



Institut Supérieur
des Beaux-Arts de Tunis



VIVA- Patrimoine et dynamiques participatives : Valoriser, Imaginer, Viser, Apprendre et Innover pour un héritage vivant

REVUE DEED N°3 - PREMIER SEMESTRE 2026



جامعة تونس
Université de Tunis
University of Tunis

CNUST
المركز الوطني الجامعي
للتوثيق العلمي والتقني
Centre National Universitaire
de Documentation
Scientifique et Technique



E-ISSN 3061-9122
ISSN 3061-9203
design-in-deed.com



Pédagogie inclusive et modélisation 3D en design produit : obstacles à l'apprentissage et pistes de valorisation patrimoniale à l'ISAMS (Sfax, Tunisie).

Inclusive Pedagogy and 3D Modeling in Product Design: Learning Barriers and Prospects for Heritage Enhancement at ISAMS (Sfax, Tunisia)

Cet article est soumis à une licence Creative Commons. [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).





Pédagogie Inclusive et Modélisation 3D en Design Produit : Obstacles à l'Apprentissage et Pistes de Valorisation Patrimoniale à l'ISAMS (Sfax, Tunisie)

Inclusive Pedagogy and 3D Modeling in Product Design: Learning Barriers and Prospects for Heritage Enhancement at ISAMS (Sfax, Tunisia)



Chaabouni Mona, Doctorante en Arts et Médiation à l'Institut Supérieur des Arts et des Métiers de Sfax, Université de Sfax, Tunisie, mona.chaabouni@isams.u-sfax.tn

Cet article est soumis à une licence Creative Commons. [Creative Commons Attribution 4.0 International License](#).



Résumé

Le présent article analyse les obstacles rencontrés par les étudiants de deuxième année en design produit lors de l'apprentissage des logiciels de modélisation 3D (AutoCAD et Rhinoceros) à l'Institut Supérieur des Arts et Métiers de Sfax (ISAMS, Tunisie). L'étude repose sur une méthodologie mixte combinant des observations participantes, des entretiens semi-directifs et un questionnaire administré auprès de 32 étudiants. Les résultats mettent en évidence trois registres de difficultés : cognitives (surcharge cognitive, visualisation spatiale), procédurales (planification des étapes de modélisation) et non cognitives (motivation, anxiété et persévérance). Le cadre de la Conception Universelle de l'Apprentissage (CUA) est mobilisé afin de proposer dix recommandations pédagogiques et institutionnelles visant à rendre l'enseignement de la modélisation 3D plus inclusif. L'article esquisse en outre des pistes de recherche et de développement futures relatives au potentiel de la modélisation 3D dans la valorisation du patrimoine matériel et immatériel tunisien.

Mots-clés : Design produit ; Modélisation 3D ; Conception Universelle de l'Apprentissage (CUA) ; Pédagogie inclusive ; Patrimoine tunisien ; Transmission des savoirs ; Enseignement supérieur.

Abstract

This article examines the challenges encountered by second-year product design students when learning 3D modelling software (AutoCAD and Rhinoceros) at the Higher Institute of Arts and Crafts of Sfax (ISAMS, Tunisia). The study is based on a mixed-methods approach combining participant observations, semi-structured interviews, and a questionnaire administered to 32 students. The findings highlight three categories of difficulties: cognitive difficulties (cognitive overload and spatial visualization), procedural difficulties (planning and sequencing modelling steps), and non-cognitive difficulties (motivation, anxiety, and perseverance). The Universal Design for Learning (UDL) framework is employed to propose ten pedagogical and institutional recommendations aimed at making 3D modelling education more inclusive. The article also outlines future research and development directions regarding the potential of 3D modelling in the valorization of Tunisian tangible and intangible cultural heritage.

Keywords: Product design; 3D modelling; Universal Design for Learning (UDL); Inclusive pedagogy; Tunisian heritage; Knowledge transmission; Higher education.



1. Introduction

La modélisation tridimensionnelle s'est imposée, en l'espace de deux décennies, comme la pierre angulaire des pratiques professionnelles en design produit. Elle constitue aujourd'hui le medium principal par lequel un concepteur traduit une intention formelle en objet tangible : définir la géométrie, spécifier les matériaux, anticiper les contraintes d'assemblage, simuler le comportement fonctionnel. Autant d'opérations qui, dans la réalité du bureau d'études comme dans les ateliers de prototypage, transitent désormais par des environnements de modélisation numérique. Maîtriser ces outils n'est donc plus simplement un avantage technique ; c'est une condition d'exercice du métier. Les formations en design industriel préparent globalement bien les étudiants à répondre à cette exigence. Mais Rapitsenyane et al. (2023) pointent une limite claire : dès qu'il s'agit de fabrication numérique concrète, impression 3D, découpe laser, usinage numérique, la plupart des étudiants n'ont qu'une connaissance superficielle de ces technologies au terme de leur cursus. Ce décalage entre ce que la formation transmet et ce que le terrain exige pose un problème réel, que les exigences croissantes de l'industrie 4.0 et 5.0 ne font qu'aggraver.

Cette tension entre formation et attentes professionnelles pousse les établissements à repenser leurs environnements d'apprentissage au-delà de la seule maîtrise des outils. La visualisation spatiale tridimensionnelle y occupe une place centrale : Sorby (2009) a démontré qu'elle constitue un prédicteur significatif de la réussite académique et de la rétention des étudiants en ingénierie, ce qui en fait une compétence fondatrice et non un contenu technique accessoire. La modélisation 3D dans les écoles de design va au-delà de la simple maîtrise d'un logiciel. Elle s'inscrit dans une culture disciplinaire plus large, faite de valeurs, de modes de raisonnement et de manières de concevoir que Cross (1982) rassemble sous la notion de *designerly ways of knowing*. L'enseignement du design ne transmet donc pas uniquement des compétences techniques : il initie l'apprenant à des façons de penser propres à la discipline, souvent de manière tacite et intergénérationnelle. Roy (2023) a documenté, dans le contexte du lycée professionnel, la manière dont cette transmission s'incarne dans les gestes professionnels des enseignants de design. Si ce terrain d'enquête diffère des écoles supérieures de design, ces résultats invitent néanmoins à interroger la façon dont ces mêmes gestes pourraient se reconfigurer dans d'autres contextes de formation, notamment sous l'effet des transformations des outils et des pratiques professionnelles. Au fil de cette évolution, la modélisation 3D a débordé de son terrain d'origine. Elle n'est plus seulement l'outil du concepteur qui projette un objet à venir : elle est aussi devenue celle de celui qui cherche à préserver ce qui existe, ou ce qui disparaît. Remondino (2011) recense comment les techniques photogrammétriques et les outils de modélisation tridimensionnelle occupent désormais une place centrale dans la documentation, la conservation et la représentation du patrimoine culturel et naturel. Ce mouvement s'étend également aux savoir-faire artisanaux menacés de disparition : les technologies 3D constituent aujourd'hui un levier reconnu pour documenter et perpétuer des métiers en voie de disparition, en captant à la fois les dimensions tangibles de l'objet et les dimensions intangibles du geste (Skublewska-Paszkowska et al., 2022). Apprendre à modéliser en trois dimensions est un apprentissage complexe qui dépasse la simple maîtrise technique. Cela ne se réduit pas à la maîtrise d'un logiciel ni à la répétition d'exercices techniques. En croisant les apports de la psychologie de l'éducation et ceux de la recherche sur l'enseignement du design numérique, on distingue trois dimensions mobilisées



conjointement dans cet apprentissage : cognitive, procédurale et affective. Les deux premières apparaissent clairement dans les travaux de Chester (2007) qui a montré que cet apprentissage engage simultanément des connaissances déclaratives, procédurales et stratégiques, ce qui le distingue d'une simple formation à l'outil. À ces dimensions cognitives et procédurales s'ajoute une dimension affective, motivation, tolérance à l'erreur, engagement dans la tâche que Krathwohl et al. (1964) ont établi le rôle structurant dans tout apprentissage technique. C'est cette articulation entre plusieurs registres qui rend l'enseignement du CAO particulièrement exigeant auprès d'enseignants de technologie confrontés à ces enjeux pédagogiques. Sur le plan cognitif, la modélisation 3D requiert la compréhension et la manipulation d'objets géométriques en deux et en trois dimensions (Charles, 2023). Cette capacité varie fortement d'un étudiant à l'autre et constitue un facteur déterminant de la réussite. Chez les débutants, l'apprentissage de la modélisation 3D peut s'accompagner d'une charge cognitive importante, notamment en raison de l'absence de schèmes suffisamment développés pour traiter efficacement les informations spatiales.

Sur le plan procédural, les logiciels de modélisation volumique sont des outils issus du monde professionnel dont l'intégration dans un contexte pédagogique soulève des questions spécifiques : leur logique paramétrique et la complexité de leurs interfaces constituent des obstacles à l'entrée pour des étudiants non encore familiarisés avec les conventions de la conception assistée par ordinateur (Lee-Remond et al., 2025). Dans ce contexte, une approche pédagogique fondée uniquement sur l'imitation de gestes techniques semble insuffisante pour développer une autonomie durable, l'étudiant se retrouvant souvent démuni face à des situations non anticipées. Les blocages répétés peuvent progressivement éroder la confiance des apprenants et freiner leur progression. On observe d'ailleurs une tendance croissante à intégrer l'intelligence artificielle dans ces outils, ce qui témoigne de la complexité reconnue de leur prise en main. Sur le plan affectif, les émotions jouent un rôle déterminant dans l'engagement des étudiants. Des difficultés répétées en modélisation 3D peuvent engendrer frustration et désengagement progressif des étudiants (Nemorin, 2017). Cette dimension est reconnue, ainsi, par la Conception Universelle de l'Apprentissage (CUA), qui considère la motivation et l'engagement comme des conditions essentielles de l'apprentissage (Kelly et al., 2022). Négliger cette dimension risque de former des étudiants capables de reproduire des procédures, mais insuffisamment autonomes, créatifs et confiants dans leur pratique.

En effet, le CUA constitue le cadre opérationnel central de cette démarche. Dérivé de la pédagogie inclusive, il articule trois modalités complémentaires soit la diversification des représentations, la flexibilité des modes d'expression, et la pluralité des leviers de motivation (CAST, 2018). Ces trois principes permettent de répondre à l'hétérogénéité des profils d'apprenants tout en préservant les exigences propres à une discipline qui mobilise à la fois des compétences techniques et une démarche de conception. Appliqués au contexte de la formation en design produit, ces principes trouvent un terrain d'expression privilégié dans la mobilisation du patrimoine artisanal tunisien. Ses objets réels, aux formes complexes, ancrent les apprentissages dans une expérience concrète, tout en favorisant la motivation intrinsèque et le développement des compétences de représentation tridimensionnelle. Mais les obstacles ne sont pas qu'internes à l'apprenant. L'enseignement du design produit en Afrique du Nord s'inscrit dans des contextes institutionnels structurellement contraints, qui participent d'une réalité plus large propre au Global South : Selon Schneegans et al. (2021),



l'intensité mondiale de la recherche et développement s'établissait autour de 1,79 % du PIB sur la période considérée. Les pays d'Afrique du Nord et du Maghreb restent toutefois caractérisés par des niveaux d'investissement en R&D inférieurs à la moyenne mondiale, révélant des écarts persistants dans les capacités scientifiques et technologiques. Cette sous-dotation constitue une toile de fond qui influe sur les conditions générales dans lesquelles s'exercent les formations en design produit, enseignées principalement au sein des écoles nationales des beaux-arts de la région. Elle s'articule par ailleurs à un phénomène de massification documenté : Meyer, Benguerna et al. (2023) mettent en évidence une forte croissance des effectifs universitaires en Algérie et au Maroc. Cette massification constitue un enjeu majeur pour l'organisation des systèmes d'enseignement supérieur. À ces contraintes systémiques s'ajoute une fragilité propre au champ disciplinaire. El Hilali (2017) met en évidence les difficultés de reconnaissance et de structuration institutionnelle du design au Maroc. Dans le contexte algérien, Djeflat (2021) souligne les limites de l'ancrage des pratiques d'innovation et de conception dans les entreprises, témoignant d'une intégration encore partielle de ces dimensions dans les stratégies industrielles. Ces facteurs conjugués restreignent la capacité des établissements à adapter leurs pratiques pédagogiques à la diversité des profils étudiants. Cette diversité s'inscrit néanmoins dans des réalités institutionnelles, économiques et sociales qui varient d'un contexte à l'autre. Dans les établissements du Global South, les contraintes structurelles, notamment les ressources limitées, l'organisation institutionnelle contrainte et l'accès restreint aux dispositifs pédagogiques, pèsent directement sur les conditions d'enseignement et freinent la mise en œuvre d'une pédagogie véritablement inclusive. Face à ces défis, il devient nécessaire d'examiner comment ils se manifestent concrètement dans un contexte institutionnel spécifique. L'Institut Supérieur des Arts et Métiers de Sfax (ISAMS, Tunisie) offre un terrain d'investigation privilégié pour aborder ces enjeux. Fondé en 1995 et rattaché à l'Université de Sfax, cet établissement public forme des designers produits (ISAMS, s. d.) dans un contexte singulier : diversité des profils étudiants, complexité des apprentissages liés aux outils numériques de conception, et ancrage dans une ville au riche patrimoine artisanal et architectural. La présente étude de cas exploratoire, menée auprès de 32 étudiants de deuxième année de licence en design produit au cours de l'année universitaire 2023-2024, prend appui sur cette réalité pour poser la question suivante : quels obstacles entravent l'apprentissage de la modélisation 3D en design produit à l'ISAMS, et comment une approche pédagogique inclusive mobilisant le patrimoine matériel et artisanal de Sfax peut-elle y apporter une réponse adaptée ?

La présente recherche s'articule autour de trois objectifs complémentaires. Le premier vise à identifier et analyser les obstacles qui entravent l'apprentissage de la modélisation 3D à l'ISAMS ; le deuxième cherche à construire un cadre théorique mobilisant la pédagogie inclusive, notamment le modèle de la Conception Universelle de l'Apprentissage (CUA), comme ancrage conceptuel adapté au contexte étudié. Le troisième consiste à formuler des recommandations pédagogiques opératoires, intégrant une perspective patrimoniale artisanale propre à Sfax, afin de répondre de manière adaptée aux obstacles identifiés. Cette articulation entre les registres de difficultés est proposée comme une lecture interprétative, cohérente avec les données, sans prétention causale. À ce propos, la présente étude mobilise le cadre théorique de la pédagogie inclusive, notamment les principes de la Conception Universelle de l'Apprentissage (CUA) pour deux raisons complémentaires : d'une part, il



offre un cadre explicite pour penser la diversité des profils étudiants comme une caractéristique constitutive plutôt qu'une anomalie à corriger ; d'autre part, il fournit une structure opérationnelle pour formuler des recommandations pédagogiques et institutionnelles réalistes, contextualisées et ancrées dans la valorisation identitaire. L'enjeu consiste à montrer que les difficultés rencontrées par les étudiants ne relèvent pas uniquement de caractéristiques individuelles, mais appellent une conception pédagogique capable d'anticiper la diversité des profils tout en faisant du patrimoine culturel local un moteur d'apprentissage et d'engagement.

– **Structure de l'article** : après une présentation du cadre théorique et de la méthodologie, les résultats de l'enquête empirique sont exposés selon trois axes : profils apprenants, catégorisation des obstacles, attitudes enseignantes. La section Discussion interprète ces résultats à la lumière de la littérature et conduit à des recommandations structurées selon les trois principes de la CUA, avant une conclusion ouvrant sur les perspectives d'une formation en modélisation 3D plus inclusive et sur son potentiel de valorisation du patrimoine tunisien.

2. Cadre théorique

2.1 La modélisation 3D dans la formation en design produit

2.1.1 Compétences visées et spécificités didactiques

La formation en design produit vise bien plus que la maîtrise d'un logiciel. Elle cherche à développer une compétence synergique où se combinent raisonnement spatial, pensée systémique, sens des contraintes techniques, fonctionnelles et esthétiques. Cross (2006) désigne cela par l'expression *designerly way of knowing* : une façon de connaître particulièrement développée chez le designer, fondée sur la capacité à traiter des problèmes mal définis, à raisonner de manière abductive et à s'appuyer sur des médias de modélisation non verbaux (croquis, maquettes, prototypes). Maîtriser la modélisation 3D suppose d'articuler plusieurs types de connaissances selon la taxonomie révisée de Bloom (Anderson & Krathwohl, 2001 ; Krathwohl, 2002) : les savoirs factuels (concepts géométriques fondamentaux), les savoirs conceptuels (relations entre ces concepts et les structures qu'ils forment), les savoirs procéduraux (techniques opérationnelles, incluant les critères pour choisir la procédure adaptée à une situation donnée), et les savoirs métacognitifs (conscience de ses propres stratégies d'apprentissage et de ses forces et limites en tant qu'apprenant).

À ces trois dimensions s'ajoute la compétence spatiale, dont Buckley, Seery & Canty (2018) proposent un cadre heuristique fondé sur le modèle CHC (*Cattell–Horn–Carroll*), distinguant notamment la visualisation spatiale (rotation et transformation mentale d'objets) et l'orientation spatiale (prise de perspective dans l'espace). Ces capacités jouent un rôle central dans les tâches de modélisation 3D et peuvent être développées par l'enseignement (Darwish, Kamel & Assem, 2023 ; Šafhalter, Glodež, Šorgo & Ploj Virtič, 2022).

Encore faut-il savoir comment ces compétences se construisent réellement. C'est là que les exigences didactiques de la modélisation 3D révèlent toute leur singularité. Enseigner ce domaine, c'est accepter d'emblée que l'on ne transmet pas seulement un outil : on accompagne une transformation progressive du regard et de la pensée.

Cette transformation ne peut s'opérer que si l'on renonce à brûler les étapes. La progressivité n'est pas ici une précaution pédagogique parmi d'autres : c'est une nécessité cognitive. Confronter trop tôt un étudiant à la complexité simultanée d'une interface, d'une



logique paramétrique et d'un problème de conception revient à le condamner à gérer une surcharge qui bloque tout apprentissage en profondeur. Sweller l'a montré de façon convaincante : lorsque les ressources cognitives sont saturées par la gestion du nouveau, la mémoire de travail ne dispose plus de capacité disponible pour l'acquisition de schémas, c'est-à-dire pour la construction de connaissances durables (Sweller, 1988 ; Sweller, Van Merriënboer & Paas, 1998). Le parcours doit donc s'ouvrir sur des formes simples et des contraintes lisibles, avant de gagner peu à peu en complexité géométrique et procédurale.

Progresser techniquement sans comprendre ce que l'on modélise ne mène cependant nulle part. C'est pourquoi l'articulation entre théorie et pratique constitue l'autre exigence structurante de cet enseignement. Un étudiant qui ignore ce que signifie une cote fonctionnelle, une tolérance ou une relation d'assemblage manipulera le logiciel comme une boîte noire, efficacement peut-être, mais sans capacité de transfert vers d'autres situations. Les travaux en didactique professionnelle ont montré que la construction de compétences mobilisables repose sur une articulation entre forme opératoire et forme prédicative de la connaissance : l'activité pratique ne consiste pas à appliquer la théorie, mais à construire, à partir d'elle, un modèle opératif progressivement généralisable (Pastré, Mayen & Vergnaud, 2006). Cette double exigence de progressivité et d'ancrage conceptuel trouve son cadre naturel dans l'apprentissage par projet. Modéliser pour modéliser ne suffit ni à motiver ni à former. En revanche, modéliser pour concevoir un objet du quotidien, restituer un artefact patrimonial ou répondre à un brief de design relève d'une logique pédagogique fondamentalement différente. La situation-problème authentique et mal structurée place l'étudiant dans une posture de conception active, où la technique devient un moyen et non une fin (Jonassen, 1999). C'est dans ces contextes que peuvent se développer les savoirs conditionnels, soit la capacité à identifier et mobiliser la stratégie la plus adaptée à une contrainte donnée (Tardif, 1992). Jonassen (1999) soutient que ce cadre vise à favoriser l'engagement, la prise de décision et la mobilisation intégrée des compétences ; sa transposition aux formations en design et en ingénierie reste toutefois à ce jour insuffisamment documentée empiriquement (Hmelo-Silver, 2004).

La progressivité pédagogique et l'apprentissage par projet ne suffisent pas à lever une difficulté persistante : celle de la visualisation spatiale. Traduire une idée, un croquis ou une forme réelle en représentation numérique tridimensionnelle suppose des capacités de rotation mentale et d'orientation spatiale qui varient sensiblement d'un étudiant à l'autre au sein d'une même promotion, notamment selon le genre et l'expérience préalable (Sorby, 2009). Ces capacités ne s'acquièrent pas spontanément : des recherches en pédagogie de l'ingénierie et du design ont montré qu'elles peuvent être développées par un enseignement structuré et ciblé (Uttal et al., 2013). À cela s'ajoute la logique propre aux logiciels paramétriques, où une décision prise en début de modélisation peut remettre en cause l'ensemble du travail plusieurs heures plus tard, ce qui exige un raisonnement prévisionnel et systémique qui se construit progressivement, à travers l'expérimentation et les retours en arrière assumés.

2.1.2 Les contextes de formation en design 3D : du Global South à l'Afrique du Nord

Les formations en design en Afrique du Nord s'inscrivent dans un héritage pédagogique européen durablement structurant, institutionnalisé après les indépendances à travers des écoles nationales des beaux-arts et des instituts d'arts appliqués (Al-Amri, 2019). Une articulation progressive avec les savoir-faire artisanaux locaux semble s'être opérée, portée



par le développement des industries créatives nationales. Les formations supérieures en design ont depuis évolué vers des structures LMD bac+3/bac+5, intégrées aux systèmes universitaires nationaux (Ghouati, 2009).

Depuis les années 2000, les outils de CAO et de modélisation 3D (Rhinoceros, SolidWorks, Fusion 360) ont été progressivement intégrés aux programmes de formation, tandis que certains établissements se sont dotés d'équipements de fabrication numérique (impression 3D, découpe laser). Cette transition reste cependant profondément inégale selon les contextes nationaux (Krafft & Alawode, 2016) : le Maroc s'appuie sur des partenariats européens et un réseau de fab labs associatifs ; la Tunisie dispose d'instituts spécialisés en design avec une intégration numérique partielle ; l'Égypte, quant à elle, présente des disparités marquées entre établissements publics et privés en termes de ressources et d'équipements. Les obstacles restent structurels : insuffisance des équipements, coût des licences logicielles propriétaires, sous-financement des infrastructures et déficit de formation continue des enseignants. Se pose également la question de l'équilibre pédagogique entre maîtrise technique et développement du sens critique en conception ; tension identifiée comme structurante dans les réformes curriculaires du Global South (Noel, 2022 ; Aschner Rosselli et al., 2025). La Tunisie présente un cas d'étude représentatif : elle dispose d'une tradition de formation en design antérieure aux réformes LMD, d'un corps enseignant partiellement formé à l'international et d'une ouverture aux coopérations euro-méditerranéennes.

Toutefois, l'intégration de la modélisation 3D y demeure insuffisamment outillée et peu articulée avec les pratiques industrielles locales. La Tunisie présente des contraintes structurelles documentées dans l'intégration des outils numériques à l'enseignement supérieur (Sahli, 2024), contraintes caractéristiques des contextes du Global South. Ces contraintes structurelles font de la Tunisie un cas d'étude approprié pour analyser l'adoption des outils numériques dans l'enseignement du design produit.

2.2. Vers une pédagogie inclusive de la modélisation 3D : l'apport de la CUA

Face à l'hétérogénéité des profils étudiants, la transmission des savoir-faire en modélisation 3D ne peut s'appuyer sur des modalités pédagogiques uniformes. C'est dans cette perspective que la pédagogie inclusive est convoquée comme cadre conceptuel. La variabilité des apprenants, dans leurs modes d'engagement, de représentation des savoirs et d'expression, y est appréhendée non comme une contrainte, mais comme une réalité constitutive de tout groupe-classe. Cette reconnaissance appelle une flexibilité dans la conception des objectifs, des méthodes et des évaluations, sans réduire l'accès à des apprentissages exigeants et significatifs (CAST, 2024). Cette approche s'appuie sur la Conception Universelle pour l'Apprentissage (CUA), développée par Rose et Meyer (2002), selon laquelle les difficultés d'apprentissage ne sont pas inhérentes aux capacités des apprenants, mais résultent de leurs interactions avec des méthodes et des environnements pédagogiques rigides et peu flexibles (Rose & Meyer, 2002, cités dans Moore, 2007). La CUA propose d'anticiper cette variabilité grâce à trois principes complémentaires : offrir de multiples moyens de représentation, d'action et d'expression, ainsi que d'engagement (CAST, 2018). Ce cadre a été retenu dans cette étude en raison de son adéquation avec les obstacles identifiés et de sa capacité à intégrer la diversité des profils dès la conception des dispositifs pédagogiques, plutôt que par des adaptations a posteriori, constituant ainsi un



levier reconnu pour renforcer l'engagement et l'accessibilité dans l'enseignement supérieur (Tobin & Behling, 2018).

2.2.1 Multiples moyens de représentation : diagnostiquer et réduire les obstacles cognitifs

Le premier principe de la CUA reconnaît la diversité des modalités d'accès aux savoirs. En modélisation 3D, la complexité des interfaces et la mobilisation simultanée de compétences spatiales et techniques constituent des obstacles pour des apprenants aux profils variés. Diversifier les modes de représentation, qu'il s'agisse de supports visuels, gestuels ou textuels, permet d'anticiper ces barrières et d'améliorer l'accessibilité des apprentissages pour tous (CAST, 2018).

2.2.2 Multiples moyens d'action et d'expression : structurer l'apprentissage procédural et temporel

Le deuxième principe de la CUA reconnaît la variabilité des modalités par lesquelles les apprenants agissent et expriment leurs connaissances (CAST, 2011). En modélisation 3D, il conduit à diversifier les modalités de réalisation et d'évaluation afin de soutenir l'acquisition des compétences procédurales, sans modifier les exigences de formation. La pédagogie différenciée en constitue une traduction opérationnelle.

2.2.3 Multiples moyens d'engagement : soutenir la motivation et l'auto-efficacité

Le troisième principe de la CUA vise à soutenir les dimensions motivationnelles de l'apprentissage, notamment l'autonomie, le maintien de l'effort et de la persistance, et la capacité émotionnelle des apprenants (CAST, 2024). Dans une perspective de pédagogie inclusive, la diversité des profils est considérée comme une ressource nécessitant des modalités d'apprentissage variées. Pour la modélisation 3D, l'intégration de références culturelles et patrimoniales dans les activités peut renforcer la signification des apprentissages en reliant les compétences techniques à des contextes familiers et porteurs de sens. La représentation numérique d'objets ou de formes issus du patrimoine local constitue ainsi une piste pour favoriser l'implication des étudiants tout en articulant acquisition des compétences, création et valorisation culturelle.

3. Méthodologie

Cette recherche adopte une approche mixte combinant des données qualitatives et quantitatives afin d'examiner les difficultés rencontrées par les étudiants dans l'apprentissage de la modélisation 3D. Le recours à plusieurs instruments de collecte vise à assurer une triangulation des données en croisant les pratiques observées, les discours des acteurs et les tendances quantitatives issues du questionnaire.

– **Observation directe et participante** : L'observation a été réalisée au cours de quatre séances de travaux dirigés organisées à la fin du semestre 4 de l'année universitaire 2023/2024. Chaque séance avait une durée de quatre heures, représentant un total de seize heures d'observation. Industrielles ont concerné les trois groupes de la promotion : les deux groupes de la spécialité Création industrielle et le groupe de la spécialité Mobilier. Elles se sont déroulées dans le cadre des enseignements d'Infographie spécifique (AutoCAD) et de Représentation technique (Rhinoceros 6). L'observateur a adopté une posture semi-discrète, participant occasionnellement aux échanges afin de demander des précisions ou d'approfondir certains phénomènes observés. Les données ont été recueillies sous forme de prises de notes en situation, sans recours à une grille d'observation formalisée, afin de



préservé la flexibilité nécessaire à l'exploration des interactions pédagogiques et des difficultés émergentes. Les observations ont ensuite été confrontées aux données issues des entretiens et du questionnaire dans une logique de triangulation. Cette immersion a permis de documenter les situations d'apprentissage en temps réel, les difficultés rencontrées par les étudiants ainsi que les modalités d'accompagnement mises en œuvre par les enseignantes.

– **Entretiens semi-directifs** : Des entretiens semi-directifs ont été menés auprès de 32 étudiants volontaires sur les 44 étudiants de la promotion, ainsi qu'auprès des deux enseignantes responsables des enseignements observés. Réalisés en présentiel, les entretiens ont eu une durée moyenne comprise entre 10 et 15 minutes. Ils portaient principalement sur les difficultés rencontrées dans l'apprentissage des logiciels de modélisation 3D, les stratégies mobilisées pour les surmonter, les contraintes matérielles et temporelles, ainsi que les perceptions des pratiques pédagogiques mises en œuvre.

– **Questionnaire en ligne** : Un questionnaire bilingue (français/arabe) a été diffusé à l'ensemble de la promotion (n = 44). Sur les 44 étudiants sollicités, 32 ont complété le questionnaire, constituant l'échantillon retenu pour cette étude. Ce questionnaire comportait principalement des questions fermées à choix multiples ainsi que quelques questions ouvertes visant à recueillir des commentaires complémentaires, dont les réponses ont été codées thématiquement et intégrées à l'analyse. Le questionnaire portait notamment sur l'expérience préalable en modélisation 3D, le niveau de motivation, les difficultés rencontrées, l'accès aux ressources numériques et les attentes pédagogiques des étudiants.

– **Traitement des données** : Les données qualitatives issues des observations, des entretiens et des réponses ouvertes du questionnaire ont été analysées par codage thématique manuel sous Excel selon une démarche inductive. Cette analyse a permis de faire émerger plusieurs catégories de difficultés liées à l'apprentissage de la modélisation 3D : obstacles cognitifs, procéduraux, non cognitifs et structurels. Les données quantitatives ont été traitées à l'aide de statistiques descriptives et de tableaux croisés dynamiques (TCD) afin d'identifier les tendances générales et d'examiner les associations entre certaines variables, notamment l'expérience préalable, la motivation, l'accès aux ressources numériques et la fréquence des difficultés rencontrées.

– **Triangulation des données** : La triangulation a été réalisée par confrontation systématique des résultats issus des observations, des entretiens et du questionnaire. Cette démarche visait à renforcer la crédibilité de l'analyse en vérifiant la convergence des informations recueillies à partir de sources différentes et en mettant en relation les causes et les manifestations des difficultés observées.

– **Contexte d'apprentissage** : Les enseignements observés se déroulent dans des salles informatiques équipées d'ordinateurs fixes disposant des versions assez récentes des logiciels utilisés. Certaines salles sont également dotées d'un dispositif de projection permettant aux enseignantes de réaliser des démonstrations en direct et d'accompagner collectivement les étudiants lors des séances pratiques.

4. Résultats

4.1 Profils et contexte numérique des apprenants

L'analyse du profil général des 32 étudiants révèle une hétérogénéité significative en termes d'expérience préalable avec les outils de modélisation 3D. Comme illustré dans la Figure 1, une majorité de 62,5 % (n = 20) n'avait aucune expérience préalable de ces logiciels, tandis que 37,5 % (n = 12) déclaraient une familiarité préexistante, de niveau variable, allant de notions de base à une maîtrise partielle. Cette asymétrie de départ constitue l'un des principaux facteurs d'hétérogénéité pédagogique à prendre en compte dans la conception des dispositifs d'enseignement.

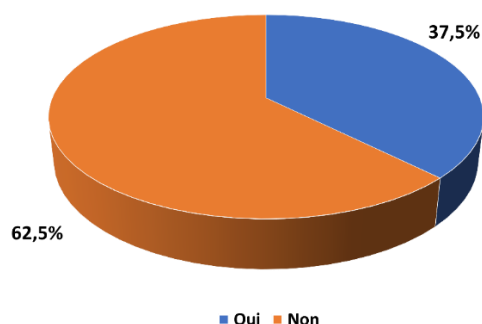


Figure 1. Antécédents d'expérience avec des logiciels de modélisation 3D (n = 32).

Source : enquête par questionnaire, 2023/2024.

Concernant l'accès aux ressources numériques à domicile, la Figure 2 montre que 81,3 % des étudiants disposaient à la fois d'un ordinateur personnel et d'une connexion internet, ce qui favorise la poursuite de l'apprentissage en dehors des heures de cours. En revanche, 12,5 % n'avaient qu'un ordinateur sans connexion, et 6,2 % présentaient des limitations encore plus importantes (connexion sans ordinateur, ou ni l'un ni l'autre). Ces inégalités d'équipement, bien que minoritaires, justifient une vigilance particulière quant à l'égalité d'accès aux ressources pédagogiques.

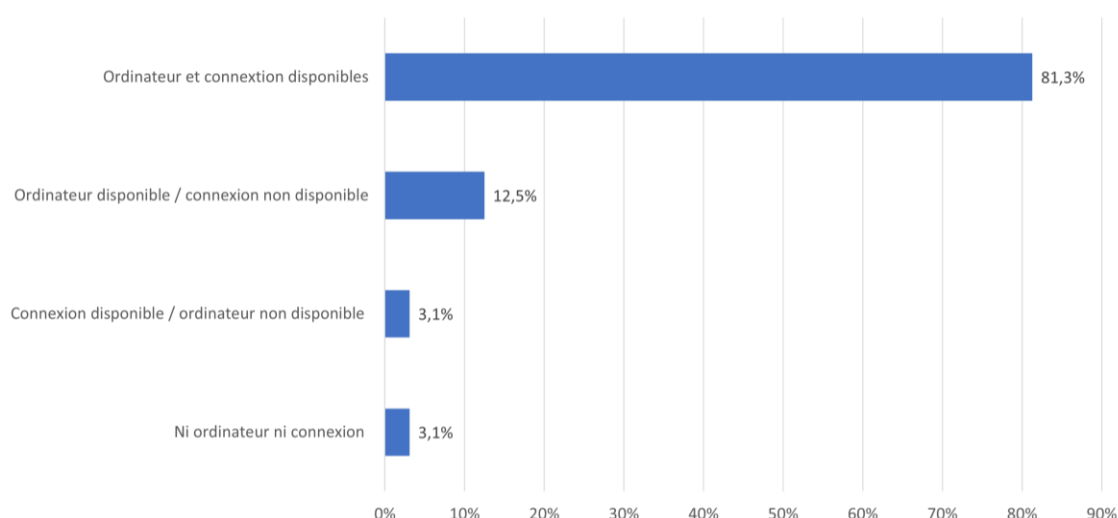


Figure 2. Disponibilité d'un ordinateur personnel et/ou d'une connexion internet à domicile (n = 32). Source : enquête par questionnaire, 2023/2024.

La fréquence d'utilisation des ressources en ligne, détaillée dans le Tableau 1, confirme un ancrage significatif dans l'auto-apprentissage informel : 37,5 % des étudiants consultent des tutoriels ou forums au moins une fois par semaine, 18,8 % quotidiennement, 25 % quelquefois par mois et 18,8 % rarement. L'analyse croisée montre une association positive entre disponibilité de l'équipement informatique complet et fréquence d'utilisation des ressources en ligne (81,25 % des utilisateurs fréquents disposent des deux ressources).

Tableau 1. Fréquence d'utilisation des ressources en ligne pour l'apprentissage de ces logiciels (n = 32).

Fréquence d'utilisation	% d'étudiants	N (sur 32)
Une fois par semaine	37,5 %	12
Quelquefois par mois	25,0 %	8
Quotidiennement	18,8 %	6
Rarement	18,8 %	6

Par ailleurs, 81,3 % des répondants déclaraient mobiliser leurs compétences 3D dans d'autres matières, témoignant d'une intégration transversale spontanée de ces savoir-faire au sein du parcours académique.

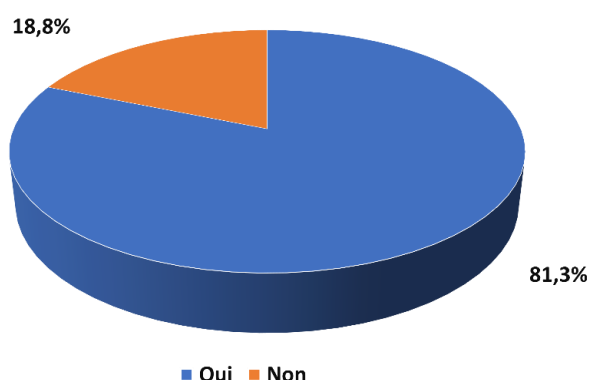


Figure 3. Proportion d'étudiants mobilisant les connaissances en logiciels 3D dans d'autres matières (n = 32). Source : enquête par questionnaire, 2023/2024.

Le niveau de motivation envers les logiciels de modélisation s'avère globalement modéré, comme le montre la Figure 4 : 40,6 % se positionnent au niveau intermédiaire (3/5), 28,1 % au niveau 4 et 15,6 % au niveau maximal (5/5), tandis que 15,6 % expriment un faible engagement (niveaux 1 et 2). L'analyse croisée révèle que les étudiants ayant une expérience préalable tendent à se concentrer dans les niveaux d'engagement élevés (niveaux 4-5 : 28,13 %), ce qui suggère, dans cet échantillon, un lien entre familiarité préalable et dynamique motivationnelle. Ce résultat souligne l'importance d'une initiation précoce aux outils numériques dès la première année de formation.

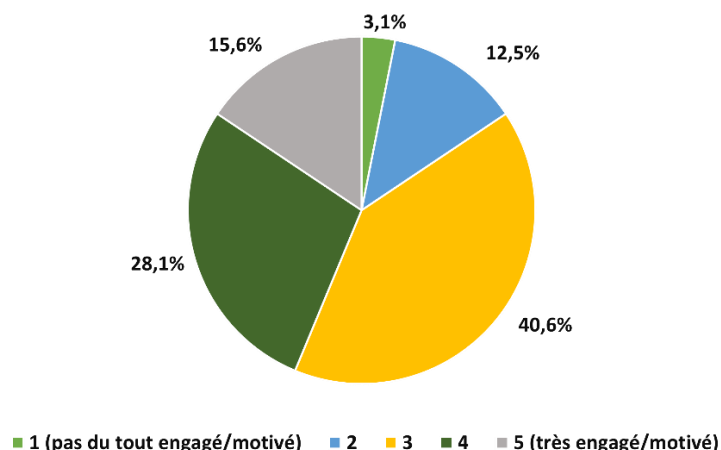


Figure 4. Degré d'engagement et de motivation envers les logiciels de modélisation 3D (n = 32, échelle de 1 à 5). Source : enquête par questionnaire, 2023/2024.

4.2 Perception des logiciels et attentes pédagogiques

Comme l'illustre la Figure 5, AutoCAD est perçu comme le logiciel le plus accessible par 59,4 % des étudiants, contre 37,5 % pour Rhinoceros 6 et 3,1 % estimant qu'aucun des deux n'est particulièrement facile à prendre en main. Cette répartition des préférences logicielles suit la ligne des spécialités : les étudiants en création industrielle privilégient majoritairement AutoCAD (50 %), adapté à la conception technique et aux plans précis, tandis que les étudiants en mobilier montrent une légère préférence pour Rhinoceros 6 (12,5 %), dont les capacités de modélisation de formes organiques correspondent davantage aux exigences de leur spécialité.

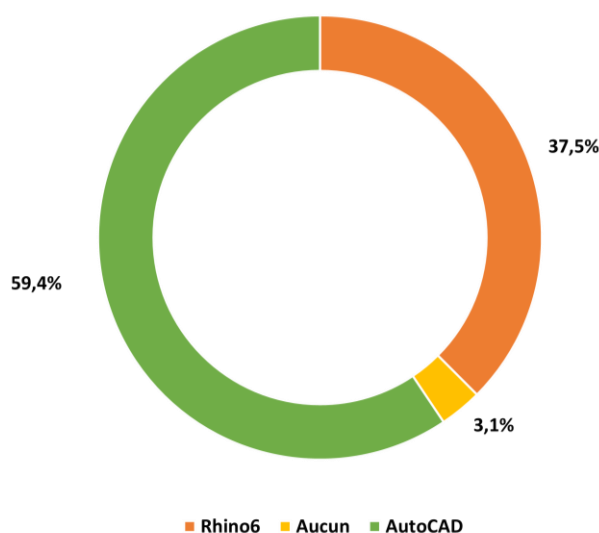


Figure 5. Logiciel 3D perçu comme le plus facile à apprendre selon les étudiants en design produit (n = 32). Source : enquête par questionnaire, 2023/2024.

En matière de supports pédagogiques complémentaires, la Figure 6 révèle que les tutoriels vidéo détaillés arrivent largement en tête des attentes (59,4 %), suivis des guides écrits ou

manuels d'utilisation (28,1 %), des travaux en binôme occasionnels (18,8 %), de la présence de pièces tangibles manipulables (12,5 %) et des séances de soutien personnalisé (3,1 %). Ces données suggèrent un profil d'apprenants en forte demande de supports visuels et auto-rythmés, cohérent avec un mode d'apprentissage informel et asynchrone.

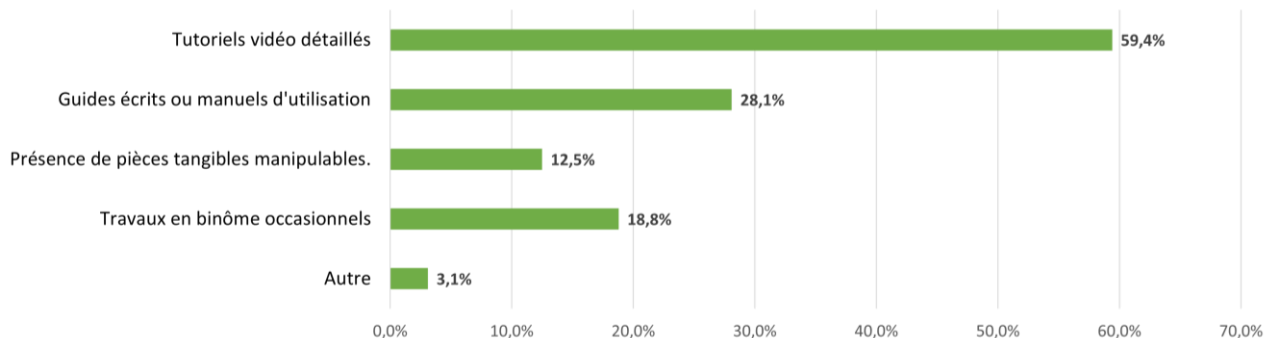


Figure 6. Supports pédagogiques supplémentaires souhaités pour accompagner l'apprentissage de la modélisation 3D (n = 32). Source : enquête par questionnaire, 2023/2024.

L'évaluation globale de l'expérience d'apprentissage 2023/2024, illustrée dans la Figure 7, révèle une satisfaction mitigée : 15,6 % jugent leur expérience très positive, 37,5 % plutôt positive, 34,4 % neutre et 12,5 % plutôt négative. Aucun étudiant n'exprime une expérience très négative. L'analyse croisée confirme un lien, dans cet échantillon, entre niveau de motivation et évaluation positive : les étudiants très engagés (niveaux 4-5) évaluent majoritairement leur expérience positivement, tandis que les étudiants neutres ou négatifs se concentrent dans les niveaux d'engagement faibles à moyens.

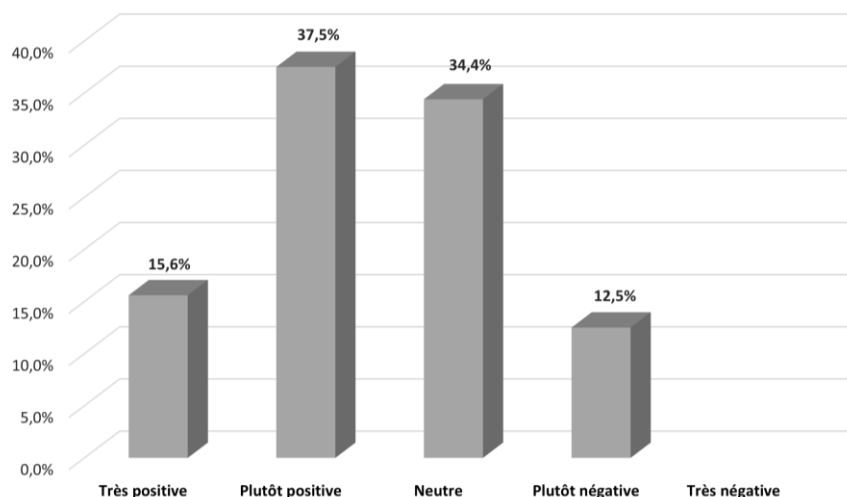


Figure 7. Évaluation de l'expérience d'apprentissage des logiciels 3D au cours de l'année 2023/2024 (n = 32). Source : enquête par questionnaire, 2023/2024.

4.3 Catégorisation des obstacles à l'apprentissage

La totalité de l'échantillon rapporte avoir rencontré des difficultés au cours de son apprentissage : 31,3 % de façon régulière, 50 % occasionnellement et 18,8 % rarement, comme illustré dans la Figure 8. L'absence de réponse « jamais » confirme le caractère

systémique des obstacles rencontrés dans l'apprentissage de la modélisation 3D et justifie une analyse approfondie de leur nature.

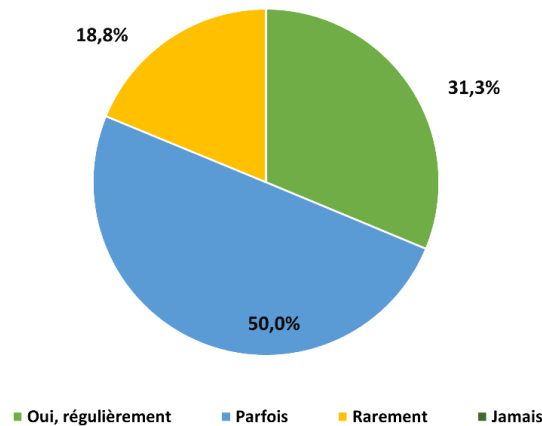


Figure 8. Fréquence des difficultés rencontrées lors de la modélisation 3D (n = 32).

Source : enquête par questionnaire, 2023/2024.

Tableau 2. Types de difficultés rencontrées lors de la modélisation 3D, par ordre décroissant (n = 32).

Type de difficulté	% d'étudiants	N (sur 32)
Complexité du logiciel de modélisation	46,9 %	15
Planification et séquençage des étapes	37,5 %	12
Difficultés de résolution de problèmes	31,3 %	10
Visualisation spatiale	21,9 %	7

4.3.1 Obstacles cognitifs

Comme le synthétise le Tableau 2, la complexité des logiciels de modélisation constitue l'obstacle principal, cité par 46,9 % des étudiants. Cette complexité se manifeste à plusieurs niveaux : densité des interfaces, multiplicité des commandes, nécessité d'intégrer simultanément des concepts géométriques et des fonctionnalités avancées. Elle est d'autant plus marquée pour les étudiants sans expérience préalable, qui doivent construire simultanément des savoirs déclaratifs, procéduraux et spatiaux.

Les difficultés de visualisation spatiale arrivent en deuxième position (21,9 %), soulignant le déficit de compétence spatiale de certains apprenants face à la conceptualisation mentale d'objets tridimensionnels. Ce résultat est cohérent avec la littérature, qui établit un lien direct entre niveau de compétence spatiale et performance en modélisation 3D (Branoff & Dobelis, 2012). L'absence d'évaluation préalable de ces capacités dans le dispositif de formation révèle une lacune pédagogique significative.

4.3.2 Obstacles non cognitifs

31,3 % des étudiants déclarent rencontrer des difficultés récurrentes dans la résolution de problèmes imprévus lors des séances de modélisation. L'analyse croisée révèle que les étudiants fortement motivés (niveaux 4-5) présentent une fréquence de difficultés

significativement plus faible (6,25 % de difficultés régulières) que les étudiants peu motivés (12,5 % au niveau 2). Ces données suggèrent, dans cet échantillon, un rôle de la motivation intrinsèque dans la capacité à persévérer face aux obstacles (Froiland et al., 2012).

La gestion du temps constitue un second obstacle non cognitif majeur : 34,4 % des étudiants mentionnent une difficulté à respecter les délais impartis pour la réalisation des pièces 3D. Cette pression temporelle peut entraver la qualité du travail en induisant une précipitation dans les étapes techniques, ou au contraire une procrastination face à la complexité perçue de la tâche.

4.3.3 Obstacles procéduraux

37,5 % des étudiants déclarent éprouver des difficultés dans la planification et le séquençage des étapes de création d'un modèle 3D. Cet obstacle procédural renvoie à une incapacité à organiser méthodiquement le processus de modélisation, depuis la conception du schéma initial jusqu'à la finalisation du rendu, indépendamment du niveau de maîtrise logicielle. Il traduit un déficit de pensée procédurale appliquée à la conception et peut être rapproché des difficultés de gestion de projet observées dans d'autres contextes de formation technique.

4.3.4 Obstacles structurels

Au-delà des obstacles individuels, des contraintes structurelles pèsent sur l'ensemble du dispositif. Le Tableau 3 en propose une synthèse : 40,6 % des étudiants déplorent un temps insuffisant pour pratiquer et expérimenter avec les logiciels ; 37,5 % signalent un manque de ressources matérielles adéquates (ordinateurs, tablettes, salles équipées) ; 34,4 % estiment que les méthodes d'enseignement actuelles ne répondent pas à leurs besoins pratiques.

Tableau 3. Principaux défis et limites structurelles dans l'apprentissage des logiciels 3D (n = 32).

Défi / Limite structurelle	% d'étudiants	N (sur 32)
Temps insuffisant pour pratiquer et expérimenter	40,6 %	13
Manque de ressources matérielles adéquates	37,5 %	12
Défi lié à la méthode d'enseignement	34,4 %	11
Difficulté à respecter le temps alloué	34,4 %	11

4.4 Attitudes et stratégies des enseignantes face aux obstacles

L'observation directe des séances montre que les deux enseignantes responsables des cours observés, disposant d'une expertise en ingénierie et en modélisation 3D, orientent principalement leurs interventions pédagogiques vers les obstacles cognitifs et techniques explicites : démonstrations interactives pas à pas, explications détaillées des commandes logicielles et accompagnement individualisé lors des phases de pratique. Ces modalités d'intervention apparaissent particulièrement adaptées au traitement des difficultés directement liées à la maîtrise des outils. Par ailleurs, les obstacles implicites, tels que l'anxiété face à la complexité, le désengagement progressif ou les difficultés d'organisation personnelle, semblent faire l'objet d'une prise en compte ponctuelle. Celle-ci s'appuie essentiellement sur des encouragements et des relances orales, sans s'inscrire dans des



dispositifs pédagogiques explicitement structurés. Cette distinction met en évidence l'intérêt d'une réflexion sur l'intégration plus systématique des dimensions affective et méthodologique de l'apprentissage dans les pratiques d'enseignement.

5. Discussions et Conclusions

5.1 Interprétation des résultats : une logique systémique

Les données recueillies à l'ISAMS invitent à dépasser une lecture additive des difficultés pour en interroger la structure relationnelle. Les obstacles identifiés semblent ne pas constituer des phénomènes strictement parallèles et indépendants. Au sein de cet échantillon, ils paraissent plutôt s'articuler selon un enchaînement plausible. Les déficits cognitifs, liés à la complexité perçue de l'interface logicielle (46,9 %) et à une insuffisance de la compétence spatiale (21,9 %), apparaissent ainsi associés à une surcharge cognitive susceptible de fragiliser la capacité des étudiants à planifier et à séquencer les étapes de modélisation (37,5 %). Cette désorganisation procédurale semble à son tour contribuer à un sentiment d'incompétence pouvant amplifier les obstacles non cognitifs : découragement, perte d'engagement et anxiété face à la complexité perçue de la tâche. Cette lecture systémique demeure une interprétation heuristique, que la taille de l'échantillon et le caractère exploratoire de l'étude ne permettent pas de confirmer au sens causal strict.

La mise en relation des variables recueillies permet d'éclairer plusieurs régularités jusqu'alors implicites dans les pratiques pédagogiques observées. Le lien observé dans cet échantillon entre niveau de motivation et fréquence des difficultés ne doit pas être interprété comme une simple co-variation statistique : les données suggèrent un rôle possible de la motivation dans la capacité des étudiants à mobiliser des stratégies d'autorégulation face aux obstacles. Les étudiants fortement motivés (niveaux 4-5) présentent une fréquence de difficultés régulières plus faible (6,25 %), ce qui suggère, dans cet échantillon, un lien entre niveau de motivation et fréquence des difficultés rencontrées. Par ailleurs, le fait que 81,3 % des étudiants déclarent mobiliser leurs compétences 3D dans d'autres matières signale que les savoir-faire en modélisation tridimensionnelle acquièrent une fonction instrumentale transversale qui semble renforcer leur ancrage dans la pratique de conception.

La confrontation de ces résultats avec la littérature internationale permet d'en préciser la portée heuristique, en gardant à l'esprit que cette étude porte sur un seul établissement et un échantillon de 32 étudiants. Les tendances observées à l'ISAMS s'inscrivent dans un registre de contraintes structurelles fréquemment documenté pour les établissements d'enseignement supérieur en contexte de ressources limitées. Cependant, ce que la présente étude met en évidence de manière plus spécifique, c'est l'effet différenciateur de ces contraintes selon le profil d'entrée des étudiants : les apprenants sans expérience préalable des logiciels de modélisation (62,5 % de l'échantillon) semblent doublement pénalisés ; par l'asymétrie cognitive de départ et par l'insuffisance des temps de pratique compensatoire. Cette étude apporte un éclairage situé sur ce double phénomène, associant la tendance à l'articulation des obstacles et l'effet potentiellement amplificateur de l'hétérogénéité de départ en l'absence de différenciation anticipatrice. Elle contribue ainsi à documenter un contexte nord-africain encore peu étudié dans la littérature consacrée à l'enseignement inclusif de la modélisation 3D. Ces résultats invitent à considérer les pratiques de modélisation 3D comme participant à un ensemble de savoirs, de savoir-faire et de modes de conception transmis au sein de la formation en design. Garantir une formation inclusive



et équitable en modélisation 3D, c'est donc, au-delà d'une adaptation des dispositifs d'enseignement, assurer les conditions de transmission et de renouvellement d'un capital de pratiques projectuels qui constitue l'un des fondements de la culture professionnelle du design produit.

5.2 Pistes d'action contextualisées à valider pour l'ISAMS : une lecture par les trois principes de la CUA

Cette section propose dix pistes d'action organisées selon les trois principes de la Conception Universelle de l'Apprentissage (CUA). Chacune établit une correspondance entre un obstacle empiriquement identifié dans ce contexte spécifique et une action pédagogique ou institutionnelle envisageable. Ces propositions sont à considérer comme des pistes contextualisées, adaptées à la situation de l'ISAMS et destinées à être évaluées, ajustées et validées dans la pratique.

5.2.1 Principe 1 : Multiples moyens de représentation, réduire complexité logicielle et obstacles cognitifs

– Recommandation 1.1 - Décomposer AutoCAD en trois modules progressifs

- Obstacle ciblé : Complexité logicielle perçue comme insurmontable.
- Mise en œuvre : Apprendre des logiciels 3D plus intuitifs et innovants (n = 4), explorer des logiciels permettant des rendus plus avancés (n = 2) et introduire l'apprentissage des logiciels 3D dès la première année de licence (n = 2).
- Structurer les 8 semaines en trois blocs distincts : (A) Interface et navigation [semaines 1-2] ; (B) Commandes de dessin 2D essentielles [semaines 3-5] ; (C) Représentation technique avancée [semaines 6-8]. Chaque bloc intègre un objet de référence patrimonial progressivement plus complexe : élévation d'une porte de médina (A), plan d'une maison à patio sfaxienne (B), coupe technique d'un claustra moucharabieh (C).
- Justification théorique : La surcharge cognitive décroît significativement avec la segmentation des procédures complexes (Rey et al., 2019). L'ancrage dans des objets culturels familiers réduit la charge cognitive extrinsèque tout en augmentant la pertinence perçue des apprentissages.

– Recommandation 1.2 - Produire des tutoriels vidéo enregistrés par les enseignants

- Obstacle ciblé : 59,4 % demandent des tutoriels vidéo détaillés ; insuffisance de ressources explicatives adaptées.
- Mise en œuvre : Produire une série de tutoriels vidéo dans lesquels les enseignantes modélisent des objets étape par étape. Ces vidéos peuvent inclure volontairement des erreurs courantes et leur correction, normalisant ainsi l'erreur comme étape d'apprentissage.
- Justification théorique : L'environnement d'apprentissage par vidéo asynchrone mobilise les processus centraux de l'autorégulation y compris planification, contrôle métacognitif et régulation de la charge cognitive (Cohen et al., 2026).

– Recommandation 1.3 - Remplacer les solides géométriques abstraits par des maquettes d'artefacts patrimoniaux locaux sfaxiennes

- Obstacle ciblé : 21,9 % déclarent des difficultés persistantes de visualisation spatiale.



- Mise en œuvre : Remplacer les solides géométriques abstraits (cubes, sphères, cônes) par une collection d'artefacts patrimoniaux sfaxiens imprimés en 3D ou produits par les ateliers de l'ISAMS : jarres en céramique, panneaux de moucharabieh en résine, fragments de mosaïque, miniatures de la Médina arabe de Sfax (arcs, colonnes, muqarnas). En début de chaque séance Rhinoceros (5-10 minutes), les étudiants manipulent physiquement ces objets, les esquissent de mémoire sous différentes vues orthogonales, puis les modélisent numériquement. Cette progression concrète numérique ancre la compétence spatiale dans un référentiel culturel identitaire.
- Justification théorique : La valorisation de l'identité culturelle des étudiants constitue une ressource psychologique active qui renforce leur auto-efficacité créative face aux exigences cognitives des apprentissages complexes en design (Wang & Li, 2026).

5.2.2 Principe 2 : Multiples moyens d'action et d'expression, réduire obstacles procéduraux, temporels et matériels

– **Recommandation 2.1 - Feuille de route obligatoire avant chaque exercice**

- Obstacle ciblé : 37,5 % ne planifient pas les étapes.
- Mise en œuvre : Avant chaque séance de modélisation, les étudiants complètent une fiche de décomposition structurée en trois colonnes : (1) Analyse de l'objet à modéliser : identification des formes géométriques de base, des symétries, des logiques constructives (particulièrement pertinent pour les objets patrimoniaux) ; (2) Séquençage des opérations logicielles ; (3) Points de contrôle intermédiaires et critères de validation.
- Justification théorique : La décomposition d'une tâche complexe en sous-étapes séquencées avec des critères de validation intermédiaires constitue un principe fondamental du design d'instruction pour l'apprentissage complexe (van Merriënboer et al., 2025).

– **Recommandation 2.2 - Binômes avec inversion de rôles hebdomadaire**

- Obstacle ciblé : 31,3 % peinent à résoudre les problèmes imprévus seuls.
- Justification théorique : Dans les environnements de modélisation CAD, le travail collaboratif en binôme améliore la qualité des productions et favorise la coordination face aux difficultés techniques (Šklebar et al., 2025).

– **Recommandation 2.3 - Organisation de créneaux hebdomadaires d'accès libre aux salles de pratique, encadrés par un moniteur étudiant**

- Obstacle ciblé : 40,6 % manquent de temps de pratique institutionnel ; 37,5 % signalent un manque de ressources matérielles adéquates (ordinateurs, tablettes, salles équipées).
- Mise en œuvre : Organiser des créneaux hebdomadaires d'accès libre aux salles informatiques existantes, encadrés par un moniteur étudiant de niveau supérieur. En parallèle, une démarche institutionnelle auprès de la direction de l'ISAMS est recommandée pour planifier, à moyen terme, le renouvellement ou l'extension du parc informatique et l'équipement de salles dédiées ; contrainte structurelle signalée par plus d'un tiers de l'échantillon et qui conditionne l'efficacité de toutes les autres pistes proposées.
- Justification théorique : Les laboratoires informatiques collectifs constituent le principal levier d'inclusion numérique dans les contextes à ressources contraintes, à



condition que leur déploiement s'accompagne de la préparation de ressources humaines locales capables d'encadrer les usagers.

– **Recommandation 2.4 - Mise en place d'une évaluation formative structurée en plusieurs étapes intermédiaires (quatre rendus progressifs au lieu d'une seule remise finale)**

- Obstacle ciblé : 34,4 % peinent à respecter les délais.
- Justification théorique : Le soutien pédagogique efficace repose sur le fractionnement de la charge cognitive et la construction progressive de schémas, par des comportements d'orientation de l'attention (*cueing*) et de connexion aux connaissances antérieures (*chunking*) (van Nooijen et al., 2024).

5.2.3 Principe 3 : Multiples moyens d'engagement — réduire obstacles affectifs et motivationnels par valorisation identitaire

– **Recommandation 3.1 - Test rapide de compétences spatiales (10 min, semaine 1)**

- Obstacle ciblé : Les difficultés spatiales (21,9 %) ne sont pas diagnostiquées.
- Mise en œuvre : Administrer en semaine 1 un test de rotation mentale et de vues orthogonales basé sur des objets culturels familiers (ustensiles en bois d'olivier, bijoux traditionnels sfaxiens) plutôt que sur des solides géométriques abstraits. Les résultats permettent d'identifier les étudiants à risque pour un accompagnement ciblé.
- Justification théorique : La compétence de visualisation spatiale constitue un prérequis identifiable et traitable de la performance en design (Cho & Suh, 2019).

– **Recommandation 3.2 - Développer un projet semestriel ancré dans le patrimoine et la culture matérielle sfaxienne**

- Obstacle ciblé : Faible motivation intrinsèque (40,6 % neutres/négatifs).
- Mise en œuvre : Structurer le projet semestriel autour d'une problématique patrimoniale concrète, en partenariat avec le Musée archéologique de Sfax ou les associations artisanales locales (modélisation 3D d'objets en bois d'olivier, de bijoux traditionnels ou d'éléments du costume traditionnel sfaxien). Les étudiants choisissent un artefact patrimonial le documentent photographiquement, le mesurent, le modélisent en 3D selon les techniques étudiées pour les éléments architecturaux plans, Rhinoceros pour les formes volumétriques et les objets de révolution), puis produisent une documentation numérique archivable. Ce projet constitue un acte concret de médiation et de valorisation patrimoniale.
- Justification théorique : L'ancrage d'un projet de conception dans le patrimoine matériel local constitue un levier motivationnel reconnu : intégrer le patrimoine vivant dans les activités pédagogiques rend l'apprentissage plus significatif et plus motivant, ce qui se traduit par de meilleurs résultats (UNESCO, 2021).

– **Recommandation 3.3 - Mettre en place une permanence « aide rapide »**

- Obstacle ciblé : 31,3 % rencontrent des blocages imprévus lors de l'apprentissage des logiciels 3D.
- Mise en œuvre : Mettre en place un dispositif d'accompagnement ponctuel (enseignant, tuteur ou pair référent) permettant de débloquer rapidement les difficultés techniques rencontrées lors des activités de modélisation.



- Justification théorique : Dans le contexte de l'enseignement primaire et secondaire, le tutorat individualisé constitue un levier empiriquement validé d'amélioration des apprentissages, opérant notamment par la personnalisation du contenu et la rétroaction immédiate (Nickow et al., 2020).
- **Recommandation 3.4 - Défis de conception patrimoniale valorisés par reconnaissance des acquis.**
 - Obstacle ciblé : Faible confiance dans ses capacités à surmonter les difficultés rencontrées.
 - Mise en œuvre : Organiser chaque semestre un défi de modélisation patrimoniale ouvert à toute la promotion : reconstruction 3D d'un élément architectural de la médina de Sfax, modélisation d'un objet de la collection du Musée archéologique, reverse engineering d'une pièce artisanale locale. Les meilleures réalisations sont exposées à l'ISAMS et éventuellement transmises au musée partenaire. La visibilité culturelle de ces réalisations constitue une reconnaissance symbolique puissante, au-delà de la seule évaluation académique.
 - Justification théorique : Les compétitions créatives stimulent la motivation des étudiants en design par la valorisation publique de leurs productions (Berdnik et al., 2017).

6. Limites de l'étude

Cette étude présente plusieurs limites à prendre en considération. La taille réduite de l'échantillon ($n = 32$) et le caractère mono-institutionnel du terrain limitent la généralisabilité des résultats : les tendances dégagées ne peuvent prétendre représenter ni la Tunisie dans son ensemble, ni un contexte nord-africain au sens large. Elles documentent une situation particulière à l'ISAMS de Sfax et ont une valeur heuristique plutôt que confirmatoire. La période d'observation, restreinte à un cycle académique, ne permet pas de saisir les évolutions longitudinales des compétences et des attitudes. Enfin, l'auto-déclaration des difficultés via questionnaire introduit un biais potentiel de désirabilité sociale, et l'absence de suivi des effets des dispositifs proposés sur les performances réelles des étudiants constitue une limite méthodologique importante. Des études comparatives impliquant plusieurs établissements tunisiens ou maghrébins, et des protocoles longitudinaux, permettraient de renforcer la robustesse des conclusions. Par ailleurs, si plusieurs recommandations formulées évoquent l'ancrage de la formation dans le patrimoine culturel sfaxien comme levier motivationnel, le lien entre maîtrise de la modélisation 3D, enseignement du design produit et applications futures en matière de valorisation patrimoniale n'a pas été empiriquement évalué dans le cadre de la présente étude. Ces pistes constituent des propositions pédagogiques hypothétiques, non testées empiriquement : aucune donnée de l'étude ne porte sur des effets observés de dispositifs de médiation patrimoniale. Leur inclusion dans l'article relève d'une réflexion prospective et d'un programme de recherche à venir, non d'un résultat empirique. Cette articulation constitue une perspective de développement pédagogique et de recherche à explorer dans des travaux ultérieurs.

7. Conclusion et perspectives

Cette étude exploratoire **fait** partie d'un constat simple : apprendre la modélisation 3D à l'ISAMS ne va pas de soi, et les difficultés que rencontrent les étudiants ne s'expliquent pas



par de simples lacunes individuelles. L'enquête menée auprès de 32 étudiants de deuxième année de licence en design produit, à travers une méthodologie mixte combinant observation participante, entretiens semi-directifs et questionnaire, a permis de mieux comprendre la nature et l'articulation de ces difficultés. Les résultats montrent que les obstacles cognitifs, procéduraux et non cognitifs ne se manifestent pas de façon isolée. La complexité perçue des interfaces logicielles, les lacunes en visualisation spatiale et les difficultés à planifier les étapes de modélisation semblent se renforcer mutuellement, fragilisant en retour la motivation et la confiance des apprenants. Cette dynamique est d'autant plus marquée que 62,5 % des étudiants abordent cet enseignement sans expérience préalable, dans un contexte institutionnel où le temps de pratique est insuffisant et les ressources matérielles limitées. Ce n'est donc pas un obstacle unique qui entrave l'apprentissage, mais un enchaînement de difficultés qui s'alimentent les unes les autres, et que les pratiques pédagogiques actuelles ne parviennent pas toujours à anticiper. C'est précisément pour répondre à cette réalité que le cadre de la Conception Universelle de l'Apprentissage (CUA) a été mobilisé. Plutôt que de traiter les difficultés au cas par cas, il invite à concevoir des dispositifs capables d'accueillir la diversité des profils dès le départ. Les dix recommandations formulées selon ses trois principes s'inscrivent dans cette logique : elles ne visent pas à alléger les exigences de la formation, mais à construire des conditions d'accès plus équitables à des apprentissages qui restent exigeants. L'ancrage dans le patrimoine artisanal et architectural sfaxien y joue un rôle particulier : en substituant aux exercices sur solides géométriques abstraits des activités de modélisation d'objets culturellement familiers, il s'agit de donner du sens à l'apprentissage technique tout en soutenant la motivation des étudiants. Ces recommandations restent cependant des pistes à valider ; leur efficacité devra être éprouvée par des expérimentations conduites en contexte réel, avec le retour des enseignantes concernées. Sur le plan scientifique, cette étude contribue à documenter un contexte nord-africain encore peu représenté dans la littérature consacrée à l'enseignement inclusif des outils numériques en design produit. Elle montre également que le cadre de la CUA peut constituer un outil d'analyse pertinent dans des contextes du Global South, où les contraintes structurelles accentuent les inégalités entre apprenants et rendent d'autant plus nécessaire une pédagogie qui anticipe la variabilité plutôt qu'elle n'y réagit. Ces résultats appellent néanmoins à la prudence. La taille de l'échantillon, le caractère mono-institutionnel de l'enquête et la durée limitée de l'observation ne permettent pas de généraliser les tendances dégagées. Trois axes de prolongement semblent prioritaires. Des études comparatives impliquant plusieurs établissements tunisiens ou maghrébins permettraient de tester la robustesse des mécanismes identifiés. Des protocoles longitudinaux rendraient possible le suivi de l'évolution des compétences spatiales et de la motivation sur l'ensemble du parcours de licence. Enfin, une évaluation rigoureuse des dispositifs patrimoniaux proposés, en termes d'engagement et de compétences effectivement acquises, constitue le prolongement naturel et nécessaire de ce travail. À plus long terme, l'intégration de la modélisation 3D dans des projets de valorisation du patrimoine sfaxien, qu'il s'agisse d'objets archéologiques, artisanaux ou d'éléments architecturaux de la médina, ouvre une perspective pédagogique et culturelle qui mérite d'être explorée. Les environnements de réalité virtuelle et augmentée, de même que les outils adaptatifs basés sur l'intelligence artificielle, pourraient enrichir cette

démarche en permettant des expériences d'apprentissage plus immersives et mieux ajustées aux profils des étudiants (Videla et al., 2024).

Remerciements

Cette recherche n'a bénéficié d'aucune subvention spécifique de la part d'organismes de financement des secteurs public, commercial ou à but non lucratif. L'auteure adresse ses sincères remerciements aux deux enseignantes responsables des cours observés pour leur disponibilité et leur collaboration tout au long de l'enquête de terrain, ainsi qu'aux 32 étudiants de la promotion 2023/2024 en design produit à l'ISAMS pour leur participation engagée à cette recherche.

Conflit d'intérêts

L'auteure déclare qu'il n'y a aucun conflit d'intérêt.

Références Bibliographiques

- Al-Amri, M. (2019). Art and design education in the Middle East and North Africa: A brief historical overview. In R. Hickman (Ed.), *The international encyclopedia of art and design education* (1st ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118978061.ead116>
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (Eds.). (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.
- Aschner Rosselli, J. P., Forero Parra, M. A., & Sarmiento Jaramillo, A. (2025). Decolonizing creative education in the global south. *Design Studies*, 98, Article 101316. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2025.101316>
- Berdnik, T. O., Klimenko, I. A., & Sayapina, L. Y. (2017). Professional creativity competitions as a motivational tool in design education. In S. K. Lo (Ed.), *Education environment for the information age* (pp. 161–167). Future Academy. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2017.08.20>
- Branoff, T. J., & Dobelis, M. (2012). The relationship between spatial visualization ability and students' ability to model 3D objects from engineering assembly drawings. *Engineering Design Graphics Journal*, 76(3), 37–43. <https://doi.org/10.18260/edgi.v76i3.319>
- Buckley, J., Seery, N., & Canty, D. (2018). A heuristic framework of spatial ability: A review and synthesis of spatial factor literature to support its translation into STEM education. *Educational Psychology Review*, 30(3), 947–972. <https://doi.org/10.1007/s10648-018-9432-z>
- CAST. (2011). *Universal Design for Learning guidelines (Version 2.0)*. CAST. <https://udlguidelines.cast.org>
- CAST. (2018). *Universal Design for Learning guidelines (Version 2.2)*. CAST. <https://udlguidelines.cast.org>
- CAST. (2024). *Universal Design for Learning guidelines (Version 3.0)* [Graphic organizer]. CAST. <https://udlguidelines.cast.org>
- Charles, S. (2023). Habiletés spatiales et instruments de mesure. *Carnets de laboratoire – Revue de littérature*, 2, 59–75. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10372142>
- Chester, I. (2007). Teaching for CAD expertise. *International Journal of Technology and Design Education*, 17(1), 23–35. <https://doi.org/10.1007/s10798-006-9015-z>
- Cho, J. Y., & Suh, J. (2019). Understanding spatial ability in interior design education: 2D-to-3D visualization proficiency as a predictor of design performance. *Journal of Interior Design*, 44(3), 141–159. <https://doi.org/10.1111/joid.12143>
- Cohen, A., Ezra, O., Michaeli, E., Cohen, G., Gabbay, H., & Bronshtein, A. (2026). Beyond content delivery: A systematic review of video-based SRL interventions and gaps in explicit motivational and resource-management instruction. *Journal of Intelligence*, 14(2), 33. <https://doi.org/10.3390/jintelligence14020033>



- Cross, N. (1982). Designerly ways of knowing. *Design Studies*, 3(4), 221–227. [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(82\)90040-0](https://doi.org/10.1016/0142-694X(82)90040-0)
- Cross, N. (2006). *Designerly ways of knowing*. Springer. <https://doi.org/10.1007/1-84628-301-9>
- Darwish, M., Kamel, S., & Assem, A. (2023). Extended reality for enhancing spatial ability in architecture design education. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(6), 102104. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.102104>
- Djefflat, A. (2021). Research and development and innovation: What role for design and engineering in African economic development. *Recherches économiques de Louvain*, 6(1), 62–78.
- El Hilali, N. (2017). Design emergence in Morocco as an African country: A pending institutionalization. In E. Bohemia, C. de Bont, & L. Svengren Holm (Eds.), *Proceedings of the Design Management Academy Conference 2017* (pp. 279–292). Design Management Academy. <https://doi.org/10.33114/adim.2017.145>
- Froiland, J. M., Oros, E., Smith, L., & Hirschert, T. (2012). Intrinsic motivation to learn: The nexus between psychological health and academic success. *Contemporary School Psychology*, 16, 91–100. <https://doi.org/10.1007/BF03340978>
- Ghouati, A. (2009). Réforme LMD au Maghreb : éléments pour un premier bilan politique et pédagogique. *Journal of Higher Education in Africa*, 7(1–2), 61–77. <https://doi.org/10.57054/jhea.v7i1-2.1601>
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266. <https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>
- Institut supérieur des Arts et Métiers de Sfax (ISAMS). (s. d.). *Présentation de l'ISAMS* [Page institutionnelle]. Récupéré le 1er juin 2024, de <https://isams.rnu.tn>
- Jonassen, D. H. (1999). Designing constructivist learning environments. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional design theories and models: A new paradigm of instructional theory* (Vol. 2, pp. 215–239). Lawrence Erlbaum Associates.
- Kelly, O., Buckley, K., Lieberman, L. J., & Arndt, K. (2022). Universal Design for Learning: A framework for inclusion in outdoor learning. *Journal of Outdoor and Environmental Education*, 25(1), 75–89. <https://doi.org/10.1007/s42322-022-00096-z>
- Krafft, C., & Alawode, H. (2016). *Subsidizing inequality: Policy and higher education in the Middle East and North Africa* (ERF Policy Perspective No. 20). Economic Research Forum.
- Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory Into Practice*, 41(4), 212–218. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104_2
- Krathwohl, D. R., Bloom, B. S., & Masia, B. B. (1964). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook II: Affective domain*. David McKay.
- Lee-Remond, S., Sagot, S., & Ostrosi, E. (2025). A new design framework for comprehensible graphical user interfaces for parametric computer-aided design tools. *Computer-Aided Design & Applications*, 22(2), 150–179. <https://doi.org/10.14733/cadaps.2025.150-179>
- Merriënboer, J. J. G. van, Kirschner, P. A., & Frèrejean, J. (2025). *Ten steps to complex learning: A systematic approach to four-component instructional design* (4th ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003322481>
- Meyer, J. B., Benguerna, M., Pellegrini, C., Alazali, M., & Benbouzid, K. (2023). Higher education in North Africa: Comparative evolution of Algeria and Morocco. *The Journal of North African Studies*, 28(1), 100–117. <https://doi.org/10.1080/13629387.2022.2028259>
- Moore, S. L. (2007). [Review of the book *Teaching every student in the digital age: Universal Design for Learning*, by D. H. Rose & A. Meyer]. *Educational Technology Research and Development*, 55(5), 521–525. <https://doi.org/10.1007/s11423-007-9056-3>
- Nemorin, S. (2017). The frustrations of digital fabrication: An auto/ethnographic exploration of “3D making” in school. *International Journal of Technology and Design Education*, 27(4), 517–535. <https://doi.org/10.1007/s10798-016-9366-z>

- Nickow, A., Oreopoulos, P., & Quan, V. (2020). The impressive effects of tutoring on PreK-12 learning: A systematic review and meta-analysis of the experimental evidence (NBER Working Paper No. 27476). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w27476>
- Noel, L.-A. (2022). Designing new futures for design education. *She Ji: The Journal of Design, Economics, and Innovation*, 8(3), 277–291. <https://doi.org/10.1080/17547075.2022.2105524>
- Nooijen, C. C. A. van, de Koning, B. B., Bramer, W. M., Isahakyan, A., Asoodar, M., Kok, E., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2024). A cognitive load theory approach to understanding expert scaffolding of visual problem-solving tasks: A scoping review. *Educational Psychology Review*, 36, 12. <https://doi.org/10.1007/s10648-024-09848-3>
- Pastré, P., Mayen, P., & Vergnaud, G. (2006). La didactique professionnelle. *Revue française de pédagogie*, 154, 145–198. <https://doi.org/10.4000/rfp.157>
- Rapitsenyane, Y., Moalosi, R., Sealetsa, O. J., Ruele, V., Mosepedi, T., & Matake, B. (2023). Integration of digital manufacturing skills in industrial design education and its impact on small and medium enterprises. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 9, 1254866. <https://doi.org/10.3389/fmech.2023.1254866>
- Remondino, F. (2011). Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning. *Remote Sensing*, 3(6), 1104–1138. <https://doi.org/10.3390/rs3061104>
- Rey, G. D., Beege, M., Nebel, S., Wirzberger, M., Schmitt, T. H., & Schneider, S. (2019). A meta-analysis of the segmenting effect. *Educational Psychology Review*, 31(2), 389–427. <https://doi.org/10.1007/s10648-018-9456-4>
- Rose, D. H., & Meyer, A. (2002). *Teaching every student in the digital age: Universal Design for Learning*. Association for Supervision and Curriculum Development.
- Roy, É. (2023). Gestes professionnels de l'enseignant·e d'arts appliqués de lycée professionnel : un pilotage opérant et un tissage restreint. Dans É. Tortochot, C. Moineau & É. Roy (dir.), *L'enseignement du design : Un geste créatif et une activité formative* (pp. 153–167). Éditions Delatour France.
- Šafhalter, A., Glodež, S., Šorgo, A., Ploj Vrtič, M., & Vukman, K. B. (2022). Development of spatial thinking abilities in engineering 3D modeling course aimed at lower secondary students. *International Journal of Technology and Design Education*, 32(1), 167–184. <https://doi.org/10.1007/s10798-020-09597-8>
- Sahli, A. (2024). Tunisian higher education during the crisis of Covid-19: What changes to draw? *Journal of Entrepreneurship Education*, 27(1), 102. <https://www.abacademies.org/articles/tunisian-higher-education-during-the-crisis-of-covid19-what-changes-to-draw-16595.html>
- Schneegans, S., Straza, T., & Lewis, J. (Eds.). (2021). *UNESCO science report: The race against time for smarter development*. UNESCO Publishing.
- Šklebar, J., Martinec, T., Škec, S., & Štorga, M. (2025). *Collaborative CAD in engineering design: A systematic literature review and a taxonomy of collaborative CAD activities* [Preprint]. SSRN. <https://ssrn.com/abstract=5222432>
- Skublewska-Paszkowska, M., Milosz, M., Powroznik, P., & Lukasik, E. (2022). 3D technologies for intangible cultural heritage preservation: Literature review for selected databases. *Heritage Science*, 10(1), Article 3. <https://doi.org/10.1186/s40494-021-00633-x>
- Sorby, S. A. (2009). Educational research in developing 3D spatial skills for engineering students. *International Journal of Science Education*, 31(3), 459–480. <https://doi.org/10.1080/09500690802595839>
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4



- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251–296. <https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>
- Tardif, J. (1992). *Pour un enseignement stratégique : l'apport de la psychologie cognitive*. Éditions Logiques.
- Tobin, T. J., & Behling, K. T. (2018). *Reach everyone, teach everyone: Universal Design for Learning in higher education*. West Virginia University Press.
- UNESCO. (2021). *Teaching and learning with living heritage: A resource kit for teachers*. UNESCO. <https://ich.unesco.org/en/resources-for-teachers-01180>
- Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., & Newcombe, N. S. (2013). The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*, 139(2), 352–402. <https://doi.org/10.1037/a0028446>
- Videla, R., Aguayo, C., Aguilera, J., Aros, M., Ibacache, C., Valdivia, P., & Cerpa, C. (2024). Cultivating cultural heritage and fostering belonging in communities through digital and non-digital technologies in generative STEAM education. *Knowledge Cultures*, 12(2), 21–48. <https://doi.org/10.22381/kc12220242>
- Wang, N., & Li, J. (2026). Cultural identity as a cognitive buffer: Enhancing creative self-efficacy in digital heritage education. *Frontiers in Psychology*, 17, 1798104. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2026.1798104>