



# Réinventer l'apprentissage du design : ateliers hybrides et immersifs au service de l'accessibilité numérique et de l'équité, diversité et inclusion

<https://doi.org/10.52358/mm.vi21.459>

Héla Oueslati, maître assistante  
Institut supérieur des arts et métiers de Kairouan, Tunisie  
[hela.oueslati@isamk.rnu.tn](mailto:hela.oueslati@isamk.rnu.tn)

---

## RÉSUMÉ

L'intégration des technologies immersives et hybrides dans l'enseignement du design redéfinit les paradigmes pédagogiques en introduisant des environnements interactifs favorisant une compréhension plus intuitive des concepts complexes. La réalité virtuelle (RV) et la réalité augmentée (RA) offrent de nouvelles modalités d'apprentissage, mais leur adoption soulève des défis d'accessibilité et d'inclusion, interrogeant les principes d'équité éducative. L'accessibilité numérique ne se limite pas à une question technique; elle exige une approche inclusive prenant en compte les diversités cognitives, sensorielles et culturelles des apprenants. L'étude explore l'impact de ces technologies sur l'apprentissage du design, en posant l'hypothèse qu'une intégration réfléchie, combinée à des stratégies pédagogiques inclusives, pourrait améliorer l'efficacité éducative et démocratiser l'accès à la formation. Une méthodologie mixte a été adoptée, associant une enquête quantitative menée auprès de 65 enseignants et 120 étudiants issus d'établissements européens et tunisiens de design, ainsi que des entretiens qualitatifs pour identifier les freins et les leviers d'adaptation. Les résultats mettent en évidence des disparités dans l'adoption de ces outils, soulignant la nécessité d'une vigilance méthodologique et éthique pour assurer une appropriation équitable des innovations technopédagogiques et garantir un apprentissage accessible, durable et inclusif.

**Mots-clés :** apprentissage du design, technologies immersives, équité, diversité, inclusion, EDI, environnements interactifs



## Introduction

L'essor des technologies immersives dans l'enseignement supérieur est souvent perçu comme un levier potentiel pour l'inclusion et l'accessibilité, en offrant des expériences d'apprentissage plus engageantes et adaptées à une diversité de profils d'apprenants (Bailenson, 2018). Cependant, une analyse critique des pratiques pédagogiques révèle que l'immersion ne garantit pas, en soi, une approche inclusive. L'adoption des environnements de réalité virtuelle (RV), de réalité augmentée (AR) et des plateformes hybrides soulève plusieurs défis en matière d'équité d'accès, de conception pédagogique et d'adaptabilité aux besoins variés des étudiants (Zheng, 2020). Ces technologies permettent effectivement d'adapter les modalités d'apprentissage en fonction des besoins individuels, notamment pour les apprenants en situation de handicap ou issus de milieux sous-représentés dans le domaine du design (Slater et Sanchez-Vives, 2016). Des études ont démontré que les technologies XR peuvent améliorer l'engagement cognitif et la compréhension spatiale, en particulier chez les étudiants souffrant de troubles d'apprentissage tels que la dyslexie ou les troubles de l'attention (Dede, 2009). L'intégration des technologies immersives et hybrides dans l'enseignement du design transforme en profondeur les paradigmes d'apprentissage, en introduisant des environnements interactifs qui favorisent une compréhension plus intuitive des concepts complexes (Sharma *et al.*, 2023). La RV, la RA et les dispositifs hybrides offrent de nouvelles modalités d'acquisition des compétences, mais leur adoption soulève des enjeux majeurs en matière d'accessibilité et d'inclusion, interrogeant ainsi les principes d'équité éducative. Loin d'être une simple question technique, l'accessibilité numérique implique une réflexion critique sur la conception de dispositifs pédagogiques ouverts et inclusifs tenant compte des diversités cognitives, sensorielles et culturelles des apprenants (Burgstahler, 2015). Dans ce contexte, il est crucial d'évaluer dans quelle mesure ces outils peuvent contribuer à un apprentissage plus équitable tout en évitant d'accentuer la fracture numérique. Nous posons l'hypothèse qu'une intégration réfléchie des technologies immersives, couplée à des stratégies d'enseignement inclusives et centrées sur l'apprenant, pourrait non seulement démocratiser l'accès à la formation en design, mais aussi améliorer l'efficacité pédagogique. Toutefois, cette transition nécessite une vigilance méthodologique et éthique afin d'assurer une appropriation équitable des outils numériques et de garantir que l'innovation technopédagogique sert un modèle d'apprentissage accessible, durable et inclusif.

## L'atelier du futur : entre hybridation, immersion et équité

### Les nouvelles frontières de l'atelier de design

L'atelier de design, fondé sur l'expérimentation matérielle et la transmission des savoirs dans une approche pédagogique et artisanale (Findeli, 1990), connaît une transformation majeure avec l'essor des technologies immersives telles que la réalité virtuelle (RV), augmentée (RA) et mixte (RM). Ces outils offrent des possibilités inédites en enrichissant le processus créatif par l'intégration de scénarios dynamiques et interactifs, tout en soulevant des interrogations sur la place du geste, du toucher et de l'expérience sensorielle dans l'apprentissage du design (Oxman, 2017). Cette transition numérique, si elle favorise une diversification des pratiques, pose également des défis liés à l'accessibilité technologique et au risque de creusement des inégalités entre établissements (Elmqaddem, 2019). Plutôt qu'une opposition entre matérialité et virtualité, une approche critique est nécessaire pour évaluer les apports et les limites de cette mutation, en veillant à préserver l'équilibre entre tradition pédagogique et innovation, afin d'assurer une formation cohérente et inclusive.



L'atelier de design, historiquement au cœur de la formation en architecture et en design, a évolué à travers des paradigmes pédagogiques contrastés, oscillant entre transmission pédagogique, apprentissage artisanal et approches socioconstructivistes (Findeli, 1990). Alors que les modèles traditionnels, du système pédagogique des Beaux-Arts au Bauhaus, structuraient l'apprentissage autour de la maîtrise des formes et des matériaux (Droste, 2002), l'essor des technologies numériques redéfinit aujourd'hui la nature même de l'atelier, mettant en tension méthodes classiques et dispositifs immersifs. La dématérialisation progressive des processus de conception, facilitée par des outils de modélisation avancés et des environnements immersifs, remet en question l'approche tactile et sensorielle qui caractérisait historiquement l'apprentissage du design. Cette évolution impose une réflexion approfondie sur la complémentarité entre l'expérience physique et virtuelle, tout en soulevant des problématiques liées à l'adaptabilité des programmes pédagogiques et aux nouvelles compétences exigées des concepteurs. Ainsi, l'atelier numérique ne se substitue pas à son prédécesseur, mais en propose une extension qui repousse les frontières du possible en matière de simulation et d'expérimentation interactive.

L'introduction de la réalité virtuelle (RV), augmentée (RA) et mixte (RM) bouleverse les processus de conception et d'apprentissage, favorisant une approche expérientielle où l'étudiant devient acteur de son propre savoir, en interaction avec des environnements simulés riches en données contextuelles et paramétrables (Oxman, 2001). Grâce à ces outils, il devient possible de tester des hypothèses conceptuelles en temps réel, d'expérimenter des matériaux simulés et de simuler des scénarios urbains ou environnementaux dynamiques, ouvrant ainsi la voie à une compréhension plus fine des implications de chaque décision de conception. Toutefois, cette transformation, bien qu'innovante, ne se fait pas sans critiques : si l'immersion numérique permet d'élargir le champ des possibles et d'accélérer les itérations du processus créatif, elle remet également en question la place du corps, du geste et de la perception sensorielle dans l'apprentissage du design. Loin de se substituer entièrement aux méthodes traditionnelles, ces nouveaux outils imposent une réflexion critique sur leur intégration optimale. Si la modélisation paramétrique et les simulations interactives permettent d'explorer des solutions de design avec une fluidité inédite, elles peuvent également réduire la dimension tactile et intuitive propre aux processus traditionnels (Findeli, 1990). En effet, la manipulation directe des matériaux, le ressenti des textures et la perception des échelles physiques restent des éléments fondamentaux du processus de conception qui risquent d'être marginalisés par une approche exclusivement numérique. Par ailleurs, la numérisation de l'atelier pose des questions sur l'accessibilité et la démocratisation de l'apprentissage. Les infrastructures technologiques avancées, bien que porteuses d'innovations significatives, restent coûteuses et inégalement réparties, exacerbant ainsi les disparités entre établissements et territoires (Elmqaddem, 2019). De plus, l'acquisition et la maîtrise de ces outils requièrent des compétences techniques spécifiques, soulevant ainsi la nécessité d'une adaptation des curriculums afin d'assurer une formation équitable et inclusive.

## Réalité virtuelle, augmentée et enseignement hybride en design

L'intégration de la réalité virtuelle (RV) et de la réalité augmentée (RA) dans l'enseignement du design transforme profondément les approches pédagogiques, en élargissant les modes d'apprentissage vers des expériences plus immersives, interactives et expérientielles. Ces technologies offrent aux étudiants la possibilité d'explorer des environnements tridimensionnels, de prototyper des concepts en temps réel et de tester des itérations rapides, autant d'éléments fondamentaux dans les disciplines du design. Elles s'inscrivent dans une dynamique plus large d'évolution des outils numériques en éducation, répondant à la nécessité d'une plus grande flexibilité pédagogique et à l'essor des modalités hybrides d'apprentissage, particulièrement accélérées par la pandémie de COVID-19. Leur capacité à simuler des espaces complexes et à personnaliser les parcours d'apprentissage en fonction des profils des étudiants en fait des outils stratégiques pour l'enseignement du design, en renforçant l'engagement cognitif et la compréhension des volumes, des matériaux et des interactions dans l'espace.



Sur le plan technologique, la RV permet une immersion complète dans des environnements de conception, où les étudiants peuvent manipuler des objets en trois dimensions, tester des scénarios interactifs et visualiser des prototypes à échelle réelle sans contraintes matérielles (Tene *et al.*, 2024). La RA, quant à elle, enrichit la perception du monde réel en y superposant des informations numériques, facilitant ainsi l'intégration des maquettes virtuelles dans le contexte physique de la conception (Elmqaddem, 2019). Toutefois, malgré leurs promesses, l'adoption généralisée de ces technologies dans l'enseignement du design rencontre plusieurs limites. D'un point de vue pédagogique, l'absence d'un cadre théorique structuré entrave leur intégration efficace dans les curriculums. Nombre d'applications immersives sont développées sans réelle prise en compte des théories de l'apprentissage en design, ce qui peut limiter leur pertinence et leur appropriation par les enseignants (Radianti *et al.*, 2020). De plus, un écart persistant subsiste entre les outils disponibles et les besoins réels des formations en design : si certains logiciels sont aujourd'hui largement utilisés, leur intégration dans l'enseignement demeure fragmentaire, notamment en raison du manque de formation des enseignants à ces nouveaux langages numériques (Fernandez, 2017). En parallèle, des barrières technologiques freinent leur démocratisation : coût élevé des équipements immersifs, exigences de connectivité et performance matérielle, ainsi que des contraintes ergonomiques telles que la fatigue visuelle et la surcharge cognitive engendrées par les environnements immersifs prolongés (Elmqaddem, 2019). Ces défis sont d'autant plus marqués dans les établissements à ressources limitées, où l'accès aux infrastructures immersives et aux logiciels spécialisés demeure inégal.

Malgré ces obstacles, la RV et la RA ouvrent de nouvelles perspectives pour le design pédagogique en favorisant une approche plus interactive, exploratoire et collaborative de l'apprentissage. Elles permettent non seulement d'enrichir les modalités d'expérimentation et de simulation, mais aussi de repenser l'enseignement du design en intégrant des logiques de coconception, d'itération rapide et d'évaluation immersive. Leur adoption efficace suppose cependant une approche systématique incluant une réflexion didactique approfondie, le développement de contenus pédagogiques adaptés aux spécificités du design, ainsi qu'une formation des enseignants aux nouveaux paradigmes immersifs. À terme, l'avenir de ces technologies dans l'éducation en design dépendra de leur intégration cohérente aux stratégies institutionnelles, de la collaboration entre pédagogues et concepteurs d'outils numériques, ainsi que d'un accompagnement structuré des étudiants pour une appropriation critique et créative des environnements immersifs.

## Convergences entre innovation technologique et inclusion

L'évolution rapide des technologies numériques transforme les méthodes pédagogiques dans l'enseignement du design. L'atelier, traditionnellement perçu comme un espace physique de conception et d'expérimentation, s'hybride désormais avec des environnements numériques immersifs, offrant aux étudiants des outils interactifs pour la création et l'innovation. Cette mutation s'inscrit dans une dynamique où l'apprentissage du design ne repose plus uniquement sur la matérialité, mais aussi sur une expérience élargie à la réalité virtuelle (RV), la réalité augmentée (RA) et l'intelligence artificielle (IA) (Kavanagh *et al.*, 2017). Dans ce contexte, l'inclusion devient une finalité incontournable : elle ne se limite plus à l'insertion d'un individu dans un groupe existant, mais désigne un processus actif visant à garantir à toutes et tous – indépendamment de leur origine sociale, culturelle, économique ou cognitive – une pleine participation à la vie pédagogique, sociale et créative. Selon la définition de la Commission européenne, il s'agit de permettre à chacun de jouir d'un niveau de vie décent et de participer pleinement aux processus décisionnels qui affectent sa trajectoire éducative.



L'intégration des Learning Management Systems (LMS), tels que Moodle et Sakai, permet non seulement d'organiser les contenus pédagogiques et de favoriser une interaction continue entre étudiants et enseignants (Al-Hunaiyyan *et al.*, 2020), mais aussi de garantir une accessibilité universelle, fondée sur le principe « d'accès à tout pour tous », tel que défini juridiquement dans la loi française du 11 février 2005. Ces plateformes, en réduisant les barrières physiques, permettent une participation équivalente des étudiants en situation de handicap, renforçant ainsi la qualité d'usage pour tous. Parallèlement, les jeux sérieux et simulateurs immersifs, étudiés par Laamarti *et al.* (2014), deviennent des outils incontournables pour enseigner le design dans des contextes interactifs et expérientiels. Ces dispositifs répondent à la diversité croissante des profils étudiants, en offrant des parcours adaptatifs tenant compte des multiples identités (genre, origine, statut migratoire, responsabilités familiales, etc.) qui composent le paysage éducatif actuel (Borri-Anadon *et al.*, 2023). Ils permettent aux étudiants d'explorer des environnements, de tester des scénarios et d'affiner leurs décisions de conception en temps réel.

L'atelier hybride s'appuie également sur les tableaux blancs interactifs, qui facilitent la collaboration, ainsi que sur les outils de modélisation 3D et en RA/RV, comme Unity et Rhino, qui offrent une visualisation immersive des projets (Chai *et al.*, 2010). Ces nouvelles approches transforment le rôle de l'enseignant, qui devient un facilitateur d'apprentissage, guidant les étudiants dans des expériences interactives où la conception est évaluée selon des critères dynamiques et personnalisés (Boyle *et al.*, 2012). Cette personnalisation est un levier majeur de l'équité pédagogique, car elle reconnaît les besoins éducatifs particuliers de chacun et favorise l'émergence d'une société éducative plus juste. L'industrie du jeu vidéo propose également des méthodologies avancées d'évaluation de l'expérience utilisateur (UX) et de l'interface utilisateur (UI), transposables à l'atelier du futur. L'évaluation UX repose sur des analyses quantitatives et qualitatives – temps d'engagement, navigation, satisfaction perçue (Boot *et al.*, 2008) – que l'on peut croiser avec les données issues de la diversité cognitive et sensorielle des étudiants.

L'atelier du futur peut ainsi intégrer des outils d'analyse cognitive comme le suivi des mouvements oculaires (Kruger et Steyn, 2024), l'EEG (Al Shorman *et al.*, 2020) ou la fréquence cardiaque pour ajuster les parcours pédagogiques en fonction de l'attention, de l'engagement et de la charge cognitive. Avec l'essor du phénotypage numérique (Swanson, 2009), qui distingue les interactions passives des interactions actives, des biomarqueurs numériques peuvent être mobilisés pour moduler l'intensité des contenus selon l'état émotionnel ou cognitif des étudiants. Ainsi, l'hybridation entre les méthodologies issues du jeu vidéo, de la neuroéducation et de l'ingénierie pédagogique ouvre la voie à des espaces d'apprentissage immersifs, adaptatifs et véritablement inclusifs, où l'évaluation ne se limite plus aux livrables finaux, mais considère le parcours, les singularités et les dynamiques d'engagement des apprenants. Ces ateliers du futur incarnent une approche du design éducatif fondée sur l'accessibilité universelle, la reconnaissance de la diversité et l'inclusion intégrative comme fondements d'un développement social durable.

## Cartographie des pratiques : entre modèles éprouvés et terrains d'expérimentation

Afin de mieux cerner les dynamiques d'appropriation des technologies immersives dans l'enseignement du design, cette étude repose sur une méthodologie mixte, combinant à la fois une enquête quantitative et une approche qualitative. Le choix de cette double modalité s'explique par la volonté de croiser des données mesurables (taux d'adoption, perceptions générales) avec des éléments plus fins, issus de récits d'expériences et d'interprétations contextualisées.



## L'analyse documentaire : déconstruire pour mieux reconstruire

L'analyse documentaire, dans le domaine du design et de l'enseignement immersif, ne se limite pas à la compilation et à l'étude des modèles existants. Elle constitue un véritable outil critique permettant d'interroger en profondeur les cadres épistémologiques, méthodologiques et idéologiques qui sous-tendent la représentation du réel. Dans un contexte où la spatialisation des savoirs est en pleine mutation, il est essentiel de déconstruire les paradigmes traditionnels pour développer des formes de représentation plus dynamiques, sensibles et expérientielles, en phase avec les évolutions technologiques et socioculturelles.

L'exemple de la cartographie sensible illustre cette reconfiguration des modèles de représentation. Historiquement fondée sur une vision euclidienne et topographique de l'espace, la cartographie classique a longtemps été perçue comme un outil objectif et neutre, privilégiant des critères quantitatifs et des conventions graphiques standardisées. Cependant, des travaux en cartographie critique et postreprésentationnelle (Baltà-Salvador, 2021) ont mis en évidence les limites de cette approche, en soulignant l'importance des dimensions subjectives, narratives et émotionnelles dans la perception et l'appropriation des territoires. Dès lors, la cartographie sensible émerge comme une alternative féconde, intégrant les vécus individuels, les parcours sensoriels et les interactions sociales dans la représentation de l'espace. Cette approche ne vise pas seulement à visualiser un territoire, mais à en restituer la complexité en articulant perception, mémoire et affect. Dans ce cadre, l'usage de nouvelles technologies immersives apparaît comme un prolongement naturel, permettant d'explorer des modalités de représentation plus interactives et participatives.

Dans l'enseignement du design, la montée en puissance des technologies immersives, telles que la réalité virtuelle et augmentée, ouvre la voie à des expériences pédagogiques transformatrices. Ces outils ne se limitent plus à la visualisation statique d'un espace, mais permettent d'en faire l'expérience de manière multisensorielle et dynamique. Loin de cantonner l'apprenant à un rôle passif de spectateur, ils l'engagent activement dans un processus de cocréation, où l'espace devient un terrain d'expérimentation et d'interaction. L'intégration des environnements immersifs dans les curriculums de design favorise ainsi une refonte des méthodes d'apprentissage. Plutôt que d'imposer des modèles figés, ces technologies offrent la possibilité d'explorer des représentations évolutives, où la spatialité est continuellement redéfinie par l'expérience de l'utilisateur. Des initiatives expérimentales (Di Lodovico, 2019) ont démontré l'apport de ces dispositifs dans la construction de nouvelles narrations spatiales, plaçant l'individu et ses perceptions au cœur du processus de modélisation.

Face aux transformations des modes de représentation et de transmission des savoirs, l'analyse documentaire ne saurait se limiter à un simple archivage des pratiques existantes. Elle doit être envisagée comme un levier critique permettant d'identifier les tensions, les ruptures et les nouvelles possibilités émergentes. En design immersif, déconstruire les cadres établis ne signifie pas simplement rejeter les principes, mais plutôt les interroger afin de proposer des solutions plus inclusives et adaptées aux réalités contemporaines.

Ainsi, penser l'enseignement du design dans une logique immersive implique d'adopter une approche plus sensible, où la transmission des connaissances ne repose plus uniquement sur la transmission de données objectives, mais sur la capacité à tisser des liens entre perception, mémoire et spatialité. Dans ce contexte, la cartographie sensible et les environnements immersifs constituent des terrains d'exploration privilégiés pour repenser les modalités de représentation, en conjuguant expérience individuelle et intelligence collective. En définitive, l'évolution des modèles cartographiques et immersifs en design invite à une redéfinition profonde des rapports entre l'espace, le savoir et la perception. Loin d'être un simple enjeu technique, cette transformation s'inscrit dans une réflexion plus large sur la manière dont nous construisons et partageons nos représentations du monde.





## Études de cas : des expériences qui façonnent l'avenir

### GRAVITY SKETCH ET ARKI : VERS UN ESPACE D'APPRENTISSAGE SANS FRONTIÈRES

L'intégration des technologies immersives dans l'enseignement du design et de l'architecture transforme les paradigmes d'apprentissage et de collaboration en offrant de nouvelles dynamiques cognitives et interactives (Schön, 1983). Des outils comme Gravity Sketch et ARki permettent une modélisation immersive en RV et RA, favorisant une interaction directe avec l'espace numérique et une perception intuitive des volumes et proportions, réduisant ainsi l'écart entre la conception théorique et la matérialisation (Dede, 2009).

L'un des principaux atouts de ces plateformes réside dans leur capacité à fluidifier la collaboration en connectant plusieurs utilisateurs dans un même espace immersif, facilitant ainsi l'itération rapide et l'adaptabilité des projets (Chalkiadakis *et al.*, 2024). Des initiatives pédagogiques comme celles de Penn Design (É.-U.) et de l'Architectural Association School of Architecture (RU) démontrent l'impact de ces outils sur la conception architecturale et la contextualisation des projets (idem).

Cependant, leur adoption soulève des défis, notamment l'accessibilité des infrastructures RV/RA et la nécessité d'une médiation pédagogique adaptée pour éviter la surcharge cognitive et garantir un équilibre entre immersion et réflexion critique (Selwyn *et al.*, 2017). Loin de se limiter à une simple évolution technologique, ces outils participent à la redéfinition des pratiques pédagogiques et professionnelles, posant ainsi la question de leur intégration dans des cadres éducatifs inclusifs et équitables (Buchanan, 1992).

### CLO3D : QUAND LE NUMÉRIQUE DÉMOCRATISE LE DESIGN TEXTILE

Le logiciel CLO3D révolutionne la conception textile en permettant une modélisation avancée des vêtements, intégrant en temps réel les dynamiques de drapé, les textures et les interactions physiques des tissus (Simac, 2009). En réduisant le besoin de prototypes physiques, il diminue considérablement le gaspillage de matériaux et l'empreinte environnementale de l'industrie textile (idem). Son intégration dans l'enseignement du design textile offre un environnement immersif favorisant l'expérimentation illimitée, accélérant ainsi l'apprentissage et la créativité (Choi, 2022).

CLO3D démocratise l'accès au design vestimentaire en supprimant les contraintes financières liées au prototypage, ce qui bénéficie particulièrement aux jeunes créateurs et aux petites structures (Härkönen et Särämäkari, 2023). Il stimule ainsi l'innovation et la diversité stylistique, tout en intégrant les principes de durabilité dès la phase de conception (Glogar *et al.*, 2025). Cependant, son adoption soulève plusieurs défis. La maîtrise du logiciel nécessite une formation technique qui peut être un frein pour les créateurs issus de formations traditionnelles (Glogar *et al.*, 2025). De plus, bien que la virtualisation optimise les processus, elle ne remplace pas l'expérience sensorielle du textile, essentielle à la conception vestimentaire<sup>1</sup>.

L'essor de CLO3D transforme également l'enseignement du design textile, comme en témoigne son intégration dans les cursus de l'Institut Français de la Mode et du London College of Fashion, où il est utilisé pour enseigner la conception zéro déchet et l'optimisation des ressources (Morello et Ratti, 2009). L'Université de Kyoto explore quant à elle son potentiel en intelligence artificielle pour générer des designs fondés sur l'analyse des tendances (Koutamanis, 2023). Toutefois, la généralisation de son usage reste conditionnée par l'accessibilité des formations et la nécessité de préserver un équilibre entre technologies numériques et savoir-faire traditionnels. L'adoption de CLO3D dans les écoles de mode témoigne de son impact sur l'innovation et la durabilité, mais impose une approche hybride afin de maintenir un lien fondamental avec la matérialité du textile.

---

<sup>1</sup> Voir <http://www.bodyscan.human.cornell.edu>.



## Enquête auprès des acteurs du design : perceptions et réalités

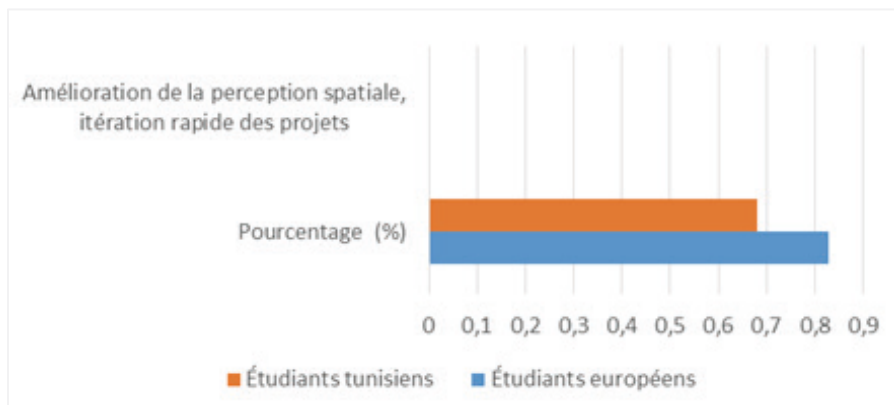
L'échantillonnage adopté dans cette recherche relève d'une approche raisonnée, fondée sur la pertinence des profils sélectionnés au regard de l'objet d'étude. Les enseignants et les étudiants ont été choisis en fonction de leur degré d'implication dans des cursus intégrant, de manière explicite ou exploratoire, des technologies immersives. En Europe, trois établissements reconnus pour leur rôle précurseur dans ce domaine ont été retenus : l'École de design Nantes Atlantique, La Cambre (École nationale supérieure des arts visuels) et la Haute école d'art et de design de Genève (HEAD). En Tunisie, deux établissements ont été ciblés pour leur engagement manifeste en faveur de l'expérimentation pédagogique malgré des ressources limitées : l'École Supérieure des Sciences et Technologies du Design et l'Institut Supérieur des Arts et Métiers de Kairouan. Le dispositif d'enquête s'est articulé autour d'un questionnaire en ligne (Google Forms, Typeform) comprenant 22 questions ouvertes et fermées portant sur les usages, les représentations, les bénéfices perçus et les obstacles rencontrés dans l'intégration des outils immersifs. L'enquête a été administrée auprès de 65 enseignants, dont 10 responsables pédagogiques, et de 120 étudiants. Parallèlement, des entretiens semi-directifs ont été conduits auprès d'un sous-échantillon d'enseignants tunisiens, suivant un guide thématique structuré autour de trois axes : disponibilité des infrastructures, posture pédagogique à l'égard des dispositifs immersifs, et perspectives d'intégration curriculaire. L'ensemble des données, collectées sur une période de trois mois (octobre à décembre 2024), a fait l'objet d'une analyse par triangulation, permettant de croiser les résultats quantitatifs avec les données qualitatives afin d'identifier les convergences et les écarts entre les discours institutionnels et les pratiques effectives.

### ADHÉSION CONTRASTÉE AUX OUTILS IMMERSIFS

L'analyse des résultats met en évidence une polarisation des perceptions entre les enseignants et les étudiants. C'est 83 % des étudiants européens et 68 % des étudiants tunisiens qui considèrent que les outils immersifs, tels que Gravity Sketch, CLO3D et ARki, améliorent leur compréhension des concepts spatiaux et facilitent l'itération rapide des projets (figure 1).

**Figure 1**

*Perception des outils immersifs par les étudiants*



*Note. Source : Auteure.*

Toutefois, 61 % des enseignants européens et 53 % des enseignants tunisiens se montrent plus réservés, mettant en avant le manque de formation, la fracture numérique et la nécessité d'adapter les curriculums pour intégrer ces outils de manière pertinente. En Tunisie, les enseignants interrogés soulignent particulièrement la rareté des équipements et le coût élevé des logiciels sous licence comme des obstacles

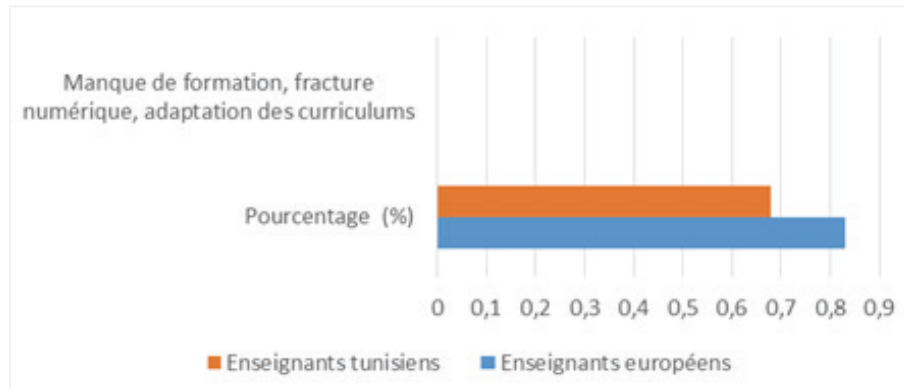




majeurs, contrairement aux établissements européens, où les infrastructures technologiques sont généralement mieux développées. Cependant, une convergence des avis émerge sur la nécessité d'un équilibre entre pratiques traditionnelles et numériques, notamment pour éviter une dépendance excessive aux outils technologiques (figure 2).

**Figure 2**

*Perception des outils immersifs par les enseignants*



*Note. Source : Auteure*

## DÉFIS ET OPPORTUNITÉS DES ENVIRONNEMENTS HYBRIDES ET IMMERSIFS

Les technologies immersives offrent des opportunités significatives dans le domaine éducatif, notamment en architecture et en design. Sur le plan pédagogique, 65 % des étudiants européens et 71 % des étudiants tunisiens interrogés estiment qu'elles accélèrent le processus créatif en facilitant le passage de l'idée au prototype grâce à la visualisation et à l'édition en temps réel. Cette fluidité permet également d'améliorer la collaboration entre pairs et avec les enseignants, en particulier dans le cadre de projets de coconception.

Du point de vue de l'inclusion, plusieurs enseignants tunisiens soulignent que la réalité augmentée constitue une alternative pertinente face aux limitations matérielles. Elle permet notamment aux étudiants de présenter leurs projets sous forme de maquettes numériques en RA, réduisant ainsi la dépendance à la fabrication de prototypes physiques, souvent coûteuse. Des outils comme ARki sont perçus comme des leviers d'égalité des chances dans un contexte de ressources limitées. Concernant l'accessibilité numérique et les infrastructures, des disparités importantes subsistent entre les contextes européens et nord-africains. En Tunisie, de nombreux établissements souffrent d'une connectivité limitée, de logiciels non compatibles avec le matériel existant et d'un manque d'équipements adaptés, ralentissant considérablement l'intégration des technologies immersives dans les pratiques pédagogiques.

Enfin, les contraintes économiques restent un obstacle majeur. Tandis que 74 % des enseignants tunisiens identifient le coût des équipements et des logiciels comme un frein principal, les répondants européens expriment davantage de préoccupations liées à l'obsolescence rapide de ces technologies. Par ailleurs, le manque de formation spécifique constitue un autre défi transversal : une majorité d'enseignants tunisiens déplore l'absence de programmes de développement professionnel intégrant les outils immersifs, soulignant un besoin urgent de structuration institutionnelle sur cette question.

Ces constats révèlent la nécessité de stratégies différenciées et contextualisées pour maximiser l'impact des technologies immersives dans les parcours pédagogiques, tout en veillant à ne pas accentuer les fractures numériques déjà existantes.



## L'accessibilité en action : entre contraintes locales et ambitions globales.

L'enquête menée auprès des établissements de design en Europe et les entretiens semi-directifs réalisés en Tunisie révèlent une tension persistante entre les ambitions globales d'intégration des outils immersifs et les réalités locales marquées par des contraintes économiques, technologiques et pédagogiques. Alors que la réalité virtuelle (RV) et la réalité augmentée (RA) se généralisent dans les cursus des écoles de design les mieux dotées, leur adoption reste limitée dans les contextes à ressources restreintes, mettant en évidence une fracture numérique qui façonne les pratiques pédagogiques et professionnelles.

### CONSTAT ISSU DE L'ENQUÊTE : UNE ACCESSIBILITÉ CONTRASTÉE

L'analyse des données recueillies auprès des enseignants et des étudiants en Europe et en Afrique du Nord met en lumière un ensemble de facteurs structurels et contextuels influençant significativement l'adoption des technologies immersives dans l'enseignement du design. Trois dimensions critiques se dégagent de manière transversale :

- **Accessibilité économique et matérielle :** Tandis que deux des établissements européens enquêtés bénéficient de laboratoires équipés en dispositifs de réalité virtuelle et augmentée (RV/RA), seul un établissement tunisien signale la présence de ressources limitées, essentiellement orientées vers l'informatique conventionnelle et l'impression 3D. Le déficit en équipements spécialisés (casques immersifs, stations de travail à haute performance) combiné au coût élevé des licences logicielles constitue un obstacle majeur, cité par 65 % des répondants nord-africains.
- **Infrastructure et connectivité :** 83 % des enseignants tunisiens interrogés déplorent l'insuffisance de la connectivité haut débit et l'absence de serveurs performants, compromettant ainsi la mise en œuvre d'expériences immersives synchrones ou asynchrones, en particulier via des plateformes collaboratives ou des environnements XR nécessitant une stabilité et une capacité de traitement élevées.
- **Formation et appropriation pédagogique :** Enfin, 72 % des enseignants de l'échantillon déclarent n'avoir bénéficié d'aucune formation spécifique à l'usage des outils immersifs. Cette lacune est particulièrement marquée dans le contexte tunisien, où le recours à l'autoformation – souvent non accompagnée – demeure la principale modalité d'apprentissage, limitant par conséquent la capacité des enseignants à intégrer ces technologies de manière critique et innovante dans leurs pratiques pédagogiques.

### ADAPTATION DES STRATÉGIES EN CONTEXTE DE RESSOURCES LIMITÉES

L'adoption des technologies immersives en design demeure inégalement répartie, notamment entre l'Europe et l'Afrique du Nord, en raison de contraintes financières, infrastructurelles et pédagogiques. Toutefois, des initiatives locales émergent pour surmonter ces obstacles par des approches adaptées aux réalités du terrain. L'intégration de solutions *open source*, telles que Blender, Mozilla Hubs ou Unity en WebXR, permet aux étudiants tunisiens d'explorer la conception immersive avec un matériel limité. Parallèlement, la mutualisation des infrastructures, déjà en place dans certaines écoles européennes, pourrait constituer une alternative viable en Afrique du Nord, favorisant un accès élargi aux équipements immersifs. L'adoption de stratégies hybrides, combinant théorie et simulation XR sur des supports accessibles, est également plébiscitée par 69 % des enseignants tunisiens interrogés, qui y voient une progression graduelle vers ces outils pédagogiques.



Cependant, pour garantir une intégration durable, une révision des curriculums s'impose, avec une meilleure formation des enseignants et une expérimentation encadrée des technologies immersives. En effet, 81 % des enseignants tunisiens soulignent la nécessité d'un accompagnement pédagogique structuré tandis que 76 % insistent sur l'importance des financements internationaux et des collaborations interinstitutionnelles pour soutenir cette transition. Plutôt qu'une transposition directe des modèles européens, une approche modulaire et progressive, adaptée aux contextes socio-économiques locaux, semble plus pertinente. En valorisant les ressources disponibles, la formation des formateurs et l'expérimentation avec des technologies légères (Morello et Ratti, 2009), il devient possible de transformer l'accessibilité en un véritable levier d'innovation pédagogique.

## **Penser l'apprentissage du design autrement : perspectives et défis**

### **Un apprentissage plus immersif est-il forcément plus inclusif?**

La présente enquête menée auprès des établissements de design en Europe et en Afrique du Nord met en lumière plusieurs avantages de ces technologies. L'adaptation multisensorielle, permise par la RV, facilite l'exploration de concepts abstraits en mobilisant des modalités d'apprentissage variées (visuelle, auditive, kinesthésique), favorisant ainsi une appropriation plus effective des savoirs par des profils cognitifs divers. En Europe, 63 % des enseignants estiment que les environnements immersifs facilitent l'apprentissage des étudiants à mobilité réduite ou souffrant de déficiences visuelles, grâce à des interfaces adaptatives et à la possibilité de manipuler des objets en 3D sans contrainte physique (Chalkiadakis *et al.*, 2024). De plus, les ateliers immersifs et hybrides permettent de réduire les barrières technologiques, rendant les outils de création accessibles à des étudiants sans formation technique préalable.

Cependant, l'inclusivité des environnements immersifs reste conditionnée par des facteurs structurels et pédagogiques, particulièrement dans les contextes à ressources limitées, comme c'est le cas en Tunisie et dans d'autres pays d'Afrique du Nord. La fracture numérique et l'accessibilité économique constituent des obstacles majeurs : 78 % des établissements tunisiens interrogés indiquent ne pas disposer des infrastructures nécessaires pour intégrer la RV et la RA dans leur curriculum. Le coût des équipements (casques RV, stations de travail, licences logicielles) génère une inégalité structurelle, exacerbant les écarts entre les établissements disposant de ressources suffisantes et ceux ayant des moyens limités (Fernandez, 2017). En outre, 67 % des enseignants en Afrique du Nord soulignent que l'appropriation des outils immersifs nécessite un apprentissage préalable, ce qui représente une barrière supplémentaire pour les étudiants ayant des difficultés avec les outils numériques. Par ailleurs, le manque de standards pédagogiques clairs et de directives sur l'intégration des technologies immersives conduit à une utilisation fragmentée et parfois inefficace de ces outils.

Pour garantir une accessibilité et une inclusivité réelles, il est crucial d'adopter une approche pédagogique et technologique fondée sur l'équité. Les résultats de l'enquête suggèrent plusieurs pistes d'amélioration : développer des contenus et des interfaces accessibles, mettre en place des normes inclusives (par exemple, sous-titrage en temps réel, commandes vocales, compatibilité avec les lecteurs d'écran) pour assurer une accessibilité universelle; mutualiser les ressources et les infrastructures, à travers des modèles collaboratifs permettant de partager des équipements et des plateformes immersives entre les établissements, une approche qui pourrait être adaptée au contexte nord-africain; et former des enseignants et des étudiants à l'utilisation des outils XR, en intégrant des modules d'apprentissage progressifs pour faciliter une appropriation plus large et inclusive.



## Discussion sur les barrières invisibles du numérique

L'essor des technologies numériques et immersives dans l'enseignement du design est souvent présenté comme un progrès indiscutable en matière d'inclusivité et d'accessibilité. Pourtant, une analyse critique révèle l'existence de barrières invisibles, souvent sous-estimées, qui freinent leur adoption et leur appropriation par une diversité d'apprenants. Ces obstacles, moins visibles que la fracture numérique matérielle, relèvent de dynamiques socioculturelles, cognitives et institutionnelles qui influencent profondément l'expérience d'apprentissage (Selwyn, 2017).

### DE LA FRACTURE NUMÉRIQUE À LA FRACTURE COGNITIVE ET SOCIALE

Si l'accès aux infrastructures technologiques demeure un obstacle majeur (Fernandez, 2017), une fracture plus complexe émerge autour des compétences numériques, des représentations culturelles et de l'accessibilité cognitive (2017). D'une part, l'enquête révèle une asymétrie significative des compétences numériques : 72 % des enseignants et étudiants tunisiens considèrent que la maîtrise des outils immersifs exige un apprentissage additionnel souvent négligé dans les curriculums, creusant un fossé entre les apprenants déjà familiarisés avec le numérique et ceux issus de contextes à ressources limitées. D'autre part, la perception des technologies immersives comme un domaine réservé à une élite technologique freine leur adoption, notamment chez les étudiants issus de milieux socio-économiques défavorisés, où l'exposition aux environnements numériques avancés est plus restreinte (Alhazmi *et al.*, 2022). Par ailleurs, l'accessibilité cognitive constitue un enjeu central : la surcharge informationnelle et la complexité des interfaces immersives peuvent être des freins, en particulier pour les apprenants présentant des troubles de l'apprentissage (dyslexie, TDAH, etc.). Or, 58 % des enseignants en Afrique du Nord estiment que les dispositifs immersifs actuels ne prennent pas suffisamment en compte ces besoins spécifiques, renforçant ainsi de nouvelles formes d'exclusion (Di Lorenzo *et al.*, 2013).

Ces résultats soulignent la nécessité d'une approche plus inclusive et contextualisée dans l'intégration des technologies immersives en design, impliquant à la fois une refonte des curriculums, une formation adaptée des enseignants et le développement de solutions plus accessibles sur le plan cognitif et social.

### NORMES ET BIAIS TECHNOLOGIQUES : DES FREINS À L'INCLUSION

L'adoption des technologies immersives dans l'enseignement du design repose sur des modèles pédagogiques et technologiques qui ne sont pas toujours neutres. Ces outils sont souvent conçus dans des contextes occidentaux et standardisés, sans prise en compte des réalités pédagogiques et culturelles d'autres régions du monde (Gidiotis et Hrastinski, 2024).

Un design pensé pour certains au détriment d'autres : les plateformes immersives et hybrides sont généralement développées en fonction des standards technologiques des pays industrialisés, rendant leur adaptation complexe pour des institutions à faibles ressources. Par exemple, 69 % des enseignants tunisiens interrogés soulignent que les logiciels utilisés en design (CLO3D, Gravity Sketch, etc.) nécessitent une puissance de calcul élevée, limitant leur accessibilité à certains étudiants.

Biais algorithmiques et accessibilité limitée : certains systèmes immersifs reposent sur des modèles de reconnaissance et d'interaction qui ne prennent pas en compte la diversité des utilisateurs. Par exemple, des expériences en réalité augmentée ont montré que certains avatars ou certaines interfaces vocales sont moins réactifs aux accents ou aux voix féminines. Cette exclusion implicite contribue à renforcer des dynamiques d'inégalité au sein des environnements d'apprentissage numériques.



## VERS UNE PÉDAGOGIE NUMÉRIQUE PLUS ÉQUITABLE ET ADAPTATIVE

Pour surmonter les obstacles invisibles entravant une adoption inclusive des technologies immersives en design, il est impératif d'adopter une approche critique et adaptative dans leur intégration. L'enquête met en lumière plusieurs axes d'amélioration. Tout d'abord, la conception d'interfaces et d'expériences immersives inclusives passe par l'application des principes du design universel, favorisant des plateformes accessibles à tous grâce à des options d'accessibilité intégrées, une simplification des interfaces et une compatibilité avec des dispositifs à faible coût. Ensuite, l'appropriation des outils numériques ne saurait être présumée uniforme; il est donc essentiel de proposer des parcours d'apprentissage progressifs et différenciés en fonction des niveaux de compétence des étudiants, à l'image des initiatives mises en place par certains établissements européens (Gidiotis et Hrastinski 2024). Par ailleurs, l'implication des utilisateurs dans la conception des environnements numériques constitue une voie prometteuse : 82 % des enseignants interrogés en Afrique du Nord soulignent l'importance de la coconception des interfaces et des expériences immersives adaptées aux réalités locales des apprenants. Ces constats révèlent que l'accessibilité numérique ne se limite pas aux infrastructures techniques ou à la connectivité, mais qu'elle est également façonnée par des facteurs cognitifs, sociaux et culturels influençant l'appropriation des technologies immersives. Ainsi, garantir un apprentissage numérique équitable exige une refonte des modèles pédagogiques, une prise en compte des diversités d'usage et une approche fondée sur l'adaptabilité et la coconstruction des outils. Ce n'est qu'au moyen de cette dynamique que le numérique pourra remplir ses promesses en matière d'inclusion et d'accessibilité.

## Pour une pédagogie augmentée et responsable

À l'ère du numérique, la pédagogie du design ne peut plus se limiter à des approches traditionnelles. L'émergence des technologies immersives, telles que la réalité virtuelle (RV) et la réalité augmentée (RA), ouvre des perspectives inédites pour enrichir l'apprentissage tout en interrogeant notre responsabilité en tant qu'éducateurs. Une pédagogie augmentée ne consiste pas seulement à introduire des outils technologiques, mais à repenser l'expérience d'apprentissage de manière holistique, en intégrant les dimensions cognitives, émotionnelles et sensorielles des étudiants. Les environnements immersifs permettent d'expérimenter des concepts abstraits, d'explorer des scénarios de design complexes et de tester des prototypes en temps réel, favorisant ainsi un apprentissage expérientiel et interactif (Elmqaddem, 2019).

Cependant, cette transformation pédagogique pose des défis éthiques et méthodologiques. L'hyper-immersion peut influencer la perception et le jugement des étudiants, nécessitant des dispositifs de régulation pour éviter toute surcharge cognitive ou manipulation des expériences perçues (Sharma *et al.*, 2023). Une pédagogie responsable doit garantir un équilibre entre innovation et accessibilité, en veillant à ne pas créer une fracture numérique entre les étudiants ayant accès aux technologies avancées et ceux qui en sont privés. De plus, l'exploitation des données comportementales et biométriques, souvent collectées dans les environnements immersifs, soulève des questions de protection de la vie privée et d'éthique de l'intelligence artificielle appliquée à l'éducation (Alhazmi *et al.*, 2022). Ainsi, penser l'apprentissage du design autrement implique de concevoir une pédagogie augmentée qui est à la fois inclusive, critique et adaptée aux défis du 21<sup>e</sup> siècle. Il ne s'agit pas seulement d'outiller les étudiants avec des technologies avancées, mais de développer chez eux une réflexion éthique et une capacité d'adaptation face aux transformations rapides du secteur. L'atelier du futur ne sera réellement bénéfique que s'il conjugue innovation technologique et responsabilité pédagogique, en faisant de l'apprentissage du design un processus immersif, réflexif et socialement conscient.



## Conclusion

L'analyse menée tout au long de cet article a mis en évidence le potentiel des technologies immersives et hybrides pour transformer l'apprentissage du design en un processus plus inclusif et adaptable. La validation de notre hypothèse repose sur une double constatation : d'une part, les environnements virtuels et augmentés enrichissent l'expérience pédagogique en favorisant une compréhension expérientielle des concepts; d'autre part, leur mise en œuvre effective doit s'accompagner d'une approche méthodologique centrée sur l'accessibilité et la diversité des profils apprenants. Ainsi, un modèle pédagogique inclusif repose sur l'articulation entre des dispositifs technologiques innovants et des principes de conception universelle, garantissant un accès équitable aux savoirs et une personnalisation des parcours d'apprentissage.

Dans cette perspective, nous proposons un cadre intégratif combinant l'interactivité, l'adaptabilité et l'accessibilité, où la flexibilité des outils numériques permettrait à chaque apprenant de progresser à son propre rythme tout en bénéficiant d'expériences immersives engageantes. Ce modèle repose sur trois axes fondamentaux : 1) une conception pédagogique fondée sur les besoins spécifiques des utilisateurs, 2) une hybridation des formats d'apprentissage combinant physique et virtuel, et 3) une évaluation continue de l'impact des technologies sur l'inclusion éducative.

Toutefois, plusieurs défis demeurent, notamment en termes d'infrastructures, de formation des enseignants et de prévention d'une fracture numérique accrue. L'avenir du design pédagogique augmenté dépendra donc de l'élaboration de politiques éducatives favorisant une intégration raisonnée des nouvelles technologies, tout en veillant à ne pas reproduire les biais d'exclusion existants.

## Liste de références

- Al Shorman, A., Faris, H., et Aljarah, I. (2020). Unsupervised intelligent system based on one-class support vector machine and Grey Wolf optimization for IoT botnet detection. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 11, 2809-2825. <https://doi.org/10.1007/s12652-019-01387-y>
- Alhazmi, H., Imran, A., et AbuAlsheikh, M. (2022). How do socio-demographic patterns define digital privacy divide? *IEEE Access*, 10, 11296-11307. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3144436>
- Al-Hunaiyyan, A., Al-Sharhan, S., et AlHajri, R. (2020). Prospects and challenges of learning management systems in higher Education. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(12). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2020.0111209>
- Bailenson, J. (2018). *Experience on demand: What virtual reality is, how it works, and what it can do?* W. W. Norton & Company.
- Baltà-Salvador, R., Olmedo-Torre, N., Peña, M., et Renta-Davids, A.-I. (2021). Academic and emotional effects of online learning during the COVID-19 pandemic on engineering students. *Education and Information Technologies*, 26(6), 7407-7434. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10593-1>
- Boot, W. R., Kramer, A. F., Simons, D. J., Fabiani, M., et Gratton, G. (2008). The effects of video game playing on attention, memory and executive control. *Acta Psychologica*, 129(3), 387-398. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2008.09.005>
- Borri-Anadon, C., Hirsch, S., et Audet, G. (2023). La prise en compte de la diversité ethnoculturelle, religieuse et linguistique en éducation : bref retour historique et enjeux actuels pour la recherche et la formation. *Enfance en difficulté*, 10. <https://doi.org/10.7202/1108076ar>
- Boyle, E. A., Connolly, T. M., Hainey, T., et Boyle, J. M. (2012). Engagement in digital entertainment games: A systematic review. *Computers in Human Behavior*, 28(3), 771-780. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2011.11.020>
- Buchanan, R. (1992). Wicked problems in design thinking. *Design Issues*, 8(2), 5-21. <http://www.jstor.org/stable/1511637?origin=JSTOR-pdf>





- Burgstahler, S. (2015). *Universal design in higher education: From principles to practice*. Harvard Education Press.
- Chai, C. S., Koh, J. H. L., et Tsai, C. C. (2010). Facilitating Preservice Teachers' Development of Technological, Pedagogical, and Content Knowledge (TPACK). *Educational Technology & Society*, 13, 63-73.
- Chalkiadakis, A., Seremetaki, A., Kanellou, A., Kallishi, M., Morfopoulou, A., Moraitaki, M., et Mastrokourou, S. (2024). Impact of artificial intelligence and virtual reality on educational inclusion: A systematic review of technologies supporting students with disabilities. *Education Sciences*, 14(11), article 1223. <https://doi.org/10.3390/educsci14111223>
- Choi, K. H. (2022). 3D dynamic fashion design development using digital technology and its potential in online platforms. *Fashion and Textiles*, 9, article 9. <https://doi.org/10.1186/s40691-021-00286-1>
- Dede, C. (2009). Immersive interfaces for engagement and learning. *Science*, 323, 66-69. <https://doi.org/10.1126/science.1167311>
- Di Lodovico, C. (2019). Making education: Exploring digital fabrication potential within fashion design learning process. *EDULEARN19 Proceedings*, 7747-7756. <https://doi.org/10.21125/EDULEARN.2019.1877>
- Di Lorenzo, E., Combes, V., Keister, J. E., Strub, P. T., Thomas, A. C., Franks, P. J. S., Franks, M.D. Ohman, J. C. Furtado, A. Bracco, S. J. Bograd, W. T. Peterson, F. B. Schwing, S. Chiba, B. Taguchi, S. Hormazabal, et Parada, C. (2013). Synthesis of Pacific Ocean climate and ecosystem dynamics. *Oceanography*, 26(4), 68-8. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2013.76>
- Droste, M. (2002). *Bauhaus 1919-1933*. Bauhaus-archiv Berlin. Taschen. Bibliotheca Universalis.
- Elmqaddem, N. (2019). Augmented reality and virtual reality in education. Myth or reality? *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 14(3), 234-242. <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i03.9289>
- Fernandez, M. (2017). Augmented-Virtual Reality: How to improve education systems. *Higher Learning Research Communications*, 7(1). <https://doi.org/10.18870/hlrc.v7i1.373>
- Findeli, A. (1990). Moholy-Nagy's design pedagogy in Chicago (1937-46). *Design Issues*, 7(1), 4-19. <https://doi.org/10.2307/1511466>
- Gidiotis, I., et Hrastinski, S. (2024). Imagining the future of artificial intelligence in education: A review of social science fiction. *Learning, Media and Technology*, 1-13. <https://doi.org/10.1080/17439884.2024.2365829>
- Glogar, M., Petrak, S., et Mahnić Naglič, M. (2025). Digital technologies in the sustainable design and development of textiles and clothing – A literature review. *Sustainability*, 17(4), 1371. <https://doi.org/10.3390/su17041371>
- Härkönen, H., et Särämäkari, N. (2023). Copyright and digital fashion designers: The democratization of authorship? *Journal of Intellectual Property Law & Practice*, 18(1), 42-57. <https://doi.org/10.1093/jiplp/jpac115>
- Kavanagh, S., Luxton-Reilly, A., Wuensche, B., et Plimmer, B. (2017). A systematic review of virtual reality in education. *Themes in Science and Technology Education*, 10(2), 85-119. <http://ouranos.edu.uoi.gr/theste/index.php/theste/article/download/241/134>
- Koutamanis, A. (2023). Technologies, Inbetweenness and Affordances. *Global Philosophy*, 33, 5. <https://doi.org/10.1007/s10516-023-09668-0>
- Kruger, S., et Steyn, A. A. (2024). Developing breakthrough innovation capabilities in university ecosystems: A case study from South Africa. *Technological Forecasting and Social Change*, 198, article 123002. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.123002>
- Laamarti, F., Eid, M., et El Saddik, A. (2014). An Overview of Serious Games. *International Journal of Computer Games Technology*, article 358152. <https://doi.org/10.1155/2014/358152>
- Morello, E., et Ratti, C. (2009). Sunscapes: 'Solar envelopes' and the analysis of urban DEMs. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33(1), 26-34. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2008.09.005>
- Oxman, R. (2001). Chapter 12 - The mind in design: A conceptual framework for cognition in design education. Dans C. M. Eastman, W. M. McCracken, et W. C. Newstetter (dir.), *Design knowing and learning: Cognition in design education* (p. 269-295). Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/B978-008043868-9/50012-7>
- Oxman, R. (2017). Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking. *Design Studies*, 52, 4-39. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.06.001>
- Schon, D.A. (1983). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. Basic Books, New York.



- Selwyn, N., Nemorin, S., et Johnson, N. (2017). High-tech, hard work: an investigation of teachers' work in the digital age. *Learning, Media and Technology*, 42(4), 390-405. <https://doi.org/10.1080/17439884.2016.1252770>
- Sharma, A., Sharma, A., Tselykh, A., Bozhenyuk, A., Choudhury, T., Alomar, M. & Sánchez-Chero, M. (2023). Artificial intelligence and internet of things oriented sustainable precision farming: Towards modern agriculture. *Open Life Sciences*, 18(1), article 20220713. <https://doi.org/10.1515/biol-2022-0713>
- Simac, C. S. (2009). *Nouvelles possibilités de création intrinsèques à la technologie d'impression numérique textile à jet d'encre* (thèse de doctorat, Université de Haute Alsace-Mulhouse, France). <https://theses.hal.science/tel-00618326v1>
- Slater, M., et Sanchez-Vives, M. V. (2016). Enhancing Our Lives with Immersive Virtual Reality. *Frontiers in Robotics and AI*, 3, article 74. <https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00074>
- Swanson, D. H. (2009). Reflections on Teaching: North Central Sociological Association 2009 John F. Schnabel Lecture: I Teach. *Sociological Focus*, 42(3), 212-221. <https://doi.org/10.1080/00380237.2009.10571352>
- Tene T., Vique López D. F., Valverde Aguirre P. E., Orna Puente L. M., et Vacacela Gomez C. (2024). Virtual reality and augmented reality in medical education: an umbrella review. *Front. Digit. Health*, 6, article 1365345. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2024.1365345>
- Zheng, R. Z. (2020). Learning with immersive technology: A cognitive perspective. Dans R. Z. Zheng (dir.), *Cognitive and affective perspectives on immersive technology in education* (p. 1-21). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-3250-8.ch001>



## Abstract / Resumen / Resumo

### Reinventing Design Learning: Hybrid and Immersive Workshops for Digital Accessibility and Equity, Diversity and Inclusion

#### ABSTRACT

The integration of immersive and hybrid technologies into design education is redefining pedagogical paradigms by introducing interactive environments that encourage a more intuitive understanding of complex concepts. Virtual reality (VR) and augmented reality (AR) offer new ways of learning, but their adoption raises challenges of accessibility and inclusion, calling the educational equity principles into question. Digital accessibility is not just a technical issue; it requires an inclusive approach that takes into account learner's cognitive, sensory and cultural diversity. The study explores the impact of these technologies on design learning, hypothesizing that thoughtful integration, combined with inclusive pedagogical strategies, could improve educational effectiveness and democratize access to training. A mixed methodology was adopted, combining a quantitative survey of 65 teachers and 120 students from European and Tunisian design institutions, with qualitative interviews to identify the obstacles and levers for adaptation. The results highlight disparities in adopting these tools, underlining the need for methodological and ethical vigilance to ensure equitable appropriation of techno-pedagogical innovations and guarantee accessible, sustainable and inclusive learning.

**Keywords:** design learning, immersive technologies, equity, diversity, inclusion, EDI, interactive environments

### Reinventar el aprendizaje del diseño: talleres híbridos y de inmersión al servicio de la accesibilidad digital y de la equidad, la diversidad y la inclusión

#### RESUMEN

La integración de tecnologías inmersivas e híbridas en la enseñanza del diseño redefine los paradigmas pedagógicos al introducir entornos interactivos que fomentan una comprensión más intuitiva de conceptos complejos. La realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA) ofrecen nuevas formas de aprendizaje, pero su adopción plantea retos de accesibilidad e inclusión, poniendo en tela de juicio los principios de equidad educativa. La accesibilidad digital no es sólo una cuestión técnica; requiere un enfoque integrador que tenga en cuenta la diversidad cognitiva, sensorial y cultural de los alumnos. El estudio explora el impacto de estas tecnologías en el aprendizaje del diseño, partiendo de la hipótesis de que una integración reflexiva, combinada con estrategias pedagógicas inclusivas, podría mejorar la eficacia educativa y democratizar el acceso a la formación. Se adoptó una metodología mixta, combinando una encuesta cuantitativa a 65 docentes y 120 estudiantes de instituciones de diseño europeas y tunecinas, con entrevistas cualitativas para identificar los obstáculos y las palancas de adaptación. Los resultados ponen de manifiesto disparidades en la adopción de estas herramientas, subrayando la necesidad de una vigilancia metodológica y ética para asegurar una apropiación equitativa de las innovaciones tecnopedagógicas y garantizar un aprendizaje accesible, sostenible e inclusivo.

**Palabras clave:** aprendizaje del diseño, tecnologías inmersivas, equidad, diversidad, inclusión, EDI, entornos interactivos



## Reinventar a aprendizagem do design: oficinas híbridas e imersivas para a acessibilidade digital e a equidade, diversidade e inclusão

### RESUMO

A integração de tecnologias imersivas e híbridas no ensino do design redefine os paradigmas pedagógicos ao introduzir ambientes interativos que favorecem uma compreensão mais intuitiva de conceitos complexos. A realidade virtual (RV) e a realidade aumentada (RA) oferecem novas formas de aprendizagem, mas sua adoção apresenta desafios de acessibilidade e inclusão, questionando os princípios da equidade educacional. A acessibilidade digital não se limita a uma questão técnica; exige uma abordagem inclusiva que considere as diversidades cognitivas, sensoriais e culturais dos aprendentes. Este estudo explora o impacto destas tecnologias na aprendizagem do design, partindo da hipótese de que uma integração reflexiva, combinada a estratégias pedagógicas inclusivas, pode melhorar a eficácia educativa e democratizar o acesso à formação. Foi adotada uma metodologia mista, combinando uma pesquisa quantitativa realizada com 65 professores e 120 estudantes de instituições de design europeias e tunisinas, com entrevistas qualitativas para identificar barreiras e facilitadores da adaptação. Os resultados evidenciam disparidades na adoção dessas ferramentas, ressaltando a necessidade de uma vigilância metodológica e ética para garantir uma apropriação equitativa das inovações tecnopedagógicas e assegurar uma aprendizagem acessível, sustentável e inclusiva.

**Palavras-chave:** aprendizagem do design, tecnologias imersivas, equidade, diversidade, inclusão, EDI, ambientes interativos