri, F., & Lundgren-Cayrol, K. (2020). *Apprentissage collaboratif à distance : Pour comprendre et concevoir les environnements d'apprentissage virtuels*. Québec : Presses de l'Université du Québec.
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. Boston: Center for Curriculum Redesign.
- Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. (2016). *Intelligence artificielle et apprentissage : le rôle de l'IA dans l'éducation*. Londres: Pearson.
- Mishra, P., & Mehta, R. (2023). Artificial intelligence and innovation in higher education. *Educational Technology Research and Development*, 71(2), 543-560.
- Siemens, G. (2005). Connectivism: A learning theory for the digital age. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*, 2(1), 3-10.
- Siemens, G. (2022). *Connectivism: Learning in the networked age*. New York: Routledge.
- Selwyn, N. (2016). *Education and technology: Key issues and debates*. London: Bloomsbury.
- Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(39).

Annexes

Annexe1: Questionnaire adressé aux anciens étudiants de l'ENSTI

Objectif : analyser l'impact perçu de la pédagogie numérique et de l'intelligence artificielle sur le développement des compétences professionnelles et entrepreneuriales.

1. Région d'origine

.....

2. Domaine de spécialisation

.....

3. Situation professionnelle actuelle

- ☐ Créateur de start-up
- ☐ Employé dans une entreprise technologique
- ☐ Ingénieur dans une entreprise publique
- ☐ Autre :

4. Pays d'exercice professionnel

- ☐ Algérie
- ☐ Étranger (précisez) :

5. Durant votre formation à l'ENSTI, dans quelle mesure les outils numériques étaient-ils utilisés dans les activités pédagogiques ?

- ☐ Très fréquemment
- ☐ Fréquemment
- ☐ Occasionnellement
- ☐ Rarement

6. Les plateformes numériques et les ressources en ligne ont-elles facilité votre apprentissage ?

- ☐ Tout à fait d'accord
- ☐ D'accord
- ☐ Peu d'accord
- ☐ Pas du tout d'accord

7. L'utilisation de ces outils a-t-elle favorisé votre autonomie dans l'apprentissage ?

- ☐ Oui fortement
- ☐ Oui partiellement
- ☐ Non

8. Les dispositifs numériques ont-ils encouragé le travail collaboratif entre étudiants ?

- ☐ Oui
- ☐ Partiellement
- ☐ Non

9. Avez-vous utilisé des outils d'intelligence artificielle durant votre formation ou dans vos projets ?

- ☐ Oui

☐ Non

Si oui, quels types d'outils avez-vous utilisés ?

☐ MATLAB

☐ TensorFlow

☐ ChatGPT

☐ Autres :

10. Les outils numériques ont-ils amélioré vos compétences techniques ?

☐ Oui

☐ Partiellement

☐ Non

11. Les technologies numériques ont-elles renforcé vos compétences en gestion de projet ?

☐ Oui

☐ Non

12. Pensez-vous que la pédagogie numérique a contribué au développement de votre créativité ?

☐ Oui

☐ Non

13. L'expérience des projets numériques pendant votre formation a-t-elle influencé votre décision de créer ou de rejoindre une start-up ?

☐ Oui

☐ Non

14. L'intelligence artificielle vous a-t-elle aidé à identifier des opportunités d'innovation technologique ?

☐ Oui

☐ Non

15. Dans quelle mesure la formation reçue à l'ENSTI vous a-t-elle préparé à l'entrepreneuriat technologique ?

☐ Très bien

☐ Moyennement

☐ Faiblement

16. Quelles difficultés avez-vous rencontrées durant votre formation concernant l'usage des technologies numériques ?

☐ Accès limité à Internet

☐ Manque d'infrastructures

☐ Manque de formation des enseignants

☐ Manque de ressources pédagogiques

17. Selon vous, que faudrait-il améliorer pour renforcer l'intégration de l'IA dans la formation des ingénieurs en Algérie ?

.....

Annexe 2. Guide d'entretien semi-directif

Objectif : approfondir l'expérience vécue par les participants concernant la pédagogie numérique, l'intelligence artificielle et leur trajectoire entrepreneuriale.

1. Pouvez-vous décrire votre expérience de formation à l'ENSTI durant les années préparatoires ?
2. Quelle place occupaient les outils numériques dans vos apprentissages ?
3. Comment les plateformes numériques ou les ressources en ligne ont-elles influencé votre manière d'apprendre ?
4. Pensez-vous que ces outils ont favorisé votre autonomie et votre capacité d'autoformation ?
5. À quel moment avez-vous commencé à utiliser des outils d'intelligence artificielle dans votre parcours ?
6. Quels types d'outils ou de logiciels utilisiez-vous ?
7. Comment ces outils ont-ils contribué à la résolution de problèmes techniques ou à la conception de projets ?
8. Selon vous, quelles compétences avez-vous développées grâce à l'usage des technologies numériques ?
9. Ces outils ont-ils influencé votre manière de gérer des projets ou de travailler en équipe ?
10. Comment est née l'idée de votre projet entrepreneurial ?
11. Les outils numériques ou l'intelligence artificielle ont-ils joué un rôle dans la création de votre start-up ?
12. Quelles compétences acquises durant votre formation vous ont le plus aidé dans votre parcours entrepreneurial ?
13. Quelles limites ou difficultés avez-vous rencontrées dans l'utilisation des technologies numériques durant votre formation ?
14. Selon vous, que faudrait-il améliorer dans la formation des ingénieurs en Algérie pour mieux intégrer l'intelligence artificielle et encourager l'innovation ?