



Systèmes bare metal pour l'hébergement des données académiques : étude appliquée à l'ISP de Mbanza-Ngungu dans un contexte embarqué, Internet et cloud

[Bare metal systems for hosting academic data : a study applied to the ISP of Mbanza- Ngungu in an embedded, Internet and cloud context]

Jean Ngunda Nlandu*, Jude Simon Nkelani, Telesphore Lukamba Nsumbu, Fabrice Nkoyi Bonkile & Ossok Wamba Dibakidi

Institut Supérieur Pédagogique de Mbanza-Ngungu (ISP/Mbanza-Ngungu) / Kongo-Central, République Démocratique du Congo

Résumé

Dans un contexte de transformation numérique des établissements d'enseignement supérieur en République Démocratique du Congo, la gestion sécurisée et performante des données académiques constitue un enjeu majeur. Cette étude analyse les systèmes bare metal comme alternative aux solutions cloud traditionnelles, souvent limitées par des contraintes de souveraineté, de connectivité et de coûts. À partir d'une approche méthodologique mixte combinant analyse documentaire et étude de cas appliquée à l'Institut Supérieur Pédagogique de Mbanza-Ngungu, une architecture d'hébergement basée sur des serveurs physiques dédiés est proposée. Les résultats montrent que cette solution permet d'améliorer la sécurité, la performance et le contrôle des données académiques. Une architecture modulaire en couches (système, données, application, accès) est présentée et illustrée par un scénario d'usage. L'étude ouvre des perspectives vers un modèle hybride intégrant le cloud pour les services non critiques.

Mots-clés : Bare metal, cloud computing, données académiques, souveraineté numérique, architecture hybride.

Abstract

In the context of the digital transformation of higher education institutions in the Democratic Republic of Congo, the secure and efficient management of academic data is a major challenge. This study analyzes bare metal systems as an alternative to traditional cloud solutions, which are often limited by constraints related to sovereignty, connectivity, and cost. Using a mixed- methods approach combining literature review and a case study applied to the Higher Pedagogical Institute of Mbanza-Ngungu, a hosting architecture based on dedicated physical servers is proposed. The results show that this solution improves the security, performance, and control of academic data. A modular, layered architecture (system, data, application, access) is presented and illustrated by a use case scenario. The study opens up possibilities for a hybrid model integrating the cloud for non-critical services.

Keywords: Bare metal, cloud computing, academic data, digital sovereignty, hybrid architecture

*Auteur correspondant: Jean Ngunda Nlandu, (jnlandu@isp-mbng.ac.cd). Tél. (+243)890117520

 <https://orcid.org/0009-0005-7576-8326>; Reçu le 14/03/2026; Révisé le 07/04/2026 ; Accepté le 16/05/2026

DOI: <https://doi.org/10.59228/rcst.026.v5.i3.311>

Copyright: ©2026 Nlandu et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License (CC-BY-NC-SA 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

1. Introduction

Dans un monde de plus en plus numérisé, la gestion et l'hébergement des données constituent un enjeu stratégique pour toutes les organisations, y compris les établissements d'enseignement supérieur. Les données produites par ces derniers sont essentielles non seulement pour le bon fonctionnement administratif, mais aussi pour garantir la traçabilité, la transparence et la qualité.

Dans ce contexte, le Cloud Computing est devenu une solution incontournable, offrant des ressources et des services à la demande pour le stockage et l'accès aux données via Internet, ainsi que des capacités de traitement avec une grande disponibilité (Djiken, 2018). Ceci contraste avec les approches de stockage local, où les données et les programmes sont gérés directement à partir des disques durs des ordinateurs individuels (Gargab, 2021).

Face à ces besoins, les solutions d'hébergement traditionnelles, souvent basées sur des services cloud partagés ou des serveurs locaux peu sécurisés montrent leurs limites. C'est dans ce contexte que les systèmes bare metal, c'est-à-dire des serveurs physiques non virtualisés, apparaissent comme une alternative robuste, performante et souveraine. Ils offrent un contrôle total sur le matériel, une isolation renforcée des données, et une capacité d'adaptation aux réalités locales. Cette approche contraste avec les environnements virtualisés qui, bien qu'offrant une flexibilité accrue, peuvent introduire une surcharge de performance et des compromis en termes d'isolation (Assunção & Lefèvre, 2017).

Pour bien mener cette étude, nous nous sommes posé trois questions. Celle de comprendre ce qu'est un système bare metal, dans quels contextes ces systèmes sont utilisés et pourquoi nous pourrions proposer ces systèmes comme réponse aux exigences spécifiques liées à la gestion des données académiques dans un contexte congolais, marqué par des contraintes de connectivité, de budget et de compétences techniques.

L'objectif est d'analyser les caractéristiques des systèmes bare metal, d'identifier des modèles d'hébergement adaptés et de proposer une solution concrète pour l'ISP de Mbanza-Ngungu.

1.1. Quelques concepts de base

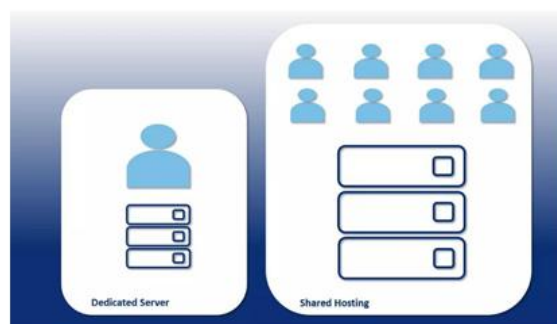
Les systèmes bare metal offrent une solution stratégique pour l'hébergement sécurisé et performant des données, notamment dans plusieurs contextes. De nombreux auteurs et fournisseurs technologiques, tels qu'IBM, OVHcloud et Google Cloud, ont proposé des

modèles adaptés à ces besoins, combinant contrôle matériel, souveraineté numérique et flexibilité d'usage.

1.1.1. Définition des concepts clés

Les systèmes bare metal désignent des serveurs physiques dédiés, dépourvus de couche de virtualisation. Contrairement aux environnements cloud mutualisés, ils permettent un accès direct aux ressources matérielles, ce qui se traduit par une performance accrue, une sécurité renforcée et une maîtrise complète de l'environnement logiciel. Autrement dit, un serveur bare metal est un serveur physique à client unique. Bien qu'il puisse y avoir plusieurs utilisateurs, à condition que tous ces utilisateurs fassent partie de l'entité qui loue le serveur (client). Selon l'entreprise IBM (2025), ces serveurs sont particulièrement adaptés aux charges de travail intensives, à l'usage de données délicates et aux environnements nécessitant un haut niveau de contrôle, comme les systèmes en temps réel.

Ainsi, l'objectif de cette réflexion est double : (i) montrer le seuil optimal de financement public de la santé sur la croissance économique et (ii) monter le seuil optimal de financement public de la santé sur l'accès aux soins santé.



Dans un hébergement mutualisé, plusieurs clients partagent une machine physique puissante, alors qu'un utilisateur de l'hébergement dédié accède aux ressources d'un serveur pour une utilisation exclusive.

Figure 1. Hébergement dédié contre hébergement mutualisé (Source : www.ionos.fr)

Concernant les systèmes embarqués, ce sont des dispositifs informatiques intégrés dans des équipements physiques, soumis à des contraintes strictes de latence, de fiabilité et de traitement en temps réel. Dans ce contexte, les architectures bare metal permettent le déploiement de systèmes d'exploitation légers et optimisés, sans surcharge liée à la virtualisation, pour préserver les performances. Ceci renforce ainsi la sécurité et l'isolation des données, en éliminant le risque de perturbations liées à d'autres utilisateurs dans un datacenter mutualisé.

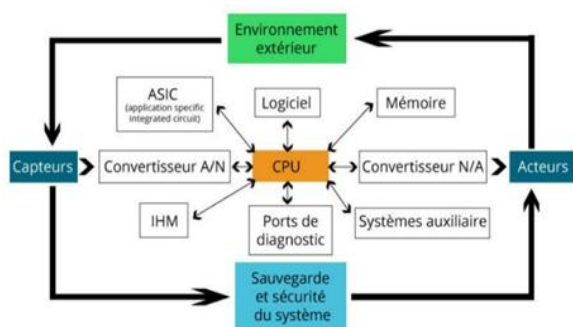


Figure 2. Architecture des systèmes embarqués

Quant au cloud computing, (Armbrust et al., 2010) le définit comme une infrastructure utilitaire, accessible à la demande et capable de s'adapter dynamiquement aux besoins des utilisateurs. Cette vision a favorisé l'adoption massive du cloud dans les entreprises et les institutions, mais elle soulève des enjeux de dépendance, de gouvernance et de sécurité. Dans certains contextes, cette approche peut être réinterprétée à travers une architecture bare metal, qui conserve les principes de modularité et de scalabilité tout en assurant un contrôle local des ressources, nous y reviendrons en détail au point suivant. Avram (2014), renforce cette perspective en analysant les avantages du cloud pour les petites et moyennes entreprises : réduction des coûts, flexibilité, accessibilité. Toutefois, elle met en garde contre les défis liés à la confidentialité des données, à la perte de contrôle et à la complexité des contrats de service. Ces limites justifient le recours à une solution d'hébergement localisée, maîtrisée par le client lui-même.

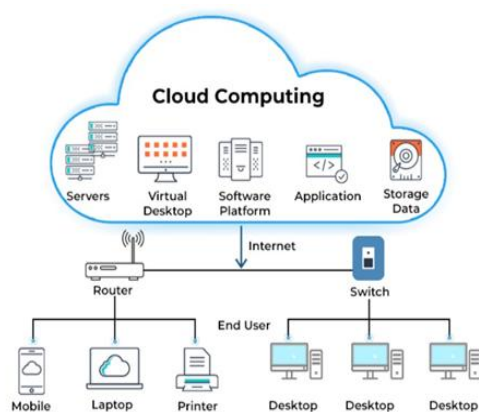


Figure 3. Cloud computing

1.1.2. Fondements du cloud computing et du bare metal

Le cloud computing s'est imposé comme une évolution majeure de l'infrastructure informatique, permettant l'accès à des ressources à la demande, sans

investissement initial lourd. Cette approche est donc une forme d'informatique utilitaire, où les utilisateurs consomment des services informatiques comme l'électricité ou l'eau, selon leurs besoins (Armbrust et al., 2010). Cette vision a favorisé l'émergence de modèles flexibles, mais elle soulève des questions de souveraineté et de sécurité, particulièrement dans plusieurs contextes sensibles (académiques, financiers, etc.).

Le cloud computing repose sur la mutualisation des ressources informatiques à travers des infrastructures virtualisées. Le client ne loue pas un serveur physique, mais plutôt ses capacités. Khalid & Shahbaz (2013), proposent une typologie des services cloud (IaaS, PaaS, SaaS) et des modèles de déploiement (public, privé, hybride). Le cloud privé, hébergé sur une infrastructure dédiée, offre une sécurité renforcée et une personnalisation complète, tandis que le cloud hybride permet de combiner les avantages du stockage local et des services distants. Dans le cas d'une institution supérieure, par exemple, une architecture bare metal peut être assimilée à un cloud privé académique, avec des extensions vers le cloud public pour les services non critiques (consultation mobile, archivage).

Les travaux d'OVHcloud (2025) et d'IBM (2025) confirment que les serveurs bare metal sont particulièrement adaptés aux environnements critiques, notamment pour l'hébergement de bases de données, de services académiques et de plateformes administratives.

Dans ce cadre, les systèmes bare metal apparaissent comme une alternative stratégique. Ils désignent des serveurs physiques non virtualisés offrant un accès direct au matériel, une performance maximale, et une maîtrise complète de l'environnement logiciel. Contrairement aux environnements cloud mutualisés, le bare metal permet de déployer des services critiques avec une isolation renforcée, ce qui est particulièrement pertinent pour l'hébergement des données académiques (Avram, 2014).

Lewis (2009, 2010), soulignent que le cloud computing ne constitue pas une solution miracle 'not the silver bullet', et que chaque client doit évaluer ses besoins, ses contraintes et ses capacités techniques avant de choisir une architecture. Cette prudence méthodologique renforce la pertinence d'une solution contextualisée.

1.1.3. Modèles d'architecture d'hébergement

Le cloud privé, hébergé localement ou dans un centre de données dédié, offre un contrôle total sur les données et les configurations. Le cloud hybride, quant à lui, permet de combiner les avantages du cloud public (scalabilité, accessibilité) avec ceux du cloud privé (sécurité, souveraineté). [Nahit \(2021\)](#), propose une architecture orientée services pour l'interopérabilité des objets connectés et des systèmes distribués. Il insiste sur la modularité, la communication sécurisée entre composants hétérogènes, et l'usage d'API standardisées.

- Hébergement local sur bare metal : ce modèle repose sur l'installation d'un serveur physique au sein de l'établissement, administré par les techniciens locaux ;

- Hébergement cloud public : les solutions comme AWS, Azure ou Google Cloud proposent des services évolutifs, mais impliquent une dépendance externe, des coûts récurrents et des risques liés à la confidentialité des données ;

- Modèle hybride (bare metal + cloud) : ce modèle combine les avantages des deux approches ; les données sensibles sont hébergées localement, tandis que les services complémentaires (sauvegarde, synchronisation, accès distant) sont délégués au cloud. Il permet de réduire les coûts, tout en optimisant la sécurité et la performance.

1.1.4. Analyse des cas d'utilisation

a. Hébergement des systèmes embarqués dans un environnement bare metal

Les systèmes embarqués, souvent utilisés dans les dispositifs éducatifs, industriels ou scientifiques, nécessitent des environnements informatiques à faible latence, hautement fiables et optimisés pour des tâches spécifiques. Dans ce contexte, les serveurs bare metal permettent le déploiement direct de systèmes d'exploitation temps réel (RTOS), sans surcharge liée à la virtualisation. Comme le souligne [Nahit \(2021\)](#), une architecture distribuée et modulaire favorise l'interopérabilité entre composants hétérogènes, ce qui est essentiel pour les environnements embarqués complexes.

À l'ISP/Mbanza-Ngungu, cette approche pourrait être utilisée pour héberger des simulateurs embarqués ou des environnements de développement pédagogique tels que les laboratoires, permettant aux étudiants de manipuler des systèmes proches du matériel réel.

b. Hébergement des données académique

Pour les services académiques de l'ISP/Mbanza-Ngungu, par exemple, les informations relatives aux inscriptions, les bases de données des étudiants, les diplômes et les historiques de scolarité requièrent un hébergement fiable, sécurisé et accessible. [Avram \(2014\)](#) met en évidence les défis liés à l'adoption du cloud dans les PME et les institutions, notamment la perte de contrôle sur les données, la dépendance aux fournisseurs, la complexité de la gouvernance. Ces risques sont particulièrement sensibles dans les contextes éducatifs, où la confidentialité et la traçabilité des données sont essentielles.

[OVHcloud \(2025\)](#) souligne que les serveurs bare metal sont particulièrement adaptés à ces exigences, notamment pour les petites et moyennes structures qui souhaitent personnaliser leur infrastructure tout en maîtrisant les coûts et les flux de données.

Le recours à une infrastructure bare metal permet de répondre à ces exigences, en offrant une isolation renforcée, une performance accrue et une personnalisation complète de l'environnement logiciel, selon les recommandations du National Institute of Standards and Technology, la sécurité des données dans le cloud repose sur des mécanismes de chiffrement, de journalisation et de contrôle d'accès ([Jansen & Grance, 2011](#)), des principes que l'on peut appliquer localement dans une architecture bare metal.

c. Hybridation des modèles d'hébergement : vers une solution évolutive

[Armbrust et al. \(2010\)](#), proposent une vision du cloud computing comme une infrastructure élastique, capable de s'adapter dynamiquement aux besoins des utilisateurs. Toutefois, ils reconnaissent que les clients doivent évaluer les risques liés à la dépendance externe. [Khalid & Shahbaz \(2013\)](#), quant à eux, proposent une typologie des modèles de déploiement (cloud public, privé, hybride), en soulignant que le cloud hybride permet de combiner les avantages du stockage local et des services distants.

Dans le cas de l'ISP/Mbanza-Ngungu et d'autres établissements supérieurs, une architecture hybride pourrait être envisagée : c'est-à-dire, les données délicates (identité, diplômes, dossiers scolaires) seraient hébergées localement sur un serveur bare metal, tandis que les services complémentaires (consultation mobile, archivage distant, interconnexion avec d'autres établissements ou avec le ministère de l'ESU) pourraient être délégués à un cloud souverain ou régional. Cette approche permettrait de concilier la souveraineté, la performance et l'évolutivité, tout en

respectant les contraintes budgétaires et techniques des institutions en général.

d. Interopérabilité et modularité

La conception des infrastructures académiques modulaires, fondée sur des microservices interconnectés via des API sécurisées, s'inspire directement des travaux de Nahit (2021) et de Strowd & Lewis (2010). Ces auteurs insistent sur l'importance de l'interopérabilité dans les systèmes distribués, notamment pour les environnements complexes comme les campus universitaires. Nous pensons qu'à l'ISP/Mbanza-Ngungu, cette approche permettrait de structurer les services académiques en modules indépendants (gestion des inscriptions, suivi de la scolarité, gestion des diplômes, statistiques des résultats) tout en assurant leur cohérence et leur intégration dans un système global.

2. Matériel et méthodes

La méthodologie adoptée dans cette étude repose sur une approche mixte, combinant une analyse théorique avec une exploration technique et contextuelle. Il s'agit d'une étude de cas appliquée à l'Institut Supérieur Pédagogique de Mbanza-Ngungu, visant à concevoir une solution d'hébergement des données académiques fondée sur une architecture bare metal.

Dans un premier temps, une analyse documentaire a été menée à partir de travaux de référence sur le cloud computing et les infrastructures informatiques (Armbrust et al., 2010; Avram, 2014; Khalid & Shahbaz, 2013; Nahit, 2021), afin de construire un cadre théorique solide autour des modèles de déploiement, des enjeux de sécurité, et des principes d'interopérabilité. Ensuite, un diagnostic a permis d'identifier les besoins spécifiques de l'ISP/Mbanza-Ngungu en matière de gestion des données académiques, notamment les inscriptions, les diplômes et les dossiers étudiants. Sur cette base, une architecture technique a été conçue, intégrant des couches fonctionnelles distinctes, des outils logiciels adaptés et des mécanismes de sécurité renforcés. Enfin, un scénario a été illustré afin de mieux comprendre le fonctionnement du système proposé.

Cette méthodologie permet ainsi de relier les apports théoriques aux réalités pratiques, tout en proposant une solution contextualisée et durable pour l'hébergement des données académiques.

3. Résultats

3.1. Contexte institutionnel et enjeux de gestion des données

L'ISP/Mbanza-Ngungu, premier établissement supérieur public dans la province du Kongo Central et l'un des plus anciens de la République Démocratique du Congo avec plus de 7.000 diplômés, gère une quantité croissante de données académiques sensibles, depuis l'inscription jusqu'à la délivrance des diplômes. Ces données couvrent l'ensemble du parcours des étudiants, d'où la gestion efficace, sécurisée et durable de ces données constitue un enjeu stratégique pour la qualité du service académique, transparence administrative et la traçabilité des parcours. Bien qu'il existe plusieurs services au sein de cet établissement, nous avons opté principalement pour les services académiques, qui sont au cœur de tout établissement supérieur et universitaire et sans lesquels celui-ci ne pourrait survivre.

Actuellement, ces données sont souvent stockées sur des supports de stockage physique ou dans des environnements informatiques peu sécurisés, exposés à des risques de perte, de corruption ou d'accès non autorisé. Dans ce contexte, la mise en place d'un système d'hébergement bare metal localisé apparaît comme une solution pertinente pour renforcer la souveraineté numérique de l'établissement et améliorer la gestion des données académiques.

3.2. Architecture proposée

Comme nous l'avons évoqué avec l'hybridation des modèles d'hébergement, l'architecture que nous proposons ici repose sur une approche en couche, permettant de séparer les responsabilités, de renforcer la sécurité et de faciliter la maintenance. Elle intègre les principes de modularité, évolutivité et interopérabilité.

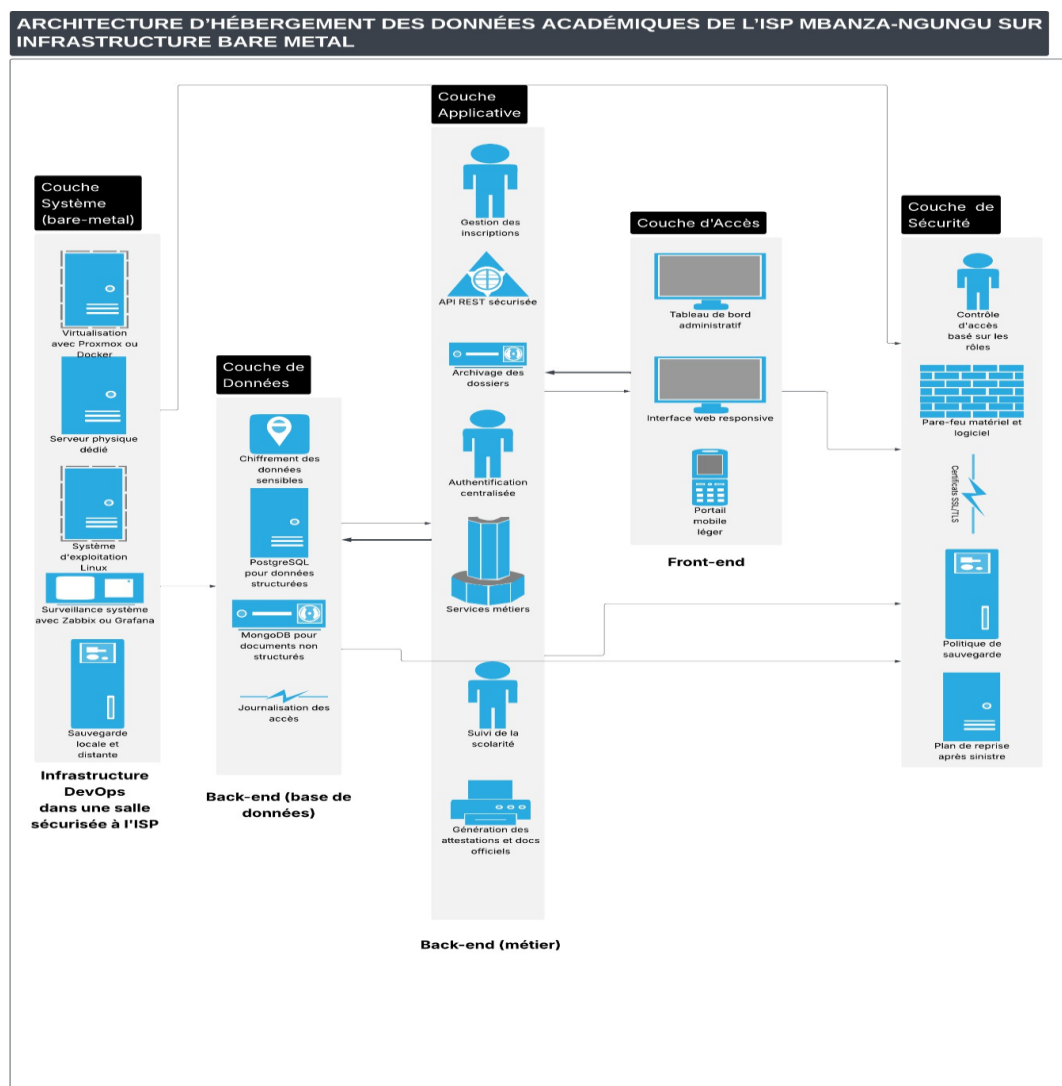


Figure 4. Architecture proposée

3.3. Parcours narratif du système bare metal proposé

Pour mieux comprendre le fonctionnement de cette architecture, nous avons pris le cas de la navigation d'un candidat étudiant dans le système. Cette narration met en lumière les interactions entre les différentes couches techniques telle qu'illustrée dans la figure 4.

Lors du lancement des inscriptions en première licence LMD, Destin, un jeune diplômé d'État, souhaite s'inscrire à l'Institut Supérieur Pédagogique de Mbanza-Ngungu. Il se rend sur le portail académique de l'ISP/Mbanza-Ngungu, accessible depuis son téléphone. Ce portail, hébergé localement sur un serveur bare metal, lui garantit une navigation fluide, même avec une connexion limitée.

Sur la page d'accueil, Destin sélectionne "Nouvelle inscription". Il remplit le formulaire en

ligne, téléverse son diplôme scanné, sa photo d'identité et autres informations nécessaires. Ces données sont captées par la couche d'accès (front-end), qui les transmet à la couche applicative via une requête sécurisée.

La couche applicative, composée d'API-REST, vérifie si Destin existe déjà dans le système. Ne le trouvant pas, elle crée un nouveau profil étudiant, génère un identifiant unique, et classe son dossier dans la base "Candidats en attente de validation". Les données saisies sont enregistrées dans la couche de données : PostgreSQL pour les informations structurées (nom, filière, date de naissance...), MongoDB pour les documents scannés. Toutes les données sensibles sont chiffrées, et chaque accès est journalisé pour garantir la traçabilité.

Ensuite, un agent du service académique se connecte au tableau de bord administratif. Grâce à la couche d'accès, il consulte le dossier de Destin, vérifie les pièces jointes, et valide son inscription. Destin reçoit alors un email avec ses identifiants d'accès au portail étudiant.

Dès lors, Destin peut consulter son emploi du temps, suivre ses cours, et accéder à ses résultats via son espace personnel. Chaque fois qu'il interagit avec le système pour voir ses notes, télécharger une attestation ou avoir sa carte d'étudiant par exemple, la couche applicative traite ses requêtes, interroge les bases de données, et lui renvoie les résultats en temps réel.

En arrière-plan, la couche système assure la stabilité de l'ensemble, c'est-à-dire : le serveur bare metal exécute Ubuntu Server, les services sont isolés dans des conteneurs Docker, les performances sont surveillées par Zabbix, et les sauvegardes sont effectuées chaque nuit. En cas de panne, un plan de reprise permettrait de restaurer les services sans perte de données (couche de sécurité).

À la fin de son parcours, Destin demande son diplôme ou une attestation d'authentification. Le service peut générer automatiquement le document, le signer numériquement, et l'archiver dans MongoDB. Destin peut le télécharger depuis son espace personnel, ou demander une version imprimée au bureau des services académiques.

Grâce à cette architecture modulaire, chaque étape de la vie académique de Destin et des milliers d'étudiants reste fluide, sécurisée et interconnectée. Le système, hébergé localement, garantit la souveraineté des données, tout en offrant une expérience moderne et évolutive aux étudiants et au personnel de l'établissement.

3.4. Perspectives d'intégration et de mutualisation

Cette solution pourrait être étendue à d'autres services de l'établissement, entre autres, les ressources humaines avec les dossiers du personnel, le suivi des projets de recherche (mémoires et projets tutorés), le secrétariat général (gestion des courriers), l'interconnexion avec d'autres établissements via des API sécurisées, et plusieurs autres besoins (les horaires, les délibérations, les charges horaires des enseignants...).

Elle pourrait également servir de modèle pilote pour d'autres institutions congolaises souhaitant renforcer leur autonomie numérique.

4. Conclusion

Dans un contexte de numérisation croissante, la gestion des données académiques constitue un enjeu stratégique pour les établissements d'enseignement supérieur. L'Institut Supérieur Pédagogique de Mbanza-Ngungu, confronté à de multiples défis (numérisation des services, la connectivité, la sécurité et de souveraineté numérique) a besoin d'une solution d'hébergement fiable, évolutive et adaptée à ses réalités locales. Cette étude propose une réponse technique fondée sur l'architecture bare metal.

Les serveurs bare metal, dépourvus de virtualisation, offrent un accès direct aux ressources matérielles, garantissant une performance maximale, une isolation renforcée et une maîtrise complète de l'environnement logiciel. Par une analyse théorique appuyée par des références clés (Armbrust et al., 2010; Avram, 2014; Khalid & Shahbaz, 2013; Nahit, 2021), l'étude démontre que cette approche est particulièrement pertinente pour les environnements critiques comme les établissements supérieurs ; dans ce cas précis, l'étude a pris l'exemple des services académiques de l'ISP/Mbanza-Ngungu afin d'illustrer ce système.

L'architecture proposée repose sur une organisation en couches : système, données, application et accès. Elle permet de structurer ce service (inscriptions, scolarité, diplômes, etc.) en modules interconnectés, favorisant l'interopérabilité et la maintenance. Nous avons jugé utile de proposer un scénario narratif du parcours d'étudiant pour illustrer concrètement le fonctionnement du système, depuis l'inscription jusqu'à la délivrance du diplôme, en mettant en évidence les rôles techniques de chaque couche.

Au-delà de cet exemple, cette solution peut être étendue à d'autres services et servir de modèle pilote pour les établissements congolais souhaitant renforcer leur autonomie numérique.

En termes de perspectives et de recommandations, nous pensons qu'il est possible d'intégrer progressivement un modèle hybride (bare metal + cloud souverain) pour les services non critiques, tout en conservant l'hébergement local des données sensibles. Nous recommandons de promouvoir l'interconnexion entre établissements via des API sécurisées, en vue de créer un réseau académique régional (mutualisation).

Remerciements

Les auteurs expriment leur gratitude à toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de cette recherche. Ils adressent particulièrement leurs remerciements aux services académiques de l'ISP Mbanza-Ngungu, dont l'appui a grandement facilité la compréhension de leurs activités et permis l'aboutissement de ce travail.

Financement

Cette recherche est le résultat des efforts des auteurs et n'a bénéficié d'aucun financement, depuis la conception à la rédaction du manuscrit.

Conflit d'Intérêt

Les auteurs déclarent n'avoir aucun intérêt financier, professionnel ou personnel susceptible d'influencer l'objectivité de cette étude. La conception a été réalisée de manière indépendante, conformément aux normes éthiques en vigueur dans la recherche scientifique.

Considérations éthiques

Cette recherche repose sur une démarche de conception théorique et technique d'une structure bare metal. Aucun participant ni donnée sensible n'a été impliqué dans ce travail. Les auteurs garantissent que la conception proposée respecte les principes d'intégrité scientifique et qu'elle a été élaborée de manière indépendante, sans conflit d'intérêts.

Contribution des auteurs

J.N.N. : conception et rédaction du manuscrit principal ;

J.S.N : contribution à la discussion et validation de la version finale ;

T.L.N. : contribution au parcours narratif du système proposé ;

F.N.B. : contribution à la discussion ;

O.W.D. : contribution à la mise en forme du manuscrit.

Tous les auteurs ont lu et approuvé la version finale du manuscrit.

ORCID des Auteurs

Nlandu N.J. : <https://orcid.org/0009-0005-7576-8326>;

Nkelani S.J. : <https://orcid.org/0009-0000-4950-6641>;

Nsumbu L.T. : <https://orcid.org/0009-0009-0408-3353>;

Bonkila N.F. : <https://orcid.org/0000-0002-3746-4015>;

Dibakidi W.O. : <https://orcid.org/0009-0005-7648-2012>.

Références bibliographiques

- Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R. H., Konwinski, A., Lee, G., Patterson, D. A., Rabkin, A., Stoica, I., & Zaharia, M. (2010). A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53(4), 50–58. <https://doi.org/10.1145/1721654.1721672>
- Assunção, M. D. de, & Lefèvre, L. (2017). Réserve du nu-metal pour le cloud : Une analyse du compromis entre réactivité et efficacité énergétique. *Cluster Computing*, 21(2), 1289. <https://doi.org/10.1007/s10586-017-1094-y>
- Avram, M. G. (2014). Advantages and challenges of adopting cloud computing from an enterprise perspective. *Procedia Technology*, 12, 529–534. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.525>
- Djiken, G. L. (2018). *La mobilité du code dans les systèmes embarqués* [Thèse de doctorat]. HAL. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02123855>
- Gargab, F. Z. (2021). *Optimisation et fabrication technico-économique d'un chauffe-eau solaire marocain* [Thèse de doctorat]. HAL. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03278007>
- Jansen, W., & Grance, T. (2011). *Guidelines on security and privacy in public cloud computing* (NIST Special Publication 800-144). National Institute of Standards and Technology.
- Khalid, A., & Shahbaz, M. (2013). *Cloud computing technology: Services and opportunities*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/profile/Adnan_Khalid5/publication/280620585_CLOUD_COMPUTING_TECHNOLOGY_SERVICES_AND Opportunities/links/55bf2cb608aed621de1220e7.pdf
- Lewis, G. (2009). *Cloud computing: Finding the silver lining, not the silver bullet*. Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University. <https://resources.sei.cmu.edu/library/asset-view.cfm?assetid=9071>
- Lewis, G. (2010). *Basics about cloud computing*. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.208.657>
- Nahit, P. (2021). *Conception d'une architecture complète pour l'interopérabilité des objets connectés hétérogènes et des services de l'Internet des Objets* [Thèse de doctorat]. Theses.fr. <http://www.theses.fr/2021IPPAS009/document>