

Du Soutien Cognitif À La Substitution Cognitive : Un Cadre Systémique Pour L'intelligence Artificielle Générative Dans Les Universités Publiques Marocaines

Ms. Yousra Lafhel¹, Prof. Dr. Laila Belhaj²

¹PhD Student Learning, Cognition and Educational Technology Faculty of Educational Sciences -
University of Mohammed V

²PES Learning, Cognition and Educational Technology Faculty of Educational Sciences - University of
Mohammed V

Abstract

Generative artificial intelligence (GenAI) is entering higher education faster than universities can determine when it supports learning and when it substitutes for the intellectual work required to achieve it. This conceptual article examines this tension in Moroccan public universities through a systemic approach that connects learner cognition, pedagogical practices, institutional conditions, and national digital reform. Drawing on cognitive neuroscience and learning sciences—particularly research on working memory, retrieval practice, spacing, feedback, and self-regulated learning—it distinguishes cognitive support from cognitive substitution. GenAI can enhance learning when students remain responsible for retrieving knowledge, reasoning, verifying information, and revising their work; conversely, it may weaken learning when it performs these target cognitive processes on their behalf. The article proposes an interactive three-level framework encompassing the learner, the course, and the public university. Five design dimensions link these levels: cognitive alignment, pedagogical orchestration, learner autonomy, contextual inclusion, and responsible governance. The framework is translated into design principles, an implementation sequence, and six research propositions for empirical investigation in Morocco. It connects national ambitions for digital transformation with pedagogical practices that can be assessed in terms of retention, transfer, equity, and feasibility, while keeping human judgment at the centre of educational decision-making.

1. Introduction

L'intelligence artificielle générative (IAG) est passée du statut de technologie spécialisée à celui de ressource académique courante. En quelques secondes, les étudiants peuvent demander des explications, générer des exemples, obtenir une rétroaction, traduire des passages difficiles ou produire une première version d'un texte. Les universités publiques doivent donc répondre à une question plus exigeante que celle de savoir s'il convient d'accepter ou d'interdire l'IAG : dans quelles conditions améliore-t-elle réellement l'apprentissage, plutôt que la seule apparence ou la rapidité d'exécution d'une tâche ? Cette distinction est essentielle, car une production peut être correcte et soignée alors même que l'apprenant a réalisé très peu du travail cognitif nécessaire à une compréhension durable.

Cette question revêt une importance particulière dans l'enseignement supérieur marocain. La réforme nationale place la transformation numérique, la pédagogie centrée sur l'étudiant, les compétences transversales et la formation à l'intelligence artificielle parmi les priorités de modernisation du secteur (Royaume du Maroc, 2024). Dans le même temps, le système marocain regroupe des établissements dont les infrastructures, les effectifs, les cultures disciplinaires, la préparation des enseignants et l'accès des étudiants diffèrent sensiblement. Une intervention techniquement avancée peut fonctionner dans une formation bien dotée, tout en se révélant peu praticable, excluante ou pédagogiquement fragile dans un autre contexte. Des données récentes recueillies auprès d'universitaires marocains présentent également l'IA comme une évolution à double tranchant : les répondants identifient des gains d'efficacité et un meilleur accès aux ressources d'apprentissage, mais expriment aussi des préoccupations concernant l'intégrité académique, la diminution des interactions entre étudiants et enseignants, les inégalités d'accès et la préparation limitée des établissements (Mjahad et al., 2025).

Une précédente revue de Lafhel et Belhaj (2025) a cartographié les principaux liens entre les neurosciences cognitives, les technologies éducatives et les pratiques d'apprentissage au Maroc. Le présent article prolonge cette réflexion en se concentrant sur l'IAG et sur l'université publique envisagée comme un système d'apprentissage interconnecté. Plutôt que de proposer un nouvel inventaire de technologies, il élabore un cadre permettant de décider comment une fonction générative devrait être utilisée dans une situation d'apprentissage donnée. Les neurosciences cognitives sont mobilisées comme une source de principes de conception circonscrits, et non comme un ensemble de métaphores séduisantes. L'analyse se concentre ainsi sur des résultats ayant un lien direct avec l'enseignement : capacité limitée de la mémoire de travail, récupération et espacement, rétroaction, attention et régulation de l'effort, sans prétendre que les méthodes pédagogiques pourraient être directement déduites de l'imagerie cérébrale.

La perspective systémique occupe une place centrale dans l'analyse. Le comportement de l'étudiant ne peut être dissocié de la conception de la tâche ; celle-ci ne peut être séparée de l'évaluation et des capacités enseignantes ; enfin, les choix institutionnels ne peuvent être isolés des infrastructures, des langues, de la gouvernance et des politiques nationales. Une modification à un niveau peut produire des effets sur les autres. Par exemple, l'accès facile à des réponses complètes peut réduire l'effort des étudiants au niveau cognitif, affaiblir la validité de l'évaluation au niveau pédagogique et conduire à l'adoption de règles restrictives au niveau institutionnel. À l'inverse, un outil clairement encadré peut soutenir l'accès multilingue, faciliter l'évaluation formative dans les grands groupes et fournir aux enseignants de meilleures informations sur les difficultés récurrentes.

L'argument central est que l'apprentissage soutenu par l'IAG exige un alignement entre cinq dimensions : la cognition, la pédagogie, l'autonomie de l'apprenant, l'inclusion contextuelle et la gouvernance. Une faiblesse dans l'une d'elles peut compromettre l'ensemble du dispositif. Un questionnaire automatisé peut organiser efficacement la récupération en mémoire, tout en défavorisant les étudiants dont la connexion est instable. Un agent conversationnel peut fournir une rétroaction rapide, mais favoriser la dépendance si les étudiants ne sont pas tenus de tenter, de justifier et de réviser leur propre réponse. À l'inverse, une activité peu exigeante en bande passante peut avoir une forte valeur éducative lorsqu'elle repose sur un cycle bien conçu d'effort, de rétroaction, de réflexion et de récupération différée.

Cet article poursuit trois objectifs. Premièrement, il synthétise des principes pertinents issus des neurosciences cognitives, des sciences de l'apprentissage et des recherches sur l'autorégulation soutenue par l'IAG. Deuxièmement, il propose un cadre systémique reliant les transformations cognitives, pédagogiques et institutionnelles dans les universités publiques marocaines. Troisièmement, il présente un

modèle de mise en oeuvre et des propositions de recherche susceptibles d'orienter des expérimentations pédagogiques, puis des études empiriques. La contribution est conceptuelle : l'article ne rend compte ni d'une revue systématique ni des données originales d'une intervention. Son apport consiste à construire un lien raisonné entre les connaissances établies, les recherches récentes sur l'IAG et les conditions dans lesquelles les universités publiques prennent leurs décisions éducatives.

L'article répond ainsi à la question de recherche suivante : comment les universités publiques marocaines peuvent-elles intégrer l'intelligence artificielle générative de manière à renforcer les processus cognitifs et pédagogiques, sans permettre à la technologie de se substituer à l'activité intellectuelle fondamentale par laquelle les étudiants apprennent ?

2. Approche conceptuelle et périmètre

Le cadre a été élaboré à partir d'une lecture intégrative de quatre ensembles de travaux : l'architecture cognitive et l'apprentissage durable ; la rétroaction formative et l'apprentissage autorégulé ; l'IAG dans l'enseignement supérieur ; enfin, les politiques publiques et les recherches empiriques concernant le Maroc. La priorité a été accordée aux méta-analyses, aux revues systématiques, aux contributions théoriques majeures, aux études empiriques évaluées par les pairs et aux orientations officielles. Il ne s'agissait pas d'agréger les tailles d'effet d'outils hétérogènes, mais d'identifier des relations susceptibles d'éclairer les décisions pédagogiques. Cette démarche se justifie parce que l'IAG ne constitue pas une intervention éducative uniforme. Un agent conversationnel utilisé pour fournir des indices, un modèle alimenté par les documents du cours, un système automatisé de rétroaction et un assistant d'écriture sans restriction diffèrent par leur fonction, le contrôle laissé à l'apprenant, leurs besoins en données et leurs risques.

Trois limites de portée doivent être précisées. Premièrement, l'article mobilise les neurosciences cognitives avec prudence. Les connaissances relatives à la mémoire, à l'attention et à la charge cognitive sont reliées à la conception pédagogique par l'intermédiaire de la recherche comportementale sur l'apprentissage ; elles ne servent pas à affirmer qu'une plateforme optimiserait directement le cerveau. Deuxièmement, le cadre distingue l'assistance de l'apprentissage. Une réduction du temps, une diminution des erreurs ou une appréciation positive des étudiants peuvent constituer des résultats utiles, mais ne démontrent pas, à elles seules, la rétention ou le transfert. Troisièmement, le contexte marocain n'est pas considéré comme homogène. Le cadre exige volontairement un diagnostic local, car les différences entre établissements publics et privés, régions, disciplines, langues et populations étudiantes peuvent avoir des conséquences éducatives importantes.

3. Principes d'apprentissage devant encadrer la conception des usages de l'IAG

3.1 Mémoire de travail, charge cognitive et activité porteuse de sens

La mémoire de travail permet de maintenir et de manipuler des informations au cours du raisonnement, mais sa capacité est limitée. L'apprentissage devient difficile lorsqu'une tâche combine des concepts inconnus, des informations inutiles, des explications mal séquencées et des contraintes d'interface qui mobilisent les mêmes ressources limitées (Baddeley, 2012 ; Sweller, 2020). Les technologies éducatives peuvent réduire la charge évitable en segmentant le contenu, en clarifiant les représentations ou en fournissant des indices au moment opportun. Elles peuvent également l'accroître à travers des tableaux de bord surchargés, des alertes continues, un nombre excessif d'options ou des explications fluides mais inadaptées aux connaissances antérieures de l'apprenant.

L'objectif de conception ne consiste donc pas à réduire l'effort au minimum. Une part d'effort mental est indispensable, puisque l'apprenant doit sélectionner, organiser, récupérer, comparer et expliquer l'information. L'IA devrait supprimer les difficultés sans rapport avec l'objectif d'apprentissage, tout en préservant les opérations cognitives nécessaires pour l'atteindre. Si l'objectif porte, par exemple, sur le raisonnement diagnostique, l'outil peut définir un vocabulaire inconnu ou organiser les informations relatives à un cas, mais il ne devrait pas fournir le diagnostic avant que l'étudiant ait formulé et justifié plusieurs hypothèses. La distinction entre charge inutile et effort productif évite que la « personnalisation » ne se réduise à une simplification automatique.

3.2 Récupération en mémoire, espacement et apprentissage durable

L'exposition à une information ne suffit pas à garantir son apprentissage. Un contenu qui semble compris au moment de la lecture peut ne plus être disponible ultérieurement, en particulier lorsque l'apprenant ne s'est pas exercé à le récupérer en mémoire. La pratique de la récupération améliore la rétention à long terme et peut produire un apprentissage plus solide que l'étude répétée, tandis que la pratique distribuée est généralement plus efficace qu'une révision concentrée sur une seule période (Cepeda et al., 2006 ; Roediger et Karpicke, 2006). Les revues consacrées aux techniques d'apprentissage identifient également les tests d'entraînement et la pratique distribuée comme des méthodes largement utiles lorsqu'elles sont accompagnées d'une rétroaction et d'une temporalité appropriées (Dunlosky et al., 2013).

L'IA peut traduire ces principes en pratique en générant des questions à partir de ressources validées par l'enseignant, en variant les exemples, en planifiant les révisions ou en adaptant la difficulté des items. Il convient toutefois de vérifier la qualité de la génération et son alignement sur le programme. Le système ne devrait pas se limiter à produire davantage de questions ; il devrait soutenir une séquence qui commence par une récupération sans aide, ne présente la rétroaction qu'après l'engagement de l'étudiant, revient sur les contenus fragiles après un délai et demande parfois d'appliquer le concept dans un nouveau contexte. L'automatisation sert alors à organiser la pratique, tandis que la récupération reste à la charge de l'étudiant.

3.3 La rétroaction comme information orientée vers l'action

La rétroaction possède une valeur éducative lorsqu'elle aide l'apprenant à répondre à trois questions : quel est l'objectif, comment la performance actuelle se situe-t-elle par rapport à cet objectif et quelle action faut-il ensuite entreprendre (Hattie et Timperley, 2007) ? Une rétroaction formative efficace est précise, compréhensible et exploitable ; un compliment ou une note ne fournit, à lui seul, que peu d'indications (Shute, 2008). Une rétroaction immédiate peut aider à corriger des conceptions erronées, mais sa temporalité doit correspondre à la nature de la tâche. Un indice rapide peut soutenir un novice pendant une étape procédurale, tandis qu'une rétroaction différée peut préserver l'effort productif dans les tâches exigeant un raisonnement autonome.

Les systèmes génératifs peuvent offrir une rétroaction dialoguée à grande échelle, mais leur fluidité crée deux risques. Le premier est épistémique : la rétroaction peut être inexacte, non étayée ou incohérente. Le second concerne la régulation : l'apprenant peut accepter une modification suggérée sans diagnostiquer sa propre difficulté. Une conception plus sûre exige que l'étudiant confronte la rétroaction à une grille d'évaluation ou à une source, explique les suggestions retenues ou rejetées et conserve la trace de sa révision. L'IA devient alors un élément soumis au jugement, plutôt qu'un évaluateur dont les propositions seraient acceptées sans examen.

3.4 Métacognition et apprentissage autorégulé

L'apprentissage autorégulé implique de définir des objectifs, de sélectionner des stratégies, de suivre ses progrès, de réagir à la rétroaction et de réfléchir aux résultats. La simple disponibilité d'un outil ne garantit

pas que l'apprenant mette correctement en oeuvre ces processus. Il peut mal évaluer sa compréhension, choisir les stratégies les plus commodes ou interpréter la facilité comme une preuve de maîtrise (Bjork et al., 2013 ; Zimmerman, 2002). La rétroaction ne soutient la régulation que lorsque l'apprenant est en mesure de l'utiliser pour ajuster ses objectifs et ses stratégies (Butler et Winne, 1995).

Des revues récentes indiquent que l'IA peut soutenir la planification, le suivi et la réflexion, mais que les dispositifs actuels se concentrent souvent sur la phase de réalisation et accordent moins d'attention à la motivation et à l'autonomie de l'apprenant (Banihashem et al., 2025 ; Lan et Zhou, 2025). Ce déséquilibre est important. Un système qui recommande constamment l'action suivante peut améliorer la performance à court terme, tout en réduisant les occasions offertes à l'apprenant de planifier son travail. L'enjeu pédagogique consiste à calibrer l'étayage : le soutien doit rester disponible, mais diminuer à mesure que les compétences se développent, et les étudiants doivent périodiquement travailler sans celui-ci.

4. Ce que l'intelligence artificielle générative apporte et ce qu'elle peut remplacer

L'IAG apporte une valeur ajoutée grâce à des possibilités difficiles à offrir de façon constante et à grande échelle : explications à la demande, pratique conversationnelle, production rapide d'exemples, reformulation multilingue et rétroaction en dehors des heures de cours. Les recherches sur les tutoriels intelligents et l'intelligence artificielle en éducation témoignent d'une longue évolution, allant de la modélisation de domaines et du tutorat contraint vers des systèmes qui prennent également en compte la collaboration, la motivation et la métacognition (Roll et Wylie, 2016). L'IAG prolonge cette évolution grâce à une interaction ouverte en langage naturel. Cette même ouverture, qui la rend accessible, diminue aussi la prévisibilité de ses réponses et accroît la responsabilité de l'apprenant en matière de vérification. Les données disponibles sont encourageantes, mais conditionnelles. Les synthèses récentes font état de relations moyennes positives entre l'apprentissage soutenu par l'IA et les résultats d'apprentissage, ainsi qu'entre la rétroaction générée par l'IA et l'apprentissage autorégulé. Elles montrent toutefois d'importantes variations selon les dispositifs et les contextes (Huang et al., 2026 ; Liu et al., 2026). Il ne faut donc pas en déduire que l'IAG fonctionne de manière générale, mais plutôt que ses effets dépendent de l'activité de l'apprenant, de la structuration de la rétroaction, de la situation de comparaison retenue et de la mesure de l'apprentissage au-delà de l'exécution immédiate de la tâche.

L'intelligence artificielle générative modifie également l'unité d'analyse. Les premiers systèmes adaptatifs guidaient souvent les apprenants dans un domaine circonscrit ; un modèle généraliste peut, à partir d'une même interface, rédiger un texte, résoudre un problème, résumer une lecture ou simuler un tuteur. Cette polyvalence favorise le délestage cognitif, c'est-à-dire le transfert d'opérations mentales vers un système externe. Ce délestage n'est pas nécessairement préjudiciable. Les notes, les calculatrices et les moteurs de recherche étendent eux aussi la cognition. Le problème survient lorsque l'opération externalisée constitue précisément le résultat d'apprentissage visé. Si les étudiants doivent apprendre à construire une argumentation, confier cette construction à un système les prive de la pratique dont ils ont besoin.

Trois modes peuvent être distingués dans la pratique. En mode soutien, l'IA clarifie les consignes, propose des exemples, traduit des termes ou fournit des indices, tandis que l'apprenant reste responsable du raisonnement central. En mode partenariat, l'apprenant et le système produisent, critiquent et révisent les idées de manière itérative, en conservant une trace explicite des décisions humaines. En mode substitution, le système accomplit le travail intellectuel visé, tandis que l'apprenant se contente principalement de sélectionner ou de remettre le résultat. Le soutien et le partenariat peuvent être défendables sur le plan éducatif lorsqu'ils sont alignés sur l'objectif ; la substitution ne l'est généralement pas. Les travaux

consacrés à l'IA et à la métacognition dans des contextes inégalitaires confirment la nécessité d'examiner qui conserve le contrôle, quelles capacités sont mobilisées et comment les conditions d'accès influencent le résultat (Dhurumraj et Labuschagne, 2026).

Les risques ne se limitent pas au déstabilisation cognitive. Les grands modèles de langage peuvent produire des informations inexacts mais plausibles, reproduire des biais, exposer des données sensibles et rendre difficile l'identification de l'origine des affirmations. Leur usage peut aussi modifier la relation entre l'enseignant et l'étudiant ainsi que la validité de l'évaluation. Miao et Holmes (2023) recommandent donc une approche centrée sur l'humain, associant protection de la vie privée, validation éthique, conception pédagogique et capacité institutionnelle. Il ne s'agit pas de simples obligations externes de conformité : ces éléments déterminent si les étudiants peuvent apprendre en sécurité et si les enseignants peuvent se fier aux preuves d'apprentissage.

5. Les universités publiques marocaines comme système d'apprentissage

Le programme actuel de réforme au Maroc offre une réelle possibilité d'inscrire l'IA dans une démarche pédagogiquement fondée. Le plan national d'accélération de la transformation de l'enseignement supérieur met l'accent sur la numérisation, la pédagogie centrée sur l'étudiant, les compétences linguistiques et transversales, les possibilités de formation à l'IA et l'amélioration de la gouvernance (Royaume du Maroc, 2024). Le défi consiste à transformer ces ambitions nationales en dispositifs pédagogiques capables de fonctionner dans des établissements publics hétérogènes. L'acquisition de technologies ne suffit pas à réaliser cette transformation. Le développement professionnel des enseignants, l'alignement des programmes, l'accompagnement des étudiants, la gouvernance des données et l'évaluation constituent des conditions complémentaires.

Une lecture systémique attire l'attention sur trois niveaux en interaction. Au niveau micro, l'IA modifie la manière dont les étudiants répartissent leur attention, récupèrent des connaissances, évaluent leur compréhension et décident de persévérer. Au niveau méso, elle transforme la conception des cours, la rétroaction, l'évaluation, la charge de travail des enseignants et les interactions entre pairs. Au niveau macro, les universités publiques définissent les infrastructures, les conditions d'accès, la formation professionnelle, les règles d'intégrité, la protection des données et l'allocation des ressources. Ces niveaux sont reliés par des boucles de rétroaction. Si l'évaluation récompense des productions soignées sans documenter le processus d'apprentissage, les étudiants reçoivent le signal que la substitution est efficace. Lorsque les enseignants constatent ensuite que les preuves d'apprentissage ne sont pas fiables, les établissements peuvent répondre par des interdictions générales. Un système plus pertinent modifie le signal transmis par l'évaluation, propose des formes légitimes de soutien et évalue la performance autonome.

Plusieurs caractéristiques contextuelles méritent une attention explicite. Premièrement, l'accès est multidimensionnel. La possession d'un appareil ne garantit ni une connexion stable, ni un forfait de données suffisant, ni un environnement calme pour étudier, ni la confiance nécessaire pour utiliser un outil dans un cadre académique. Deuxièmement, la langue joue un rôle important. Selon la discipline et la tâche, les étudiants marocains peuvent passer de l'arabe au français, à l'anglais ou à l'amazighe. La traduction et l'explication assistées par l'IA peuvent élargir l'accès, mais leur qualité doit être vérifiée, particulièrement pour les concepts spécialisés. Troisièmement, les effectifs importants renforcent l'intérêt d'une rétroaction automatisée, tout en rendant le contrôle par l'enseignant plus difficile. Quatrièmement, les politiques

d'intégrité académique et les pratiques d'évaluation ne distinguent pas toujours l'assistance autorisée de la substitution interdite.

L'étude de Mjahad et al. (2025), menée auprès de 103 universitaires d'une faculté des lettres et des sciences humaines à Fès, illustre ce mélange de possibilités et de préoccupations. Les participants ont perçu des avantages liés à l'efficacité et aux ressources d'apprentissage, ainsi que des risques concernant l'intégrité, les interactions, les inégalités, la vie privée et la préparation du personnel. L'échantillon étant limité à un établissement et à un contexte disciplinaire, les résultats ne peuvent être généralisés à l'ensemble du pays. Ils confortent néanmoins une prémisse essentielle du présent cadre : la mise en oeuvre doit faire l'objet d'un diagnostic et d'une gouvernance à l'échelle locale, plutôt que d'être déduite d'un enthousiasme mondial.

6. Un cadre systémique à trois niveaux en interaction

Le cadre proposé considère une activité soutenue par l'IAG comme un agencement d'objectifs, d'actions humaines, de fonctions automatisées, de conditions institutionnelles et de preuves. L'alignement cognitif et l'autonomie de l'apprenant opèrent principalement au niveau micro ; l'orchestration pédagogique relie les niveaux micro et méso ; l'inclusion contextuelle et la gouvernance responsable relie la conception du cours au niveau institutionnel. Ces dimensions sont distinctes sur le plan analytique, mais interdépendantes dans leur mise en oeuvre. Un dispositif est robuste lorsque les cinq dimensions sont examinées avant son déploiement, puis réévaluées à la lumière des données recueillies.

Dimension	Question centrale	Éléments minimaux à documenter
1. Alignement cognitif	Quel processus mental l'étudiant doit-il réaliser et quelle difficulté l'IA peut-elle réduire ?	Carte objectif-tâche ; moment de performance sans aide ; mesure différée ou de transfert
2. Orchestration pédagogique	À quel moment l'IA, les pairs et l'enseignant doivent-ils intervenir ?	Séquence de l'activité ; protocole de rétroaction ; voie d'orientation ; supervision de l'enseignant
3. Autonomie de l'apprenant	Comment l'étudiant planifie-t-il, vérifie-t-il, décide-t-il et réfléchit-il ?	Trace des requêtes et décisions ; vérification des sources ; réflexion ; règle d'estompage de l'étayage
4. Inclusion contextuelle	Les étudiants peuvent-ils participer malgré les différences de langue, d'accès et de capacité ?	Solution à faible bande passante ; vérification de l'accessibilité ; validation linguistique ; plan d'accompagnement

Dimension	Question centrale	Éléments minimaux à documenter
5. Gouvernance responsable	La protection des données, l'intégrité, la transparence et la responsabilité sont-elles garanties ?	Liste des outils approuvés ; règles relatives aux données ; norme de déclaration ; processus de traitement des incidents et d'audit

6.1 Alignement cognitif

L'alignement cognitif commence par la formulation de l'objectif d'apprentissage sous la forme d'une performance mentale observable : se rappeler, expliquer, distinguer, appliquer, évaluer ou créer. Les concepteurs identifient ensuite le travail cognitif fondamental qui doit rester à la charge de l'apprenant. Une fonction d'IA n'est choisie qu'après cette décision. Pour l'aisance factuelle, une récupération adaptative peut convenir. Pour l'argumentation, le système peut remettre en question les présupposés après que l'étudiant a formulé une affirmation et présenté ses preuves. Pour la résolution de problèmes, les indices peuvent être dévoilés progressivement au lieu de fournir d'emblée une solution complète.

Chaque activité devrait comporter un « moment de cognition autonome », au cours duquel l'apprenant répond sans assistance générative. Il peut s'agir d'une première tentative, d'une explication orale, d'un questionnaire sans ressources ou d'un problème de transfert réalisé après un délai. L'objectif n'est pas de surveiller l'étudiant. Ce moment fournit à l'étudiant et à l'enseignant des éléments permettant d'identifier ce qui peut être accompli sans l'outil et limite le risque de confondre une production assistée avec un apprentissage réel.

6.2 Orchestration pédagogique

L'orchestration précise la séquence et la répartition du travail entre l'apprenant, ses pairs, l'enseignant et l'IA. Une séquence pertinente peut suivre les étapes suivantes : tentative, rétroaction, vérification, révision, puis récupération. L'apprenant s'engage d'abord dans une réponse ; la rétroaction fournie par l'IA ou par les pairs met ensuite en évidence les lacunes ; l'apprenant vérifie les affirmations importantes à partir des ressources du cours ; il révisé sa réponse ; enfin, une récupération ultérieure permet de déterminer si la compréhension perdure. L'enseignant définit les objectifs, sélectionne les sources, examine un échantillon des interactions, traite les conceptions erronées récurrentes et décide dans quelles situations une rétroaction humaine demeure indispensable.

L'orchestration permet également d'éviter la saturation par la rétroaction. Un nombre illimité de suggestions peut disperser l'attention et encourager une révision superficielle. Les enseignants peuvent limiter la rétroaction à un ou deux critères par cycle, utiliser des grilles d'évaluation, exiger des preuves pour les corrections factuelles et orienter les questions complexes ou sensibles vers une personne compétente. Dans les grands groupes, l'analyse de tendances agrégées peut aider les enseignants à décider des éléments à reprendre, sous réserve d'un traitement approprié des données et à condition que les classifications automatisées ne soient pas considérées comme des jugements définitifs.

6.3 Autonomie de l'apprenant et responsabilité épistémique

L'autonomie ne consiste pas seulement à donner aux étudiants accès à des consignes formulées pour un système d'IA. L'apprenant doit définir un objectif, décider du moment où une assistance est nécessaire, évaluer la réponse obtenue et expliquer ses choix finaux. Un bref journal d'interaction peut consigner la

tentative initiale, l'aide demandée, les réponses acceptées ou rejetées, les sources consultées et la révision réalisée. Ce journal n'a pas pour finalité de récompenser la maîtrise des requêtes ; il rend visibles la régulation et la vérification.

L'étayage doit progressivement s'estomper. Au début d'un cours, des modèles de requêtes peuvent guider les étudiants lorsqu'ils demandent des contre-arguments ou des indices diagnostiques. Les tâches ultérieures devraient proposer moins de modèles et inclure des périodes sans IA. Les étudiants devraient également être confrontés à des productions volontairement imparfaites et s'exercer à identifier les affirmations non étayées, les raisonnements fragiles et les présupposés biaisés. La maîtrise de l'IA devient ainsi une compétence épistémique : la capacité d'évaluer des affirmations relatives aux connaissances, et pas seulement d'utiliser un outil.

6.4 Inclusion contextuelle

L'inclusion contextuelle suppose qu'il existe un mode de participation ne dépendant ni d'un accès payant, ni d'une connexion permanente, ni d'une seule langue. Les équipes pédagogiques devraient identifier les conditions d'accès minimales et réalistes, puis proposer des solutions équivalentes accessibles avec une faible bande passante ou depuis le campus. Lorsque l'utilisation d'un système génératif est facultative, l'étudiant ne devrait pas perdre de points parce qu'il choisit de ne pas l'utiliser. Lorsqu'elle est obligatoire, l'établissement devrait fournir l'accès, l'assistance technique, les aménagements nécessaires à l'accessibilité et une explication claire des pratiques relatives aux données.

Le soutien multilingue doit être conçu comme une médiation et non comme une garantie d'exactitude. Les étudiants peuvent utiliser l'IA pour comparer des explications dans deux langues, construire un glossaire ou s'entraîner à formuler une idée dans un registre académique. Les spécialistes de la discipline devraient valider les termes essentiels, et l'évaluation devrait distinguer le soutien linguistique du raisonnement disciplinaire. Les exemples locaux et les situations culturellement pertinentes peuvent renforcer l'intérêt pédagogique, mais ils doivent être examinés, car les productions des modèles peuvent effacer les variations locales ou reproduire des stéréotypes.

6.5 Gouvernance responsable

La gouvernance définit les usages autorisés, la responsabilité et les mesures de protection. Au niveau du cours, les étudiants ont besoin d'exemples d'usages autorisés, autorisés sous conditions et interdits, reliés aux objectifs d'apprentissage. Au niveau institutionnel, les outils approuvés devraient être évalués au regard de la confidentialité, de la sécurité, de l'accessibilité, de la conservation des données et des conditions contractuelles. Les données personnelles, confidentielles ou issues de recherches non publiées ne devraient pas être introduites dans des systèmes publics sans fondement dûment autorisé.

La transparence doit être réciproque. Les étudiants devraient déclarer toute assistance substantielle de l'IA conformément aux règles de la tâche, de la revue ou de l'établissement ; les institutions devraient signaler les situations dans lesquelles des systèmes automatisés influencent la rétroaction, la progression ou la classification des risques. Une révision humaine est indispensable pour toute décision à fort enjeu. La gouvernance doit également prévoir une voie de contestation des résultats automatisés ainsi qu'un processus d'examen des incidents, des biais et des effets inégaux.

7. Du cadre conceptuel à la conception d'un cours

Le tableau 2 montre comment le cadre transforme des usages courants de l'IA. L'accent est mis sur la relation entre le principe d'apprentissage et l'activité, et non sur un produit commercial particulier.

Objectif d'apprentissage	Activité soutenue par l'IA	Travail exigé de l'apprenant	Mesure de protection et preuve
Rappel durable	Générer et planifier des questions à partir d'un corpus validé par l'enseignant	Répondre avant la rétroaction ; expliquer les erreurs ; recommencer après un délai	Échantillonnage des questions par l'enseignant ; questionnaire différé et item de transfert
Compréhension conceptuelle	Proposer des explications ou des analogies contrastées	Comparer, repérer les limites et produire une explication personnelle	Vérification à partir des ressources du cours ; courte explication orale
Argumentation	Générer des objections à une affirmation formulée par l'étudiant	Défendre, réviser ou rejeter chaque objection en s'appuyant sur des preuves	Conservation de la première version ; vérification des sources ; justification des révisions
Résolution de problèmes	Fournir des indices progressifs après une première tentative de résolution	Présenter les étapes, identifier le blocage et résoudre sans aide un problème similaire	Aucune solution complète lors de la première demande ; problème de transfert
Autorégulation	Résumer les progrès et proposer des stratégies d'étude	Choisir une stratégie, prédire sa performance et réfléchir au résultat	Choix conservé par l'étudiant ; comparaison entre la prédiction et le résultat

7.1 Exemple de cycle d'apprentissage

Prenons l'exemple d'un cours de première année réunissant un effectif important et des niveaux inégaux de maîtrise de la langue académique. Avant le cours, les étudiants récupèrent les concepts essentiels au moyen de courtes questions accessibles avec une faible bande passante. En classe, ils travaillent en petits groupes sur un cas et remettent une première explication avant de recevoir toute assistance de l'IA. Le système est ensuite utilisé pour générer un contre-exemple ou repérer un présupposé implicite. Les groupes vérifient le résultat à partir des sources imposées, révisent leur explication et consignent une suggestion qu'ils ont rejetée. Une semaine plus tard, les étudiants analysent individuellement un nouveau cas sans recourir à l'IA. L'enseignant compare les réponses initiales, révisées et différées afin d'observer à la fois l'amélioration immédiate et la compréhension retenue.

Ce cycle n'exige pas que le système note les étudiants ou déduise des états cognitifs cachés. L'IA sert à varier les situations et à fournir une rétroaction, tandis que la récupération, l'explication, la discussion collective, la vérification et le transfert autonome restent préservés. Le cycle peut également être adapté aux contraintes d'infrastructure : l'enseignant peut préparer les contre-exemples à l'avance, les diffuser sur

la plateforme d'apprentissage ou utiliser une seule interface partagée en classe, plutôt que d'exiger de chaque étudiant un compte payant.

8. Mise en oeuvre : diagnostiquer, coconcevoir, expérimenter, évaluer et déployer

L'adoption institutionnelle devrait être conduite comme un processus d'apprentissage. Une démarche progressive réduit le coût des erreurs et permet aux données locales d'éclairer les décisions ultérieures.

Diagnostiquer : définir le problème éducatif, la population étudiante, le fonctionnement existant, les conditions d'accès, les besoins linguistiques, les capacités du personnel et la sensibilité des données. Le point de départ doit être un problème mesurable, et non un outil auquel il faudrait trouver un usage.

Coconcevoir : associer les enseignants, les étudiants, les spécialistes des technologies éducatives, les services d'accompagnement du handicap, les bibliothécaires ainsi que les responsables de la protection des données ou de l'éthique. Examiner les cinq dimensions et définir les usages acceptables avant le début de l'activité.

Expérimenter : commencer par une composante circonscrite d'un cours, un corpus approuvé lorsque cela est possible, un nombre limité de fonctions et une solution de remplacement sans IA. Former les enseignants et les étudiants à l'aide d'exemples concrets plutôt que de principes généraux.

Évaluer : mesurer l'adoption et la satisfaction, mais aussi l'apprentissage, la rétention, le transfert, la justesse de l'autoévaluation, l'équité, la charge de travail, les erreurs et les effets imprévus. Comparer les résultats entre les groupes d'étudiants concernés sans substituer le profilage automatisé à l'explication.

Déployer ou réviser : élargir l'usage uniquement lorsque les bénéfices éducatifs sont significatifs, que les risques restent maîtrisables et que l'établissement peut assurer durablement l'accompagnement et la gouvernance. Interrompre ou reconcevoir le dispositif lorsque l'outil remplace la compétence visée ou crée des conditions de participation inéquitables.

L'évaluation devrait réunir au moins quatre types de données. Les données de processus montrent comment les étudiants ont utilisé l'outil. Les données d'apprentissage rendent compte de la performance immédiate, de la rétention différée et du transfert. Les données d'équité portent sur l'accès et les écarts de résultats. Les données de mise en oeuvre documentent la charge de travail des enseignants, la fiabilité technique, le coût et les incidents liés aux règles institutionnelles. Des entretiens qualitatifs ou des groupes de discussion peuvent expliquer pourquoi une même activité soutient un groupe tout en contraignant un autre. Lorsque cela est possible, des comparaisons quasi expérimentales ou expérimentales devraient isoler la contribution du dispositif, plutôt que de comparer des utilisateurs et des non-utilisateurs qui diffèrent déjà par leur motivation ou leurs acquis antérieurs.

9. Propositions de recherche

Le cadre conduit à six propositions qui peuvent être mises à l'épreuve dans les universités publiques marocaines. Elles sont formulées de manière à permettre leur adaptation aux différentes disciplines, tout en préservant le mécanisme sous-jacent.

P1 - Effort avant assistance : les activités soutenues par l'IAG qui exigent une première tentative sans aide produiront une meilleure rétention différée que les activités offrant une réponse complète dès le départ, même lorsque la qualité immédiate de la tâche est comparable.

P2 - Vérification et autonomie : le fait d'exiger des apprenants qu'ils vérifient et justifient leur utilisation de la rétroaction fournie par l'IA améliorera la justesse de leur autoévaluation métacognitive et réduira l'acceptation sans examen, par comparaison avec des dispositifs fondés uniquement sur la rétroaction.

P3 - Estompage de l'étalement : des aides adaptatives progressivement retirées favoriseront davantage le transfert qu'une assistance permanente fournissant des solutions complètes.

P4 - Orchestration : une rétroaction de l'IA intégrée à des cycles encadrés par l'enseignant et les pairs produira de meilleures explications conceptuelles que l'usage isolé d'un agent conversationnel, car la confrontation de plusieurs sources de jugement encourage la comparaison et l'élaboration.

P5 - Inclusion contextuelle : les bénéfices de l'apprentissage soutenu par l'IAG varieront selon la connectivité, la maîtrise linguistique, la confiance numérique et l'accompagnement institutionnel ; la mise à disposition d'un accès équivalent et de solutions fonctionnant avec une faible bande passante réduira les écarts de résultats.

P6 - Clarté de la gouvernance : des orientations propres à chaque cours, accompagnées d'exemples d'usages acceptables, amélioreront la déclaration des usages et réduiront plus efficacement les substitutions inappropriées que des interdictions générales.

Les recherches futures devraient préciser le modèle et la version utilisés, les requêtes ou les règles d'interaction, le rôle de l'enseignant, les conditions d'accès, la tâche disciplinaire, la durée et les mesures exactes des résultats. Sans ces informations, la notion d'« apprentissage soutenu par l'IAG » demeure trop large pour permettre l'accumulation des connaissances. Les études devraient également dépasser les séances uniques et les données autodéclarées. Des recherches longitudinales sont nécessaires pour déterminer si un soutien répété développe une régulation autonome ou crée une dépendance.

Un programme de recherche centré sur le Maroc pourrait commencer par des études de conception menées dans plusieurs établissements et dans des cours représentant différentes disciplines, langues, tailles de groupes et régions. Un ensemble minimal commun de données pourrait comprendre les acquis antérieurs, les conditions d'accès, la performance immédiate, la récupération différée, le transfert, l'autorégulation, l'utilité perçue, la charge de travail des enseignants et les incidents liés à des informations inexacts ou à la confidentialité. Des travaux qualitatifs locaux devraient accompagner les comparaisons quantitatives afin que les différences observées ne soient pas réduites à des explications simplistes fondées sur les déficits.

10. Discussion

Le cadre reformule l'intégration de l'IA comme une question de conception de l'apprentissage et de responsabilité institutionnelle. Cette position évite deux erreurs symétriques. L'optimisme technologique suppose que la personnalisation, l'automatisation ou la rétroaction immédiate sont nécessairement bénéfiques. L'interdiction défensive suppose que le retrait d'un outil préservera l'apprentissage, malgré sa large disponibilité et ses avantages légitimes en matière d'accessibilité. Une approche plus productive précise les situations dans lesquelles l'assistance se justifie sur le plan éducatif, rend visible le raisonnement de l'apprenant et évalue si la compréhension persiste sans le système.

La distinction entre soutien cognitif et substitution cognitive constitue la contribution centrale du cadre. Le soutien cognitif réduit les obstacles qui entourent le processus visé ou fournit les informations permettant à l'apprenant de poursuivre son travail. La substitution cognitive accomplit le processus visé à la place de l'apprenant. La frontière dépend de l'objectif. Une traduction peut soutenir la participation à une tâche disciplinaire lorsque la compétence linguistique n'est pas évaluée ; la même fonction se substitue à la performance dans un cours de traduction. Les établissements ne peuvent donc pas encadrer l'IA à partir d'une liste universelle d'outils. Les orientations doivent également tenir compte des tâches, de leurs étapes et des résultats d'apprentissage.

Le cadre maintient également un rôle central pour les enseignants. L'IA peut accroître la quantité et l'immédiateté des interactions, mais les enseignants restent responsables des objectifs du programme, des normes disciplinaires, de l'apprentissage social, du jugement éthique et de l'accompagnement humain. Ils ont besoin de temps et de formation professionnelle pour repenser les tâches, examiner les productions, interpréter les données d'apprentissage et répondre aux difficultés. Si l'adoption de l'IA est présentée uniquement comme un programme d'efficacité, ces formes de travail peu visibles seront négligées et la qualité éducative pourra se dégrader.

Dans l'enseignement supérieur public marocain, l'inclusion contextuelle ne constitue pas un détail secondaire de la mise en oeuvre. Elle est une condition de validité. Une intervention ne peut être jugée efficace si seuls les étudiants bénéficiant de la meilleure connexion peuvent l'utiliser comme prévu. Les pratiques multilingues, les variations régionales, la taille des groupes et les différences de ressources entre établissements devraient être considérées comme des variables de conception et documentées dans la recherche. Une approche systémique peut faire de la diversité du Maroc une source de connaissances sur des dispositifs éducatifs robustes, plutôt qu'un obstacle à l'importation d'un modèle supposé universel.

11. Limites

Cet article est conceptuel et le cadre proposé doit être validé empiriquement. Les recherches sur l'intelligence artificielle générative évoluent rapidement, et les résultats positifs ou négatifs peuvent refléter des interventions de courte durée, des effets de nouveauté, une autosélection des participants ou l'évolution rapide des modèles. Le cadre se concentre par ailleurs sur l'enseignement et l'apprentissage ; il n'aborde pas pleinement l'acquisition des solutions, leur coût environnemental, les différends relatifs à la propriété intellectuelle ou l'utilisation de l'IA dans l'administration de la recherche. Enfin, les données marocaines restent limitées et inégalement réparties entre les établissements. Les propositions doivent donc être considérées comme une base structurée pour des expérimentations locales, et non comme l'affirmation qu'un seul dispositif conviendrait à toutes les universités.

12. Conclusion

L'IA peut élargir l'accès aux explications, à la pratique et à la rétroaction, mais sa valeur éducative dépend de l'organisation cognitive, pédagogique et institutionnelle qui entoure l'outil. Une réponse fluide ne constitue pas une preuve d'apprentissage, et l'efficacité ne remplace pas une compréhension durable. Le cadre à cinq dimensions proposé ici - alignement cognitif, orchestration pédagogique, autonomie de l'apprenant, inclusion contextuelle et gouvernance responsable - offre une manière concrète de relier les neurosciences cognitives aux ambitions numériques du Maroc pour l'enseignement supérieur public.

La priorité immédiate n'est pas un déploiement à grande échelle, mais la conception rigoureuse d'activités circonscrites dans lesquelles les étudiants tentent, reçoivent une rétroaction, vérifient, révisent, puis réalisent ultérieurement une tâche de manière autonome. Lorsque ces activités sont coconstruites, évaluées sous l'angle de la rétention et du transfert, et soutenues par un accès équitable et une gouvernance transparente, l'IA peut servir d'étayage à l'apprentissage humain. Lorsque ces conditions ne sont pas réunies, elle peut simplement accélérer l'exécution des tâches tout en dissimulant une compréhension fragile. La différence tient à la conception, aux preuves et à la responsabilité.

Références

1. Baddeley, A. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1–29. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>
2. Banihashem, S. K., Taghizadeh Kerman, N., Noroozi, O., Moon, J., & Drachsler, H. (2025). A systematic mapping review at the intersection of artificial intelligence and self-regulated learning. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 22, Article 50. <https://doi.org/10.1186/s41239-025-00548-8>
3. Bjork, R. A., Dunlosky, J., & Kornell, N. (2013). Self-regulated learning: Beliefs, techniques, and illusions. *Annual Review of Psychology*, 64, 417–444. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143823>
4. Butler, D. L., & Winne, P. H. (1995). Feedback and self-regulated learning: A theoretical synthesis. *Review of Educational Research*, 65(3), 245–281. <https://doi.org/10.3102/00346543065003245>
5. Cepeda, N. J., Pashler, H., Vul, E., Wixted, J. T., & Rohrer, D. (2006). Distributed practice in verbal recall tasks: A review and quantitative synthesis. *Psychological Bulletin*, 132(3), 354–380. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.3.354>
6. Crompton, H., & Burke, D. (2023). Artificial intelligence in higher education: The state of the field. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20, Article 22. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00392-8>
7. Dhurumraj, T., & Labuschagne, M. (2026). Artificial intelligence in higher education: Reconfiguring metacognition in unequal contexts. *Frontiers in Education*, 11, 1918374. <https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1918374>
8. Dunlosky, J., Rawson, K. A., Marsh, E. J., Nathan, M. J., & Willingham, D. T. (2013). Improving students' learning with effective learning techniques: Promising directions from cognitive and educational psychology. *Psychological Science in the Public Interest*, 14(1), 4–58. <https://doi.org/10.1177/1529100612453266>
9. Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81–112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>
10. Heffernan, N. T., & Heffernan, C. L. (2014). The ASSISTments ecosystem: Building a platform that brings scientists and teachers together for minimally invasive research on human learning and teaching. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 24(4), 470–497. <https://doi.org/10.1007/s40593-014-0024-x>
11. Huang, C.-Q., Lu, L.-N., Huang, Q.-H., Zhang, Y.-R., He, T., Tu, Y.-F., & Hwang, G.-J. (2026). Effects of artificial intelligence feedback on students' self-regulated learning in higher education: A three-level meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 38, Article 64. <https://doi.org/10.1007/s10648-026-10166-z>
12. Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günnemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., Stadler, M., Weller, J., Kuhn, J., & Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
13. Royaume du Maroc. (2024). National strategy for accelerating the transformation of the higher education, scientific research and innovation system: PACTE ESRI 2030. <https://www.maroc.ma/sites/default/files/2024-12/Enseignement-EN.pdf>

14. Lafhel, Y., & Belhaj, L. (2025). Literature review on cognitive neuroscience and technologies for improving learning practices in higher education in Morocco. *International Journal for Multidisciplinary Research*, 7(2), Article IJFMR250229002.
15. Lan, M., & Zhou, X. (2025). A qualitative systematic review on AI empowered self-regulated learning in higher education. *npj Science of Learning*, 10, Article 21. <https://doi.org/10.1038/s41539-025-00319-0>
16. Liu, C., Meng, H., Zhu, H., & Rong, C. (2026). Does AI-assisted learning improve students' learning outcomes? Evidence from a meta-analysis. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 35, 1021–1033. <https://doi.org/10.1007/s40299-026-01104-2>
17. Miao, F., & Holmes, W. (2023). Guidance for generative AI in education and research. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693>
18. Mjahad, R., Boukranaa, A., El Karfa, A., & Sandy, K. (2025). The implementation of artificial intelligence in Moroccan higher education: Benefits and challenges from the perception of academics. *SAGE Open*, 15(3), 1–11. <https://doi.org/10.1177/21582440251381402>
19. Roediger, H. L., III, & Karpicke, J. D. (2006). Test-enhanced learning: Taking memory tests improves long-term retention. *Psychological Science*, 17(3), 249–255. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01693.x>
20. Roll, I., & Wylie, R. (2016). Evolution and revolution in artificial intelligence in education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26, 582–599. <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0110-3>
21. Shute, V. J. (2008). Focus on formative feedback. *Review of Educational Research*, 78(1), 153–189. <https://doi.org/10.3102/0034654307313795>
22. Sweller, J. (2020). Cognitive load theory and educational technology. *Educational Technology Research and Development*, 68, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09701-3>
23. UNESCO. (2021). Recommendation on the ethics of artificial intelligence. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137>
24. Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory Into Practice*, 41(2), 64–70. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4102_2