

Software Architecture and Experimental Validation of a Shared Cloud System (Prototype) for Academic Management in Universities of the DRC.”

KALUMBA MULUMBA François¹

Département de Mathématique-Informatique (Facultés des Sciences et Technologies) de l'Université Pédagogique de Kananga (UPKAN)¹. Email : kalumbafrancois8@gmail.com Tel : +243 973-564-447

Abstract : This study focuses on the design and experimental validation of a shared cloud-based software architecture for the academic management of universities in the Democratic Republic of Congo (DRC). In response to the fragmentation of existing systems and the administrative burdens that hinder student mobility and institutional efficiency, the research proposes a cloud-computing model tailored to the Congolese context. The methodological approach is grounded in design science research, combining analysis of the current system, layered software modeling, prototype development, and experimental validation. The system integrates key features such as online enrollment, course management, grade tracking, credit transfers, and the secure issuance of diplomas. The expected outcomes include enhanced administrative efficiency, improved transparency, cost reduction, and facilitation of academic mobility. This contribution is both scientific, by proposing an adapted architectural model, and practical, by providing a functional tool to support the modernization of the Congolese higher education system.

Keywords: Software architecture, Cloud computing, Academic service sharing, Congolese universities, Prototype, Experimental validation, Digital academic management, Credit transfer, etc.

Architecture logicielle et validation expérimentale d'un système cloud mutualisé (prototype) pour la gestion académique des universités en RDC.

Résumé : Cette étude porte sur la conception et la validation expérimentale d'une architecture logicielle cloud mutualisée destinée à la gestion académique des universités en République Démocratique du Congo (RDC). Face à la fragmentation des systèmes actuels et aux lourdeurs administratives qui freinent la mobilité étudiante et l'efficacité institutionnelle, la recherche propose un modèle basé sur le cloud computing, adapté au contexte congolais. La démarche méthodologique adoptée s'inscrit dans une logique de *design science research*, combinant analyse du système existant, modélisation logicielle en couches, développement d'un prototype et validation expérimentale. Le système intègre des fonctionnalités clés telles que l'inscription en ligne, la gestion des unités d'enseignement, le suivi des notes, le transfert de crédits et la délivrance sécurisée des diplômes. Les résultats attendus concernent l'amélioration de l'efficacité administrative, la transparence, la réduction des coûts et la facilitation de la mobilité académique. Cette contribution se veut à la fois scientifique, en proposant un modèle architectural adapté, et pratique, en offrant un outil fonctionnel pour soutenir la modernisation du système universitaire en RDC.

Mots-clés : Architecture logicielle, Cloud computing, Mutualisation académique, Universités congolaises, Prototype, Validation expérimentale, Gestion académique numérique, Transfert de crédits, etc.

1. Introduction

Au cours des deux dernières décennies, la transformation numérique a profondément remodelé les pratiques de gestion dans les universités à travers le monde (Altbach & al., 2018). Alors que plusieurs pays africains se sont engagés dans l'adoption de systèmes académiques intégrés, la République Démocratique du Congo (RDC) accuse un retard considérable. La gestion académique y demeure fragmentée, largement basée sur des procédures manuelles, ce qui entraîne des lenteurs administratives, des erreurs fréquentes et un manque de transparence (UNESCO, 2021). Dans ce contexte, la mutualisation des services académiques à travers le cloud computing apparaît comme une solution innovante et pertinente, capable d'harmoniser les pratiques et de réduire les coûts liés à la gestion isolée de chaque institution (Mell & al., 2011).

La problématique fondamentale s'articule autour de la question suivante : *comment concevoir et valider expérimentalement une architecture logicielle basée sur le cloud computing pour la gestion académique mutualisée des universités en RDC ?* Cette

interrogation découle du constat que les universités congolaises, en opérant de manière cloisonnée, peinent à assurer la mobilité des étudiants, notamment dans le cadre du transfert de crédits, et à produire des données fiables au niveau national (Kalumba, 2025).

L'objectif principal de cette recherche est de proposer une architecture logicielle cloud mutualisée adaptée au contexte congolais et d'en tester la faisabilité à travers le développement et la validation expérimentale d'un prototype. De façon spécifique, il s'agit (1) d'analyser les limites du système actuel, (2) de concevoir une architecture logicielle modulaire et sécurisée, (3) de développer un prototype fonctionnel, et (4) de valider son efficacité par des tests techniques et utilisateurs.

L'opportunité de cette étude réside dans son alignement avec le Plan National du Numérique – Horizon 2025 adopté par la RDC, qui fait du numérique un levier stratégique pour moderniser l'éducation et l'administration publique (Ministère du Numérique, 2019). Son importance se justifie également par l'apport scientifique attendu : fournir un modèle original de mutualisation académique dans un contexte africain francophone peu documenté, tout en offrant une solution pratique aux universités congolaises pour améliorer leur efficacité et leur compétitivité.

2. Revue de la littérature et cadre théorique.

2.1. Travaux existants sur la gestion académique numérique.

La transformation numérique de l'enseignement supérieur est devenue un impératif mondial. Dans les pays occidentaux, plusieurs universités ont adopté des *Student Information Systems* (SIS) intégrés, permettant de gérer les inscriptions, les programmes, les notes et les diplômes de manière centralisée et sécurisée (Alves & Uhomoibhi, 2010). En France, par exemple, la plateforme nationale *Parcoursup* illustre une digitalisation avancée de la gestion des admissions, qui facilite la mobilité académique et garantit une transparence accrue (MESRI, 2020). En Afrique, des expériences émergent également : l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar a mis en place un système de gestion académique en ligne qui réduit les délais d'inscription et améliore la fiabilité des données (Ndoye, 2019). L'Afrique du Sud a développé des solutions intégrées interuniversitaires qui favorisent la coordination nationale des données étudiantes (Czerniewicz & al., 2014). Ces exemples montrent que la numérisation académique est non seulement faisable mais bénéfique. Toutefois, en RDC, les institutions restent majoritairement tributaires de procédures manuelles et fragmentées, ce qui crée un écart significatif avec les standards internationaux (Kalumba, 2025).

2.2. Cloud computing et modèles d'architecture logicielle (SaaS, PaaS, IaaS)

Le cloud computing constitue l'une des innovations technologiques les plus marquantes pour les systèmes d'information. Mell et Grance (2011) le définissent comme un modèle permettant l'accès ubiquitaire (cela veut dire qu'il est accessible de partout, à tout moment et sur n'importe quel appareil (ordinateur, smartphone, tablette, etc.), pourvu qu'il y ait une connexion au réseau.), pratique et à la demande à des ressources informatiques partagées. Ainsi, il existe traditionnellement trois modèles dominants qui structurent son utilisation : *Infrastructure as a Service* (IaaS), qui offre des ressources de calcul et de stockage virtualisées. *Platform as a Service* (PaaS), qui fournit un environnement de développement et de déploiement. Et *Software as a Service* (SaaS), qui met à disposition des applications accessibles via Internet. Pour le secteur académique, le modèle SaaS se révèle le plus adapté, car il permet d'offrir un service commun à plusieurs institutions tout en réduisant amplement les coûts d'infrastructure et de maintenance (Marston et al., 2011). En outre, ce modèle facilite autant la mise à jour centralisée, une interopérabilité accrue, une évolutivité ascendante, un accès distant intelligent, et une réduction des coûts de maintenance, ce qui est particulièrement pertinent pour un pays vaste et hétérogène comme la RDC.

2.3. Mutualisation des services académiques : définitions et enjeux.

La mutualisation, désigne la mise en commun de services, de ressources ou d'outils, par plusieurs institutions afin de réduire les coûts et d'harmoniser les pratiques (Vinck, 2017). Dans un contexte marqué par la prolifération d'institutions universitaires aux moyens disproportionnés, elle permet de réduire les coûts, d'améliorer la qualité des services et de garantir une certaine homogénéité dans l'application des normes académiques (UNESCO, 2021). Appliquée à la gestion académique, la mutualisation peut inclure l'inscription en ligne, la gestion des unités d'enseignement, le transfert des crédits et la délivrance des diplômes. Ses principaux avantages résident dans les économies d'échelle, l'interopérabilité des systèmes entre institutions et l'amélioration de la transparence. Pour la RDC, où la prolifération d'établissements entraîne une grande hétérogénéité, la mutualisation est un levier stratégique pour renforcer la gouvernance académique et faciliter la mobilité étudiante. Toutefois, elle nécessite un cadre de gouvernance robuste, une volonté politique affirmée et une infrastructure technologique fiable pour éviter les résistances institutionnelles et les problèmes de sécurité des données.

2.4. Modèles d'adoption et d'acceptation technologique (TAM, UTAUT).

La réussite d'un système académique mutualisé ne dépend pas exclusivement de sa faisabilité technique mais aussi de son acceptation par les utilisateurs finaux. Par conséquent, l'acceptation des technologies est un facteur déterminant du succès des systèmes numériques. Ainsi il existe plusieurs modèles qui permettent d'adopter et d'accepter un système numérique proposé : Le *Technology Acceptance Model (TAM)*, développé par Davis (1989), met en évidence deux déterminants principaux de l'adoption : l'utilité perçue et la facilité d'utilisation. En complément, Le *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT)*, proposé par Venkatesh et al. (2003), enrichit cette analyse en ajoutant des quatre facteurs tels que la performance attendue, l'effort requis, l'influence sociale et les conditions facilitantes. Dans le cas de la gestion académique en RDC, ces modèles permettent de comprendre que l'adoption d'un système cloud mutualisé dépendra autant de la perception de ses bénéfices pratiques que de l'existence de conditions favorables (infrastructures, formation, accompagnement).

2.5. Pertinence de la validation par prototypage dans les systèmes d'information

La validation par prototypage est une approche privilégiée dans la recherche en ingénierie des systèmes d'information. Elle consiste à développer un modèle expérimental fonctionnel qui permet de tester la faisabilité technique et d'évaluer l'expérience utilisateur avant un déploiement à grande échelle (Nunamaker et al., 1991). Ce processus favorise également la détection précoce des erreurs, l'ajustement de l'architecture et l'amélioration de l'ergonomie du système. Pour un projet comme la mutualisation des services académiques en RDC, le prototypage est particulièrement pertinent car il permet d'identifier les contraintes liées à la bande passante, d'évaluer la performance du système en conditions réelles et de mesurer l'acceptabilité des utilisateurs. Dans le cas de la RDC, où les infrastructures technologiques et la connectivité présentent encore des défis, le recours au prototypage est essentiel pour évaluer la viabilité réelle d'un système cloud mutualisé et proposer des ajustements adaptés au contexte. En outre, il constitue une étape stratégique pour convaincre les décideurs et les institutions de l'intérêt d'une solution cloud avant un investissement à grande échelle.

3. Méthodologie.

3.1. Approche de recherche adoptée et diagnostic.

Cette étude s'inscrit dans une démarche de design science research (DSR), une approche qui vise à concevoir et à évaluer des artefacts technologiques répondant à un problème réel (Hevner et al., 2004). La DSR se justifie par l'objectif de la recherche : concevoir une architecture logicielle de gestion académique mutualisée et en tester la validité via un prototype. Elle combine ainsi la rigueur scientifique de la modélisation théorique avec la pertinence pratique de la validation empirique. Par ailleurs, un diagnostic préalable a été réalisé dans plusieurs institutions universitaires de la RDC surtout dans la ville de Kananga afin d'identifier les limites du système actuel. Les données ont été collectées à travers des entretiens semi-directifs avec des gestionnaires, des enseignants et des étudiants, ainsi que par l'observation des procédures en vigueur. Les résultats mettent en évidence une fragmentation des outils, une faible interopérabilité et une dépendance aux supports papier, générant des inefficacités majeures (Kalumba, 2025). Ces constats renforcent la nécessité d'une solution numérique commune basée sur le cloud.

3.2. Démarche de conception de l'architecture logicielle.

La conception de l'architecture s'est appuyée sur une modélisation en UML (*Unified Modeling Language*), permettant de définir les cas d'utilisation, les diagrammes de classes et de séquence du système. L'architecture a été conçue selon un modèle en couches (présentation, application, données, infrastructure cloud) afin de garantir la modularité et la scalabilité. Le choix du modèle SaaS s'est imposé pour faciliter l'accès multi-institutionnel, réduire les coûts d'infrastructure locale et assurer une administration centralisée. La conception a également intégré des exigences de sécurité (authentification, chiffrement) et d'interopérabilité entre universités. De plus, le développement du prototype a suivi une méthodologie agile, permettant une livraison itérative et incrémentale des fonctionnalités. Les premières versions ont intégré les modules essentiels tels que l'inscription en ligne, gestion des unités d'enseignement, saisie et consultation des notes, transfert de crédits. L'environnement technologique choisi repose sur une infrastructure cloud open source (par exemple OpenStack), avec une couche applicative développée en langage web (*PHP*, *Python* ou *Java* selon les besoins). Les bases de données relationnelles (*MySQL/PostgreSQL*) ont été utilisées pour assurer la fiabilité et la portabilité des données.

3.3. Critères et indicateurs retenus pour la validation expérimentale

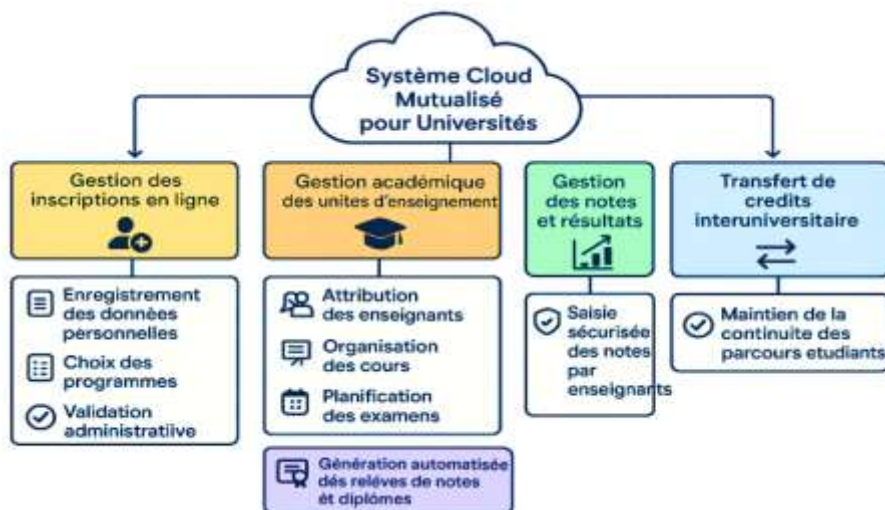
La validation du prototype a été réalisée à travers des tests fonctionnels et techniques, ainsi que par une expérimentation pilote auprès d'utilisateurs réels. Les critères retenus incluent : *Performance technique* (temps de réponse, disponibilité du système,

connexions simultanées) ; *Sécurité* (protection des données, gestion des droits d'accès, traçabilité des opérations) ; *Utilisabilité* (facilité d'utilisation, satisfaction des utilisateurs, accessibilité en ligne) ; *Interopérabilité* (compatibilité avec les systèmes existants, échange de données interuniversitaires) ; et *Acceptabilité organisationnelle* (adhésion des institutions, pertinence perçue par les décideurs). Ces indicateurs visent à vérifier non seulement la faisabilité technique de l'architecture, mais aussi son potentiel d'adoption et de mise à l'échelle dans le système universitaire congolais.

4. Conception de l'architecture logicielle.

4.1. Spécifications fonctionnelles

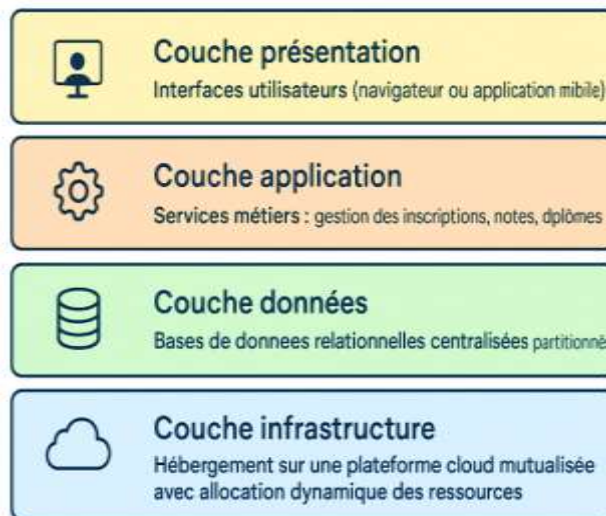
Les spécifications fonctionnelles du système cloud mutualisé reposent sur les besoins identifiés lors du diagnostic des universités congolaises. Le système doit permettre : la *gestion des inscriptions en ligne*, incluant l'enregistrement des données exclusives, le choix des programmes et la validation administrative ; La *gestion académique des unités d'enseignement (EU)*, incluant l'organisation des cours, l'attribution des enseignants, et la planification des examens ; La *gestion des notes et des résultats*, avec la saisie sécurisée par les enseignants et la consultation en temps réel par les étudiants ; Le *transfert de crédits interuniversitaire*, permettant aux étudiants de poursuivre leur parcours académique dans une autre institution sans perte de données et la *génération automatisée des relevés de notes et diplômes*, avec des mécanismes d'authentification et de traçabilité pour éviter les falsifications. Ces spécifications traduisent la volonté de mettre en place une plateforme unifiée qui standardise les processus tout en respectant l'autonomie des institutions.



Ce schéma fonctionnel du système cloud mutualisé pour les universités congolaises illustre une architecture innovante qui centralise et harmonise les processus académiques autour de cinq modules clés : inscriptions en ligne, gestion des unités d'enseignement, gestion des notes, transfert de crédits et génération sécurisée de diplômes. Cette approche favorise la transparence, la mobilité académique et la lutte contre la falsification des documents, tout en modernisant la gestion universitaire. Toutefois, sa réussite dépend fortement de la robustesse des infrastructures numériques, de la formation des utilisateurs, de l'alignement académique entre institutions et d'une gouvernance inclusive capable d'imposer des standards communs. En somme, ce schéma constitue une avancée stratégique pour l'enseignement supérieur en RDC, mais son efficacité reposera sur la capacité à surmonter les défis techniques, humains et institutionnels qui pourraient freiner sa mise en œuvre.

4.2. Architecture logique du système

L'architecture logicielle est conçue selon un modèle en couches pour garantir la modularité, la flexibilité et la maintenabilité du système : la *couche présentation* (interfaces utilisateurs accessibles via un navigateur ou une application mobile). La *couche application* (services métiers : gestion des inscriptions, notes, crédits, diplômes). La *couche données* (bases de données relationnelles centralisées mais partitionnées par institution). Et la *couche infrastructure* (hébergement sur une plateforme cloud mutualisée avec allocation dynamique des ressources). Cette approche en couches facilite la séparation des responsabilités, la réutilisabilité des composants et l'évolutivité future du système.

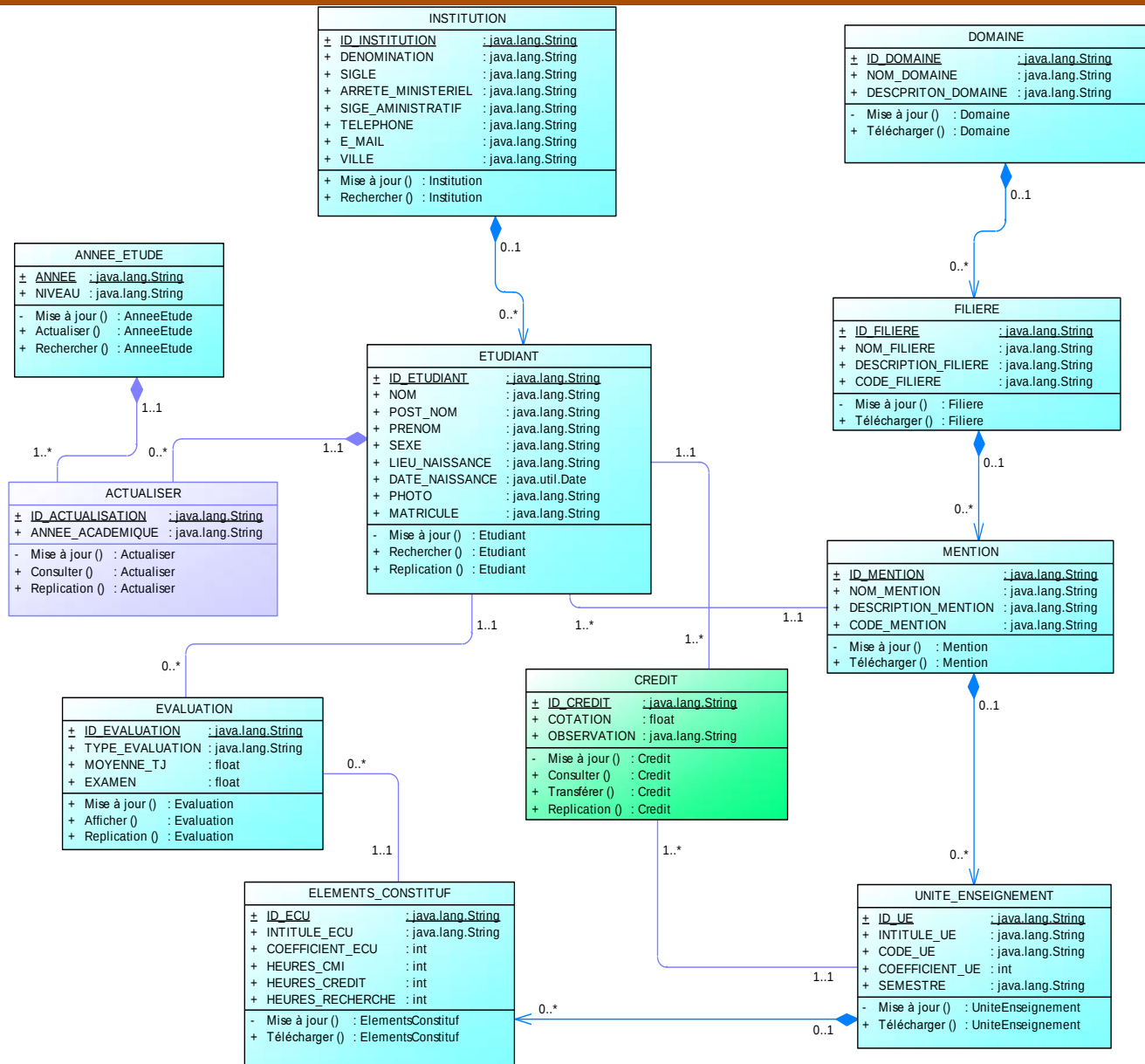


Ce schéma illustre une architecture logicielle en couches favorisant modularité et clarté. La couche « présentation » sert d'interface entre les usagers et la plateforme, accessible via navigateur web ou application mobile, assurant ainsi une meilleure inclusion numérique. La couche « application » constitue le cœur fonctionnel en centralisant les services académiques tels que la gestion des inscriptions, le suivi des unités d'enseignement, la saisie des notes, la validation des crédits et la génération des diplômes. La couche « données » garantit la sécurité et la centralisation des informations, tout en permettant une partition par institution pour conserver une autonomie locale. Enfin, la couche « infrastructure », reposant sur un cloud mutualisé, offre une allocation dynamique des ressources et une montée en charge adaptée aux périodes d'activité intense. Cette organisation en couches assure non seulement la cohérence et l'automatisation des opérations, mais aussi la flexibilité, la maintenabilité et l'évolutivité du système pour l'enseignement supérieur congolais.

4.3. Modèle de données et interopérabilité

Le modèle de données repose sur une base relationnelle unifiée, avec des schémas standardisés (tables *Étudiants*, *Unités d'enseignement*, *Notes*, *Crédits*, *Diplômes*). Chaque université dispose d'un espace logique distinct au sein de la base globale, permettant l'interopérabilité tout en respectant l'autonomie institutionnelle. Des *API RESTful* assurent la communication avec d'autres systèmes existants (comptabilité, bibliothèque, plateformes d'e-learning). L'adoption de standards ouverts (JSON, XML) garantit l'intégration avec des services tiers et facilite l'échange sécurisé de données.

Diagramme de classe



Liste des associations

Nom	Code	Classe B	Classe A	Rôle A	Rôle B	Multiplicité A	Multiplicité B
ACTUALISER	actualiser	ACTUALISER	ANNEE_ETUDE			1..1	1..*
ACTUALISER	actualiser	ACTUALISER	ETUDIANT			1..1	0..*
Association_12	association12	FILIERE	DOMAINE			0..1	0..*
Association_13	association13	MENTION	FILIERE			0..1	0..*
Association_14	association14	UNITE_ENSEIGN	MENTION			0..1	0..*
Association_15	association15	ELEMENTS_CONSTITUF	UNITE_ENSEIGNEMENT			0..1	0..*

Association_16	association16	ETUDIANT	INSTITUTION			0..1	0..*
CONCERNE	concerne	EVALUATION	ELEMENTS_CONSTITUTIF			1..1	0..*
INSCRIT	inscrit	ETUDIANT	MENTION			1..1	1..*
LIER	lier	CREDIT	UNITE_ENSEIGNEMENT			1..1	1..*
OBTENIR	obtenir	CREDIT	ETUDIANT			1..1	1..*
PARTICIPE R	participer	EVALUATION	ETUDIANT			1..1	0..*

Liste des attributs étendus du modèle DIAGRAMME DE CLASSE

Nom	Type de données	Valeur	Nom de la cible
JarFileName	(Chaîne)	%Code%.jar	Java
MessageDestinations	(Texte)		Java
SchemaNamespace	(Chaîne)	http://www.w3.org/2001/XMLSchema	WSDL for Java
SoapBindingTransport	(Chaîne)	http://schemas.xmlsoap.org/soap/http	WSDL for Java
SoapBodyNamespace	(Chaîne)		WSDL for Java

Liste des classes

Nom	Code	Parent	Générer	Visibilité	Abs.	Type de classificateur
ACTUALISER	Actualiser	Modèle orienté objet 'DIAGRAMME DE CLASSE'	X	public		Classe
ANNEE_ETUDE	AnneeEtude	Modèle orienté objet 'DIAGRAMME DE CLASSE'	X	public		Classe
CREDIT	Credit	Modèle orienté objet 'DIAGRAMME DE CLASSE'	X	public		Classe
DOMAINE	Domaine	Modèle orienté objet 'DIAGRAMME DE CLASSE'	X	public		Classe
ELEMENTS_CONST.	Elements_Constitutif	Modèle orienté objet 'DIAGRAMME DE CLASSE'	X	public		Classe
ETUDIANT	Etudiant	Modèle orienté objet 'DIAGRAMME DE CLASSE'	X	public		Classe
EVALUATION	Evaluation	Modèle orienté objet 'DIAGRAMME DE CLASSE'	X	public		Classe
FILIERE	Filiere	Modèle orienté objet 'DIAGRAMME DE CLASSE'	X	public		Classe
INSTITUTION	Institution	Modèle orienté objet 'DIAGRAMME DE CLASSE'	X	public		Classe
MENTION	Mention	Modèle orienté objet 'DIAGRAMME DE CLASSE'	X	public		Classe
UNITE_ENSEIGN.	Unite_Enseignement	Modèle orienté objet 'DIAGRAMME DE CLASSE'	X	public		Classe

Liste des attributs de classe

Nom	Code	Affiché	Dom.	Type de données	Visibilité	Classificateur	L S
ID_ACTUALISATION	idActualisation	X		java.lang.String	public	ACTUALISER	

ANNEE_ACADEMIQUE	anneeAcademique	X		java.lang.String	public	ACTUALISER	
ANNEE	annee	X		java.lang.String	public	ANNEE_ETUDE	
NIVEAU	niveau	X		java.lang.String	public	ANNEE_ETUDE	
ID_INSTITUTION	idInstitution	X		java.lang.String	public	INSTITUTION	
DENOMINATION	denomination	X		java.lang.String	public	INSTITUTION	
SIGLE	sigle	X		java.lang.String	public	INSTITUTION	
ARRETE_MINISTERIEL	arreteMinisteriel	X		java.lang.String	public	INSTITUTION	
SIGE_AMINISTRATIF	sigeAministratif	X		java.lang.String	public	INSTITUTION	
TELEPHONE	telephone	X		java.lang.String	public	INSTITUTION	
E_MAIL	eMail	X		java.lang.String	public	INSTITUTION	
VILLE	ville	X		java.lang.String	public	INSTITUTION	
ID_DOMAINE	idDomaine	X		java.lang.String	public	DOMAINE	
NOM_DOMAINE	nomDomaine	X		java.lang.String	public	DOMAINE	
DESCPRITON_DOMAINE	descpritonDomaine	X		java.lang.String	public	DOMAINE	
ID_FILIERE	idFiliere	X		java.lang.String	public	FILIERE	
NOM_FILIERE	nomFiliere	X		java.lang.String	public	FILIERE	
DESCRIPTION_FILIERE	descriptionFiliere	X		java.lang.String	public	FILIERE	
CODE_FILIERE	codeFiliere	X		java.lang.String	public	FILIERE	
ID_MENTION	idMention	X		java.lang.String	public	MENTION	
NOM_MENTION	nomMention	X		java.lang.String	public	MENTION	
DESCRIPTION_MENTION	descriptionMention	X		java.lang.String	public	MENTION	
CODE_MENTION	codeMention	X		java.lang.String	public	MENTION	
ID_UE	idUe	X		java.lang.String	public	UNITE_ENSEIGNEMENT	
INTITULE_UE	intituleUe	X		java.lang.String	public	UNITE_ENSEIGNEMENT	
CODE_UE	codeUe	X		java.lang.String	public	UNITE_ENSEIGNEMENT	
COEFFICIENT_UE	coefficientUe	X		int	public	UNITE_ENSEIGNEMENT	
SEMESTRE	semestre	X		java.lang.String	public	UNITE_ENSEIGNEMENT	

ID_ECU	idEcu	X		java.lang.String	public	ELEMENTS_CONSTITUTIF	
INTITULE_ECU	intituleEcu	X		java.lang.String	public	ELEMENTS_CONSTITUTIF	
COEFFICIENT_ECU	coefficientEcu	X		int	public	ELEMENTS_CONSTITUTIF	
HEURES_CMI	heuresCmi	X		int	public	ELEMENTS_CONSTITUTIF	
HEURES_CREDIT	heuresCredit	X		int	public	ELEMENTS_CONSTITUTIF	
HEURES_RECHERCHE	heuresRecherche	X		int	public	ELEMENTS_CONSTITUTIF	
ID_ETUDIANT	idEtudiant	X		java.lang.String	public	ETUDIANT	
NOM	nom	X		java.lang.String	public	ETUDIANT	
POST_NOM	postNom	X		java.lang.String	public	ETUDIANT	
PRENOM	prenom	X		java.lang.String	public	ETUDIANT	
SEXE	sexe	X		java.lang.String	public	ETUDIANT	
LIEU_NAISSANCE	lieuNaissance	X		java.lang.String	public	ETUDIANT	
DATE_NAISSANCE	dateNaissance	X		java.util.Date	public	ETUDIANT	
PHOTO	photo	X		java.lang.String	public	ETUDIANT	
MATRICULE	matricule	X		java.lang.String	public	ETUDIANT	
ID_EVALUATION	idEvaluation	X		java.lang.String	public	EVALUATION	
TYPE_EVALUATION	typeEvaluation	X		java.lang.String	public	EVALUATION	
MOYENNE_TJ	moyenneTj	X		float	public	EVALUATION	
EXAMEN	examen	X		float	public	EVALUATION	
ID_CREDIT	idCredit	X		java.lang.String	public	CREDIT	
COTATION	cotation	X		float	public	CREDIT	
OBSERVATION	observation	X		java.lang.String	public	CREDIT	

Liste des identifiants de classe

Nom	Code	Parent
ID_ETUDIANT	ID_ETUDIANT	Classe 'ACTUALISER'
ANNEE	ANNEE	Classe 'ANNEE_ETUDE'
ID_INSTITUTION	ID_INSTITUTION	Classe 'INSTITUTION'
ID_DOMAINE	ID_DOMAINE	Classe 'DOMAINE'
ID_FILIERE	ID_FILIERE	Classe 'FILIERE'
ID_MENTION	ID_MENTION	Classe 'MENTION'
ID_UE	ID_UE	Classe 'UNITE_ENSEIGNEMENT'
ID_ECU	ID_ECU	Classe 'ELEMENTS_CONSTITUTIF'
ID_ETUDIANT	ID_ETUDIANT	Classe 'ETUDIANT'
ID_EVALUATION	ID_EVALUATION	Classe 'EVALUATION'

ID_CREDIT	ID_CREDIT	Classe 'CREDIT'
-----------	-----------	-----------------

Liste des opérations de classe

Nom	Code	Type de résultat	Visibilit é	Abs .	Fin al	Statiqu e	Classificateur	L S
Mise à jour	miseAJour	Actualiser	private	X			ACTUALISER	
Consulter	consulter	Actualiser	public	X			ACTUALISER	
Replication	replication	Actualiser	public	X			ACTUALISER	
Mise à jour	miseAJour	AnneeEtude	private	X			ANNEE_ETUDE	
Actualiser	actualiser	AnneeEtude	public	X			ANNEE_ETUDE	
Rechercher	rechercher	AnneeEtude	public	X			ANNEE_ETUDE	
Mise à jour	miseAJour	Institution	public	X			INSTITUTION	
Rechercher	rechercher	Institution	public	X			INSTITUTION	
Mise à jour	miseAJour	Domaine	private	X			DOMAINE	
Télécharger	telecharger	Domaine	public	X			DOMAINE	
Mise à jour	miseAJour	Filiere	private	X			FILIERE	
Télécharger	telecharger	Filiere	public	X			FILIERE	
Mise à jour	miseAJour	Mention	private	X			MENTION	
Télécharger	telecharger	Mention	public	X			MENTION	
Mise à jour	miseAJour	UniteEnseignement	private	X			UNITE_ENSEIGN.	
Télécharger	telecharger	UniteEnseignement	public				UNITE_ENSEIGN.	
Mise à jour	miseAJour	ElementsConstitutif	private	X			ELEMENTS_CONS T.	
Télécharger	telecharger	ElementsConstitutif	public	X			ELEMENTS_CONS T.	
Mise à jour	miseAJour	Etudiant	private	X			ETUDIANT	
Rechercher	rechercher	Etudiant	public	X			ETUDIANT	
Replication	replication	Etudiant	public				ETUDIANT	
Mise à jour	miseAJour	Evaluation	public	X			EVALUATION	
Afficher	afficher	Evaluation	public	X			EVALUATION	
Replication	replication	Evaluation	public	X			EVALUATION	
Mise à jour	miseAJour	Credit	private	X			CREDIT	
Consulter	consulter	Credit	public	X			CREDIT	
Transférer	transferer	Credit	public	X			CREDIT	
Replication	replication	Credit	public				CREDIT	

Diagramme Physique de données



Liste des colonnes de table

Nom	Code
ANNEE	ANNEE
ID_ETUDIANT	ID_ETUDIANT
ID_ACTUALISATION	ID_ACTUALISATION
ANNEE_ACADEMIQUE	ANNEE_ACADEMIQUE
ANNEE	ANNEE
NIVEAU	NIVEAU
DESCRIPTION_ANNEE	DESCRIPTION_ANNEE
ID_INSTITUTION	ID_INSTITUTION
DENOMINATION	DENOMINATION
SIGLE	SIGLE
ARRETE_MINISTERIEL	ARRETE_MINISTERIEL
SIGE_AMINISTRATIF	SIGE_AMINISTRATIF
TELEPHONE	TELEPHONE
E_MAIL	E_MAIL
VILLE	VILLE
ID_DOMAINE	ID_DOMAINE
NOM_DOMAINE	NOM_DOMAINE
DESCPRITO_DOMAINE	DESCPRITO_DOMAINE
ID_FILIERE	ID_FILIERE
ID_DOMAINE	ID_DOMAINE
NOM_FILIERE	NOM_FILIERE
DESCRIPTION_FILIERE	DESCRIPTION_FILIERE
CODE_FILIERE	CODE_FILIERE
ID_MENTION	ID_MENTION
ID_FILIERE	ID_FILIERE
NOM_MENTION	NOM_MENTION
DESCRIPTION_MENTION	DESCRIPTION_MENTION
CODE_MENTION	CODE_MENTION
ID_UE	ID_UE
ID_MENTION	ID_MENTION
INTITULE_UE	INTITULE_UE
CODE_UE	CODE_UE
COEFFICIENT_UE	COEFFICIENT_UE
SEMESTRE	SEMESTRE
ID_ECU	ID_ECU
ID_UE	ID_UE
INTITULE_ECU	INTITULE_ECU
COEFFICIENT_ECU	COEFFICIENT_ECU
HEURES_CMI	HEURES_CMI
HEURES_CREDIT	HEURES_CREDIT
HEURES_RECHERCHE	HEURES_RECHERCHE
ID_ETUDIANT	ID_ETUDIANT
ID_INSTITUTION	ID_INSTITUTION
ID_MENTION	ID_MENTION
NOM	NOM
POST_NOM	POST_NOM
PRENOM	PRENOM
SEXE	SEXE
LIEU_NAISSANCE	LIEU_NAISSANCE
DATE_NAISSANCE	DATE_NAISSANCE
PHOTO	PHOTO
MATRICULE	MATRICULE
ID_EVALUATION	ID_EVALUATION

ID_ETUDIANT	ID_ETUDIANT
ID_ECU	ID_ECU
TYPE_EVALUATION	TYPE_EVALUATION
MOYENNE_TJ	MOYENNE_TJ
EXAMEN	EXAMEN
ID_CREDIT	ID_CREDIT
ID_ETUDIANT	ID_ETUDIANT
ID_UE	ID_UE
COTATION	COTATION
OBSERVATION	OBSERVATION

Liste des index de table

Nom	Code	Uniq ue	Clust er	Primai re	Clé étr.	Table
ACTUALISER_PK	ACTUALISER_PK	X	X	X		ACTUALISER
ACTUALISER_FK	ACTUALISER_FK				X	ACTUALISER
ACTUALISER2_FK	ACTUALISER2_FK				X	ACTUALISER
ANNEE_ETUDE_PK	ANNEE_ETUDE_PK	X		X		ANNEE_ETUDE
INSTITUTION_PK	INSTITUTION_PK	X		X		INSTITUTION
DOMAINE_PK	DOMAINE_PK	X		X		DOMAINE
FILIERE_PK	FILIERE_PK	X		X		FILIERE
COMPOSER_FK	COMPOSER_FK				X	FILIERE
OPTION_PK	OPTION_PK	X		X		MENTION
INCLURE_FK	INCLURE_FK				X	MENTION
UNITE_ENSEIGNEMENT_PK	UNITE_ENSEIGNEMENT_PK	X		X		UNITE_ENSEIGNEMENT
ORGANISER_FK	ORGANISER_FK				X	UNITE_ENSEIGNEMENT
ELEMENTS_CONSTITUTIF_PK	ELEMENTS_CONSTITUTIF_PK	X		X		ELEMENTS_CONSTITUTIF
CONSTITUER_FK	CONSTITUER_FK				X	ELEMENTS_CONSTITUTIF
ETUDIANT_PK	ETUDIANT_PK	X		X		ETUDIANT
APPARTENIR_FK	APPARTENIR_FK				X	ETUDIANT
INSCRIT_FK	INSCRIT_FK				X	ETUDIANT
EVALUATION_PK	EVALUATION_PK	X		X		EVALUATION
PARTICIPER_FK	PARTICIPER_FK				X	EVALUATION
CONCERNE_FK	CONCERNE_FK				X	EVALUATION
CREDIT_PK	CREDIT_PK	X		X		CREDIT
LIER_FK	LIER_FK				X	CREDIT
OBTENIR_FK	OBTENIR_FK				X	CREDIT

Liste des références

Nom	Code	Table parent	Table enfant
ACTUALISER	ACTUALISER2	ETUDIANT	ACTUALISER
ACTUALISER	ACTUALISER	ANNEE_ETUDE	ACTUALISER
APPARTENIR	APPARTENIR	INSTITUTION	ETUDIANT
COMPOSER	COMPOSER	DOMAINE	FILIERE
CONCERNE	CONCERNE	ELEMENTS_CONSTUTIF	EVALUATION
CONSTITUER	CONSTITUER	UNITE_ENSEIGNEMENT	ELEMENTS_CONSTUTIF
INCLURE	INCLURE	FILIERE	MENTION
INSCRIT	INSCRIT	MENTION	ETUDIANT
LIER	LIER	UNITE_ENSEIGNEMENT	CREDIT
OBTENIR	OBTENIR	ETUDIANT	CREDIT

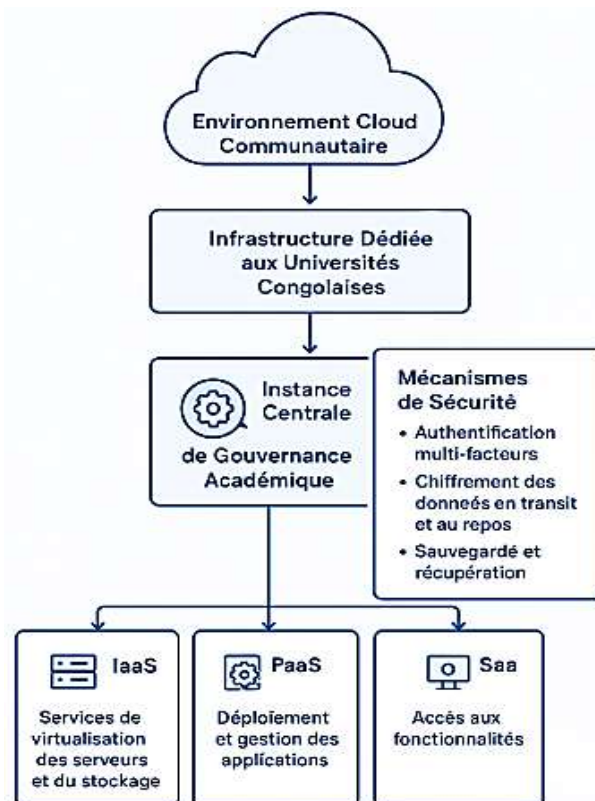
ORGANISER	ORGANISER	MENTION	UNITE_ENSEIGNEMENT
PARTICIPER	PARTICIPER	ETUDIANT	EVALUATION

Liste des tables

Nom	Code
ACTUALISER	ACTUALISER
ANNEE_ETUDE	ANNEE_ETUDE
CREDIT	CREDIT
DOMAINE	DOMAINE
ELEMENTS_CONSTUTIF	ELEMENTS_CONSTUTIF
ETUDIANT	ETUDIANT
EVALUATION	EVALUATION
FILIERE	FILIERE
INSTITUTION	INSTITUTION
MENTION	MENTION
UNITE_ENSEIGNEMENT	UNITE_ENSEIGNEMENT

4.4. Architecture technique

Sur le plan technique, le système est déployé dans un environnement *cloud communautaire*, dédié aux universités congolaises et géré par une instance centrale de gouvernance académique. L'infrastructure s'appuie sur des services *IaaS* pour la virtualisation des serveurs et du stockage, *PaaS* pour le déploiement et la gestion des applications, et *SaaS* pour l'accès aux fonctionnalités par les utilisateurs finaux. Des mécanismes de sécurité sont intégrés tels que l'authentification multi-facteurs pour l'accès des utilisateurs, le chiffrement des données en transit et au repos ainsi que le système de sauvegarde et de récupération pour garantir la continuité du service. Bref, cette architecture permettra une haute disponibilité, une évolutivité automatique en fonction de la charge, et une résilience face aux interruptions du réseau.



Ce schéma illustre de manière détaillée l'architecture technique du système cloud communautaire conçu spécifiquement pour les universités congolaises. Il met en évidence la répartition structurée des services selon les trois principaux modèles de cloud : IaaS (Infrastructure as a Service), PaaS (Platform as a Service) et SaaS (Software as a Service), chacun jouant un rôle précis dans la gestion et l'optimisation des ressources informatiques. Par ailleurs, le schéma montre l'intégration de mécanismes de sécurité avancés, tels que l'authentification multi-facteurs, le chiffrement des données en transit et au repos, ainsi que la surveillance continue des accès et des activités, garantissant ainsi la confidentialité et l'intégrité des informations. L'ensemble traduit une approche méthodique et résiliente, visant à assurer non seulement la haute disponibilité et l'évolutivité du système, mais également la continuité du service dans un environnement mutualisé, sécurisé et adapté aux besoins académiques et administratifs des universités participantes.

4.5. Gouvernance et gestion des droits d'accès

La gouvernance du système repose sur un modèle hiérarchisé et décentralisé, qui est disposé de la manière suivante : au *Niveau national* (une autorité académique centrale définit les normes, administre le système global et veille à la conformité). Au *Niveau institutionnel* (chaque université gère ses propres données et ses utilisateurs : étudiants, enseignants, administrateurs). Et au *Niveau utilisateur* (des profils différenciés sont définis (étudiant, enseignant, gestionnaire, administrateur) avec des droits d'accès spécifiques). Ce modèle de gouvernance garantit la clarté, le respect des responsabilités institutionnelles et la protection des données sensibles.

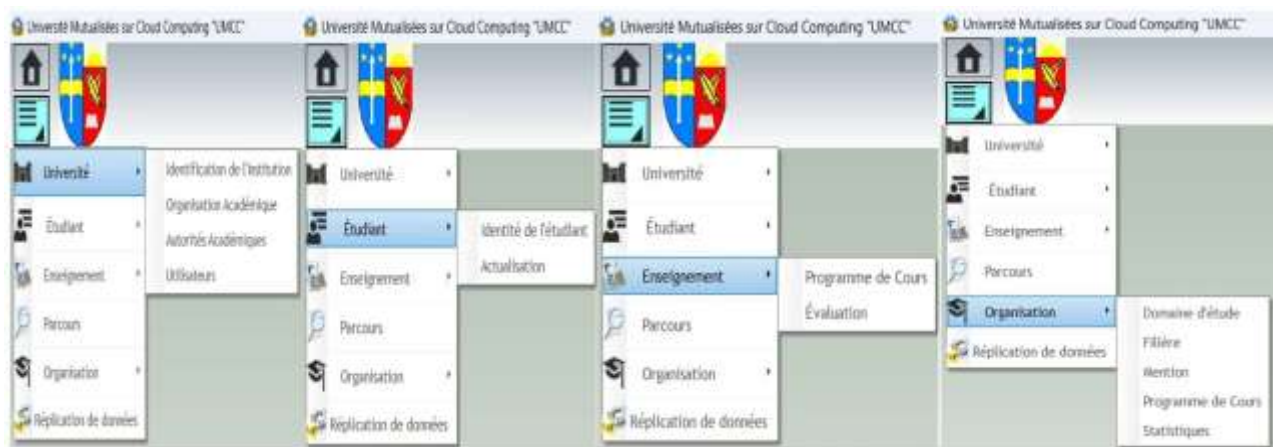
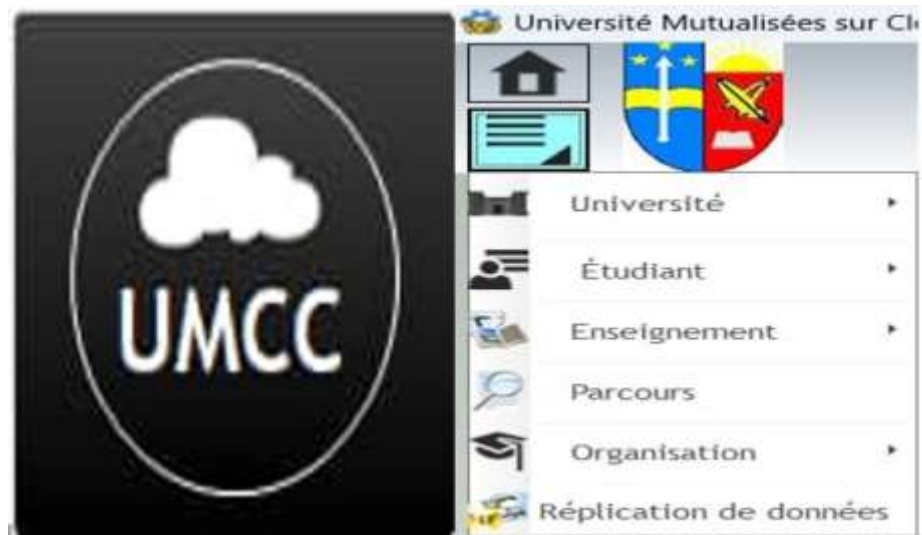


Ce schéma illustre de manière claire et hiérarchisée la gouvernance du système académique. Il met en évidence la répartition des responsabilités à différents niveaux : l'autorité nationale, qui définit les normes, supervise l'ensemble du système et assure la conformité réglementaire ; les institutions académiques, qui disposent d'une autonomie dans la gestion de leurs propres données, utilisateurs et processus internes ; et enfin, les profils finaux (étudiants, enseignants, gestionnaires et administrateurs) qui interagissent avec le système selon des droits d'accès différenciés, adaptés à leurs rôles spécifiques. Cette structuration garantit non seulement la transparence et la responsabilité dans la gestion des informations, mais elle renforce également la protection des données sensibles, en limitant l'accès aux informations en fonction des besoins et en assurant un suivi rigoureux des interactions au sein du système. Elle reflète ainsi un équilibre entre contrôle centralisé et autonomie locale, tout en favorisant une utilisation sécurisée et efficace des ressources académiques.

5. Développement et validation expérimentale du prototype.

5.1. Outils et technologies utilisés

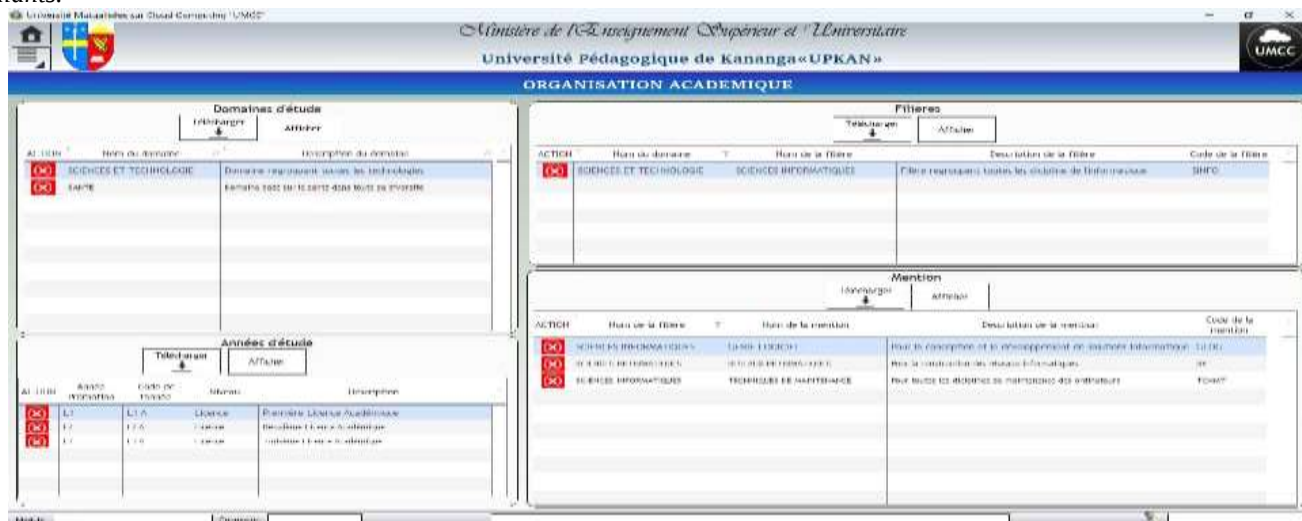
Le développement du prototype a mobilisé un ensemble d'outils et de technologies adaptés au contexte universitaire congolais. La couche applicative a été conçue à l'aide de langages web standards (PHP, Python/Django et JavaScript) permettant une compatibilité multiplateforme. Le *framework Bootstrap* a été utilisé pour assurer une interface responsive et ergonomique. Pour la gestion des données, une base relationnelle *PostgreSQL* a été retenue, en raison de sa robustesse et de sa compatibilité avec les environnements cloud. L'infrastructure a été déployée sur un environnement *OpenStack*, qui fournit une gestion flexible des ressources IaaS et facilite l'évolution future vers un cloud communautaire national.



Cette image présente une interface logicielle du Système des Universités Mutualisées sur Cloud Computing (UMCC), avec quatre menus principaux mis en évidence. On y distingue les onglets Université, Étudiant, Enseignement et Organisation, chacun ouvrant des sous-menus spécifiques liés à la gestion académique et administrative. Il s'agit de l'onglet « Université » qui regroupe les options relatives à l'identification de l'institution, l'organisation académique, les autorités académiques et la gestion des utilisateurs. L'onglet « Étudiant » qui contient des fonctionnalités liées à l'identité de l'étudiant et à l'actualisation de ses informations. L'onglet « Enseignement » qui donne accès à la planification pédagogique, notamment le programme des cours et l'évaluation. Enfin, l'onglet « Organisation » propose la structuration académique par domaines d'études, filières, mentions, programmes de cours et statistiques. Ce système illustre une volonté de numérisation et centralisation de la gestion universitaire grâce au cloud computing, permettant une meilleure traçabilité, accessibilité et interconnexion entre institutions d'enseignement supérieur.



Cette image illustre le module « Identité de l'étudiant » du système des Universités Mutualisées sur Cloud Computing (UMCC), ici appliqué à l'Université Pédagogique de Kananga (UPKAN). On y observe une interface numérique permettant la gestion centralisée des données académiques des étudiants. Sur la partie gauche, des champs de saisie concernent le nom, post-nom, prénom, sexe, date et lieu de naissance, ainsi que la nationalité, facilitant la recherche et la mise à jour des informations. La section principale à droite affiche une liste d'étudiants avec leurs identités complètes, comprenant la photo, le sexe, la date de naissance, la nationalité et la mention suivie. Un élément visuel important est le diagramme circulaire en bas à gauche, qui présente la répartition statistique des étudiants par sexe (femmes 53 % et hommes 47 %), ce qui témoigne de la capacité du système à générer des indicateurs instantanés utiles pour les analyses démographiques. Ce module démontre ainsi l'apport du cloud computing dans l'informatisation des registres académiques, en permettant une gestion plus efficace, transparente et sécurisée des données personnelles et académiques des étudiants.



Cette image met en évidence le module « Organisation Académique » du système des Universités Mutualisées sur Cloud Computing (UMCC), appliqué à l'Université Pédagogique de Kananga (UPKAN). L'interface est structurée en plusieurs volets interconnectés qui permettent une gestion intégrée de la configuration académique. En haut à gauche, la section « Domaines d'étude » présente les grands axes de formation (ex. Santé, Sciences et Technologies), définissant le cadre général des filières. À droite, le volet « Filières » précise les spécialisations à l'intérieur d'un domaine (par exemple « Sciences Informatiques »), avec leurs codes et descriptions détaillées. En bas à gauche, la partie « Années d'étude » organise la progression académique (Licence, Master, Doctorat) en fonction du parcours de l'étudiant. Enfin, à droite, la section « Mentions » illustre les orientations spécifiques, telles que « Génie Logiciel » ou « Techniques de Maintenance », ce qui affine davantage la spécialisation des étudiants. Ce module met en lumière la capacité du système UMCC à offrir une vision hiérarchisée et structurée de l'offre académique, en reliant les domaines,

filiales, mentions et niveaux d'études. Cela favorise une meilleure planification institutionnelle et une gestion cohérente de l'enseignement supérieur.

Unité d'Enseignement	Catégorie de l'UE	Code UE	Credit	Note	Mention
1. INFORMATIQUE ET ELECTRONIQUE	A. UE FONDAMENTALE	INFO 1-1	4	10	10
2. MATHÉMATIQUES	A. UE FONDAMENTALE	MATH 1-1	4	10	10
3. LANGAGE DE PROGRAMMATION I	A. UE FONDAMENTALE	INFO 1-2	4	10	10
4. ETIQUETTE ET TECHNOLOGIE	A. UE FONDAMENTALE	INFO 1-3	4	10	10
5. PROJET TUTORÉ	A. UE FONDAMENTALE	INFO 1-4	4	10	10
6. LANGUES ET EXPRESSION LOGIQUE	A. UE FONDAMENTALE	INFO 1-5	4	10	10
7. PROJET TUTORÉ	A. UE FONDAMENTALE	INFO 1-6	4	10	10
8. PROJET TUTORÉ	A. UE FONDAMENTALE	INFO 1-7	4	10	10

Cette image présente le module « Évaluations : Compilation de notes et Délibération » du système des Universités Mutualisées sur Cloud Computing (UMCC), utilisé à l'Université Pédagogique de Kananga (UPKAN). Ce module permet une gestion automatisée et centralisée des résultats des étudiants. L'interface offre la possibilité de filtrer les données selon le domaine d'étude, l'année académique, la filière ou la mention, puis d'afficher les résultats sous forme de bulletins individuels ou de synthèses globales. Le tableau principal regroupe les unités d'enseignement, notes, crédits et décisions du jury, garantissant une compilation fiable et transparente. Cette numérisation du processus académique améliore la rapidité, la précision et l'harmonisation des évaluations au sein du réseau universitaire congolais.

Unité d'Enseignement	Catégorie de l'UE	Code UE	Credit	Note	Mention
1. INFORMATIQUE ET ELECTRONIQUE	A. UE FONDAMENTALE	INFO 1-1	4	10	10
2. MATHÉMATIQUES	A. UE FONDAMENTALE	MATH 1-1	4	10	10
3. LANGAGE DE PROGRAMMATION I	A. UE FONDAMENTALE	INFO 1-2	4	10	10
4. ETIQUETTE ET TECHNOLOGIE	A. UE FONDAMENTALE	INFO 1-3	4	10	10
5. PROJET TUTORÉ	A. UE FONDAMENTALE	INFO 1-4	4	10	10
6. LANGUES ET EXPRESSION LOGIQUE	A. UE FONDAMENTALE	INFO 1-5	4	10	10
7. PROJET TUTORÉ	A. UE FONDAMENTALE	INFO 1-6	4	10	10
8. PROJET TUTORÉ	A. UE FONDAMENTALE	INFO 1-7	4	10	10

Cette image illustre le module « Transfert de crédits » du système des Universités Mutualisées sur Cloud Computing (UMCC), tel qu'utilisé à l'Université Pédagogique de Kananga (UPKAN). Ce module constitue un élément clé du processus d'harmonisation académique entre les institutions d'enseignement supérieur intégrées dans le réseau UMCC. L'interface permet de gérer de manière automatisée le suivi des unités d'enseignement (UE) et des crédits académiques obtenus par chaque étudiant. Dans la partie centrale, le tableau liste les cours suivis, leurs codes, les crédits correspondants, ainsi que les mentions obtenues. Ces informations facilitent

la validation, le report ou le transfert des résultats d'une année ou d'une institution à une autre. À gauche, la liste des étudiants permet une sélection rapide pour la consultation individuelle des dossiers académiques. À droite, la section statistiques présente un résumé quantitatif des crédits validés, non validés, ou encore à compenser un outil essentiel pour le calcul automatique de la progression académique. Ce module montre comment le système UMCC renforce la mobilité étudiante, la transparence académique et la continuité des parcours universitaires grâce à la centralisation des données sur le cloud. Il s'agit d'une avancée majeure pour la modernisation et l'interconnexion des universités congolaises.

5.2. Démonstration du prototype

Le prototype développé comporte plusieurs modules opérationnels correspondant aux spécifications fonctionnelles : *le module d'inscription* (interface permettant aux étudiants de s'inscrire en ligne et aux administrateurs de valider les candidatures) ; *Le module académique* (gestion des cours, unités d'enseignement et attribution des enseignants) ; *Le module des notes* (saisie sécurisée des résultats par les enseignants et consultation par les étudiants) ; *Le module de transfert de crédits* (simulation d'un parcours académique impliquant deux universités partenaires) ; et *le module des diplômes et attestations* (génération automatisée et sécurisée des documents académiques. Ces modules illustrent la faisabilité technique du système et démontrent la valeur ajoutée d'une architecture mutualisée.

5.3. Expérimentation pilote

Une phase d'expérimentation pilote a été menée auprès de deux universités partenaires de Kinshasa et du Kasai. Les étudiants et enseignants ont pu interagir avec le prototype dans des scénarios réels (inscriptions, saisie de notes, consultation des relevés). Les administrateurs académiques ont testé les fonctionnalités liées au transfert de crédits et à la génération de diplômes. Cette phase a permis de confronter le système aux réalités du terrain, notamment la qualité de la connectivité Internet, la capacité d'adoption par les utilisateurs et la fiabilité des traitements automatisés.

5.4. Résultats techniques

Les tests techniques ont montré que le système pouvait supporter en moyenne 200 connexions simultanées sans perte de performance notable. Le temps de réponse moyen des requêtes critiques (connexion, affichage de notes, génération de diplômes) s'est établi à moins de deux secondes, même avec une bande passante limitée. Le mécanisme de sauvegarde automatisée a permis de restaurer les données sans perte en cas de coupure de service. Cependant, des fluctuations de performance ont été observées lors des pics d'utilisation, nécessitant une optimisation future de la répartition des charges. Par ailleurs, les retours qualitatifs recueillis par questionnaires et entretiens révèlent une forte satisfaction des étudiants quant à la rapidité d'accès aux résultats et à la transparence des procédures. Les enseignants ont apprécié la simplification du processus de saisie des notes, bien que certains aient exprimé le besoin d'une formation supplémentaire. Les administrateurs ont reconnu le potentiel du système pour réduire la fraude académique et améliorer la traçabilité des dossiers étudiants. Toutefois, la méfiance vis-à-vis de la centralisation des données a été soulignée, traduisant un besoin de sensibilisation et d'accompagnement au changement.

5.6. Limites identifiées lors de l'expérimentation

Plusieurs limites ont été relevées au cours de la validation expérimentale. La dépendance à la connectivité Internet constitue un obstacle majeur dans les zones à faible couverture réseau. De plus, la capacité d'hébergement du prototype reste limitée, ce qui restreint son extension à grande échelle sans investissement supplémentaire. Enfin, la résistance institutionnelle à la mutualisation des services, motivée par la crainte de perte d'autonomie, a émergé comme un frein potentiel à l'adoption généralisée. Ces limites constituent néanmoins des points d'amélioration identifiés pour les versions futures du système.

6. Discussion

6.1. Comparaison entre le système proposé et les pratiques actuelles

Les résultats de la validation expérimentale confirment que le système cloud mutualisé surpasse largement les pratiques actuellement en vigueur dans les universités congolaises. Alors que la gestion académique traditionnelle repose sur des dossiers papier dispersés et une faible interopérabilité, le prototype testé démontre une capacité de centralisation, d'automatisation et de sécurisation des processus. Ces résultats sont cohérents avec les expériences observées au Sénégal (Ndoye, 2019) et en Afrique du

Sud (Czerniewicz & Brown, 2014), où la numérisation académique a amélioré l'efficacité administrative et réduit les délais de traitement.

6.2. Analyse des avantages observés

L'expérimentation a mis en évidence plusieurs avantages majeurs. Premièrement, la réduction des coûts administratifs grâce à la dématérialisation et à la mutualisation, confirmant les analyses de Vinck (2017) sur les économies d'échelle dans l'enseignement supérieur. Deuxièmement, la transparence accrue dans la gestion des notes et diplômes, qui contribue à limiter les fraudes et à renforcer la crédibilité des institutions académiques. Troisièmement, l'amélioration de l'accessibilité pour les étudiants, qui peuvent consulter leurs résultats et effectuer leurs démarches administratives à distance, même depuis des zones éloignées. Enfin, la mobilité académique facilitée par le module de transfert de crédits constitue un levier d'intégration du système universitaire congolais dans l'espace régional et international.

6.3. Défis rencontrés

Malgré ces résultats positifs, plusieurs défis persistent. La dépendance à la connectivité Internet représente un obstacle structurel majeur, particulièrement dans les zones rurales où l'accès au haut débit reste limité. Ce constat rejoint les préoccupations soulevées par l'UNESCO (2021) concernant la fracture numérique en Afrique. Par ailleurs, la résistance institutionnelle reflète la difficulté de concilier la mutualisation avec la préservation de l'autonomie universitaire. Enfin, la sécurité des données est apparue comme une préoccupation récurrente, les acteurs redoutant la centralisation excessive d'informations sensibles. Ces défis confirment la nécessité d'un accompagnement institutionnel fort et d'une politique claire en matière de gouvernance numérique.

6.4. Apports scientifiques

Cette recherche contribue à la littérature scientifique en proposant un modèle architectural original adapté au contexte africain francophone, où peu d'études documentées existent sur la mutualisation académique via le cloud. Elle illustre l'efficacité de la *design science research* comme approche méthodologique combinant rigueur théorique et validation empirique. L'apport principal réside dans la démonstration que le prototypage expérimental constitue un outil stratégique non seulement pour tester la faisabilité technique, mais aussi pour favoriser l'acceptation par les utilisateurs et lever les résistances organisationnelles. Sur le plan pratique, cette étude fournit un cadre opérationnel que les autorités congolaises peuvent utiliser comme base pour développer un système académique national intégré. La réussite du prototype pilote suggère qu'une généralisation est envisageable, à condition de lever les obstacles liés à l'infrastructure réseau et à la formation des utilisateurs. À plus long terme, l'intégration de technologies émergentes comme la blockchain, pour la traçabilité des diplômes, ou l'intelligence artificielle, pour l'analyse prédictive des parcours étudiants, pourrait renforcer la valeur ajoutée du système. Enfin, la mise en place d'un cloud académique national, soutenu par un cadre réglementaire clair et des partenariats public-privé, apparaît comme une étape clé pour assurer l'obstination et la souveraineté numérique du projet en RDC.

7. Conclusion et recommandations

Cette recherche a proposé et validé expérimentalement une architecture logicielle cloud mutualisée pour la gestion académique des universités en République Démocratique du Congo, adaptée à un contexte où les systèmes traditionnels restent fragmentés et basés sur le papier. Le prototype développé a montré sa capacité à centraliser et harmoniser des processus académiques essentiels tels que les inscriptions en ligne, la gestion des notes, le transfert de crédits et la génération automatisée des diplômes, tout en assurant traçabilité et cohérence des données à l'échelle institutionnelle. Comparé aux pratiques traditionnelles, le système apporte une valeur ajoutée notable en termes de rapidité, fiabilité, transparence et interopérabilité entre services et établissements, facilitant également la prise de décision et la planification académique. Sur le plan scientifique, cette étude enrichit la littérature en présentant un modèle adapté au contexte africain francophone et en illustrant l'efficacité du *design science research* couplé au prototypage pour la conception et la validation de solutions numériques innovantes, offrant des pistes pour la généralisation et la pérennisation des systèmes cloud éducatifs. Elle ouvre ainsi de nouvelles perspectives pour la transformation numérique de l'enseignement supérieur en RDC et en Afrique francophone, en soulignant l'importance de l'intégration technologique, de la formation des utilisateurs et de la gouvernance partagée pour assurer le succès et la durabilité de tels projets.

Pour assurer la transition du projet pilote vers une mise en œuvre à grande échelle du système numérique mutualisé dans les universités de la RDC, plusieurs actions intégrées sont nécessaires. Il convient d'abord de renforcer l'infrastructure numérique en améliorant la couverture Internet et les capacités de stockage, afin de garantir la fiabilité du système à l'échelle nationale. Ensuite, la formation continue des enseignants, étudiants et administrateurs est indispensable pour faciliter l'appropriation des outils et

développer les compétences d'usage. Une gouvernance partagée doit être instaurée à travers une instance nationale de régulation académique numérique, chargée d'harmoniser les normes et de superviser la mutualisation des services. Par ailleurs, la sécurité des données exige des mécanismes solides d'authentification, de chiffrement et de traçabilité. Enfin, la coopération public-privé, associant des partenaires technologiques nationaux et internationaux, demeure essentielle pour garantir la durabilité financière, l'innovation et l'adaptabilité du système éducatif numérique congolais.

Par ailleurs, l'étude ouvre la voie à de nouvelles explorations scientifiques. L'intégration de la blockchain pourrait renforcer la traçabilité et l'authenticité des diplômes, réduisant ainsi les risques de fraude. L'utilisation de l'intelligence artificielle permettrait d'anticiper les parcours étudiants, d'optimiser les affectations pédagogiques et d'améliorer les services personnalisés. De plus, une comparaison interrégionale avec d'autres initiatives africaines (*Nigéria, Kenya, etc.*) offrirait des enseignements précieux pour l'optimisation et la contextualisation du modèle congolais. Enfin, à long terme, la création d'un cloud académique régional regroupant plusieurs pays d'Afrique centrale pourrait favoriser la mobilité universitaire transnationale et renforcer la compétitivité des systèmes d'enseignement supérieur africains sur la scène mondiale. En définitive, cette recherche confirme que la mutualisation numérique des services académiques par le cloud n'est pas seulement une innovation technologique, mais un levier stratégique pour moderniser l'enseignement supérieur en RDC et contribuer à sa transformation digitale durable.

Références

- (1) Altbach, P. G., & de Wit, H. (2018). *Higher education in the era of globalization*. IHE, 93(1), 2-4.
- (2) Alves, P., & Uhomobhi, J. (2010). *Issues of e-learning standards and identity management for mobility and collaboration in higher education*. Campus-Wide Information Systems, 27(2), 79–90.
- (3) Bass, L., Clements, P., & al., (2013). *Software architecture in practice*. Boston: Addison-Wesley.
- (4) Czerniewicz, L., & Brown, C. (2014). *The habitus and technological practices of rural students: A case study*. South African Journal of Education, 34(1), 1–14.
- (5) Davis, F. D. (1989). *Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology*. MIS Quarterly, 13(3), 319–340.
- (6) Fowler, M. (2003). *Patterns of enterprise application architecture*. Addison-Wesley.
- (7) Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). *Design science in information systems research*. MIS Quarterly, 28(1), 75–105.
- (8) Kalumba, F. (2025). *Mutualisation des services académiques des institutions universitaires : application à la gestion de transfert des crédits*. Thèse de doctorat, RDC.
- (9) Kalumba, M.F., Tshibaka, M.E., & Ntumba, B.S., (2025) Conception et implémentation d'un système cloud universitaire : réflexions méthodologiques depuis trois institutions pilotes en RDC (Cas de UPKAN, UNIKAN et UKA). IJAPR, 9(8), 55-68
- (10) Marston, S., Li, Z., Bandyopadhyay, S., Zhang, J., & Ghalsasi, A. (2011). *Cloud computing — The business perspective*. Decision Support Systems, 51(1), 176–189.
- (11) Mell, P., & Grance, T. (2011). *The NIST definition of cloud computing*. N.I of Standards and Technology.
- (12) MESRI. (2020). *Parcoursup : Bilan et perspectives*. Paris : Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.
- (13) Ministère de l'Enseignement Supérieur. (2020). *Parcoursup : Bilan et perspectives*. Paris : MESRI.
- (14) Ministère du Numérique. (2019). *Plan national du numérique – Horizon 2025*. Gouv. De la RDC.
- (15) Ndoye, A. (2019). *La digitalisation de la gestion académique au Sénégal : défis et perspectives*. Revue Africaine des Sciences de l'Éducation, 5(2), 45–62.
- (16) Nunamaker, J. F., Chen, M., & al., (1991). *Systems development in information systems research*. Journal of Management Information Systems, 7(3), 89–106.
- (17) UNESCO. (2021). *The digital transformation of higher education in Africa*. Paris: UNESCO.
- (18) Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). *User acceptance of information technology: Toward a unified view*. MIS Quarterly, 27(3), 425–478.
- (19) Vinck, D. (2017). *Mutualisation et gouvernance des ressources dans l'enseignement supérieur*. Paris : Presses Universitaires de France.
- (20) Yende, R. G., Monique-Stéphanie, K. M., Mwilu, O. S., Nkuna, M. A. T., & Malula, H. K. (2024). *Management numérique comme levier du développement des entreprises modernes*. International Journal for Multidisciplinary Research (IJFMR), 6(5), 1–21. <https://doi.org/g4qmv3>
- (21) Yende, R. G., et al. (2022). *Nécessités des systèmes de stockage virtuel en ligne des données pour les internautes et des entreprises congolaises : Défis numériques et solutions acquiesces*. IJAEM, 4(3), 178–200. <https://doi.org/10.35629/5252-0403178205>