

ORIGINALE ARTICLE

MODÈLES DE GESTION DE L'EAU A MADAGASCAR : ÉVALUATION SYSTÉMIQUE, PERFORMANCE COMPARÉE ET PERSPECTIVES INSTITUTIONNELLES



Water Management Models in Madagascar: Systemic Evaluation, Comparative Performance, and Institutional Perspectives

| **Diamondra Helinoro Razaivaovolonaiaina** ^{1*} | et | **Fabrice Razafindraibe** ² |

¹. Institut Supérieur de Technologie Ambositra | Ecole de Génie Agronomie et Environnement | Ambositra |

². Université de Fianarantsoa | Faculté des Sciences | Mention Mathématiques et Application | Fianarantsoa | Madagascar |

| DOI: 10.5281/zenodo.15446394 | | Received May 02, 2025 | | Accepted May 07, 2025 | | Published May 16, 2025 | | ID Article | Diamondra-Ref4-5-20ajiras070525 |

RÉSUMÉ

Contexte : L'accès à l'eau potable demeure un enjeu crucial à Madagascar, marqué par la coexistence de plusieurs modèles de gestion public, privé et communautaire aux performances inégales. **Objectifs** : Cette étude vise à évaluer comparativement les différents systèmes de gestion de l'eau, à identifier les facteurs de performance clés, et à proposer des scénarios conciliant équité sociale, efficacité économique et gouvernance durable. **Méthodes** : Un échantillon de 42 systèmes a été analysé à l'aide d'outils statistiques avancés : Analyse en Composantes Principales (ACP), méthode multicritère TOPSIS, Modélisation par Équations Structurelles (SEM) et simulations Monte Carlo (MCMC). Ces outils ont été combinés avec le cadre systémique des 5M pour intégrer des facteurs organisationnels. **Résultats** : Trois grandes familles de modèles se distinguent : (1) les systèmes communautaires, inclusifs mais fragiles économiquement ; (2) les modèles publics centralisés (JIRAMA), couvrant une large population mais faiblement efficaces ; (3) les affermages privés, efficaces mais peu accessibles. Les modèles hybrides se révèlent comme des compromis prometteurs, permettant d'optimiser simultanément inclusion sociale, performance économique et contractualisation. Les résultats montrent que la qualité de la gouvernance et la structuration institutionnelle influencent davantage la performance que le statut public ou privé du gestionnaire. **Conclusions** : Les modèles hybrides, tels que les partenariats public-privé régulés ou les régies locales assistées, offrent des perspectives adaptées aux spécificités territoriales. Ils permettent une gestion de l'eau plus équitable, durable et efficace. Cette recherche recommande la mise en œuvre de modèles pilotes intégrant des indicateurs multidimensionnels (accessibilité, équité, efficacité) et un renforcement des capacités institutionnelles pour un encadrement flexible et évolutif.

Mots-clés : gestion de l'eau, modèles hybrides, gouvernance partagée, accessibilité, équité performance, Madagascar.

ABSTRACT

Background: Access to safe drinking water remains a critical issue in Madagascar, where various public, private, and community-based management models coexist with uneven performance outcomes. **Objectives**: This study aims to comparatively assess the different water management systems, identify key performance factors, and propose hybrid scenarios that reconcile social equity, economic efficiency, and institutional sustainability. **Methods**: A sample of 42 systems was analyzed using advanced statistical tools including Principal Component Analysis (PCA), the TOPSIS multi-criteria method, Structural Equation Modeling (SEM), and Monte Carlo simulations (MCMC). These were combined with the systemic 5M framework to integrate organizational factors. **Results**: Three major categories of models emerged: (1) community-based systems, socially inclusive but economically fragile; (2) centralized public models (JIRAMA), covering large populations but operationally inefficient; and (3) private lease models, technically efficient but socially exclusive. Hybrid models appear as promising compromises, balancing social inclusion, economic performance, and contract-based governance. Findings show that the quality of governance and institutional structuring has a stronger influence on performance than the public or private nature of the operator. **Conclusions**: Hybrid models, such as regulated public-private partnerships and assisted local authorities, offer adaptable approaches suited to territorial contexts. They enable more equitable, sustainable, and effective water management. The study recommends the implementation of pilot hybrid models that integrate multidimensional indicators (accessibility, equity, efficiency) and calls for stronger institutional capacity to ensure adaptive and coherent oversight.

Keywords: water management, hybrid models, shared governance, accessibility, equity, performance, Madagascar.

1 INTRODUCTION

L'accès à une eau potable sûre et abordable constitue un enjeu fondamental pour le développement durable, en particulier dans les pays à revenu intermédiaire ou faible. À l'instar de nombreuses nations africaines, Madagascar peine encore à garantir un service équitable et pérenne à l'ensemble de sa population. Ce défi persistant est pourtant au cœur de l'Objectif de Développement Durable n°6 (ODD 6) des Nations Unies, qui vise l'accès universel à l'eau potable d'ici 2030, Giné-Garriga et al. (2017) [1]. Malgré l'existence d'un cadre juridique structurant – notamment le Code de l'Eau promulgué en 1995 –, la gouvernance du secteur reste caractérisée par une fragmentation institutionnelle, une pluralité d'acteurs publics, privés et communautaires, et des logiques de gestion hétérogènes. À ce jour, plusieurs modèles coexistent à Madagascar : le modèle public centralisé de la JIRAMA, les services municipaux décentralisés (STEAH), les affermages privés, les associations locales et les ONG. Toutefois, ces approches offrent des performances contrastées en termes d'accessibilité, d'équité tarifaire, d'efficacité opérationnelle et de viabilité financière.

Cette diversité soulève une problématique centrale : « dans un contexte marqué par des contraintes budgétaires, une vulnérabilité climatique croissante et de profondes inégalités sociales, quels sont les modèles de gestion les plus à même de concilier accessibilité, performance économique et durabilité institutionnelle ? » Plus précisément, « quels compromis et quelles formes hybrides pourraient émerger pour assurer une gouvernance de l'eau plus inclusive et résiliente à Madagascar ? ».

Afin de répondre à ces interrogations, cette étude poursuit trois objectifs principaux : d'une part, réaliser une évaluation comparative des différents modèles de gestion en vigueur dans le pays ; d'autre part, identifier les facteurs structurels qui influencent leur performance, à travers une méthodologie rigoureuse mobilisant des outils quantitatifs avancés ; enfin, proposer des scénarios alternatifs de réforme et d'hybridation, tenant compte des spécificités locales et des besoins des usagers.

Ces objectifs s'appuient sur les hypothèses suivantes :

- (H1) La performance globale des systèmes ne dépend pas uniquement du type d'acteur (public, privé ou communautaire), mais avant tout de la qualité de la gouvernance contractuelle et institutionnelle ;
- (H2) Les modèles communautaires, bien que socialement inclusifs, souffrent d'une faible viabilité économique, tandis que les modèles privés, souvent plus performants, affichent une accessibilité limitée ;
- (H3) Des approches hybrides bien encadrées peuvent offrir une synthèse efficace entre efficacité, équité et durabilité.

Pour tester ces hypothèses, l'article s'organise en cinq sections. La première présente le cadre méthodologique, incluant l'analyse en composantes principales (ACP), la méthode multicritère TOPSIS, la modélisation par équations structurelles (SEM) et les simulations Monte Carlo (MCMC). La deuxième expose les résultats empiriques issus des données institutionnelles et terrain. La troisième propose une analyse comparative et des scénarios prospectifs simulés. La quatrième discute des implications en matière de politiques publiques et de gouvernance. Enfin, la cinquième section conclut l'étude en formulant des recommandations pour une gestion de l'eau plus intégrée, équitable et durable à Madagascar.

2. MATERIELS AND MÉTHODES

2.1 Cadre d'étude et collecte des données

L'étude repose sur un échantillon de 42 systèmes de gestion de l'eau potable, répartis en six catégories : JIRAMA, affermage simple, affermage avec groupement d'intérêt communautaire (GIC), STEAH, association communautaire et organisation non gouvernementale (ONG). Ces modèles, observés à Madagascar, sont évalués à partir de données recueillies par des entretiens semi-directifs, des rapports institutionnels (JIRAMA, Banque mondiale, UNICEF) et des textes réglementaires, notamment le Code de l'Eau de Madagascar, loi N° 98-029 République de Madagascar (1999) [2].

L'évaluation s'appuie sur cinq critères académiques : accessibilité, équité tarifaire, viabilité économique, efficacité contractuelle et durabilité environnementale. Ces critères sont mesurés à l'aide d'indicateurs quantitatifs tels que le taux de couverture, le coefficient de Gini des tarifs, le taux de recouvrement des coûts, le respect des clauses contractuelles et le taux de pertes d'eau. Parallèlement, chaque modèle est analysé selon le cadre systémique des 5M (Milieu, Matériel, Méthode, Main-d'œuvre, Moyens financiers), afin d'identifier les facteurs organisationnels déterminants de la performance. L'étude repose sur un échantillon de 42 systèmes de gestion de l'eau potable répartis dans six catégories : JIRAMA, affermage simple, affermage GIC, STEAH, association communautaire et ONG. Ces modèles sont évalués à Madagascar, les données sont obtenues par des entretiens semi-directifs, rapports institutionnels (JIRAMA, Banque mondiale, UNICEF) et des textes réglementaires, Code de l'Eau de Madagascar, République de Madagascar (1999) [2]. L'évaluation s'appuie sur cinq critères académiques : accessibilité, équité tarifaire, viabilité économique, efficacité contractuelle et durabilité environnementale. Ces critères sont mesurés à l'aide de variables quantitatives telles que : taux de couverture, coefficient de Gini des tarifs, taux de recouvrement des coûts, conformité contractuelle, et taux de pertes d'eau. En parallèle, chaque modèle est analysé selon le cadre systémique des 5M (Milieu, Matériel, Méthode, Main-d'œuvre, Moyens financiers), permettant d'identifier les facteurs organisationnels influençant la performance.

2.2. Conception de l'étude et approche analytique

Cette étude emploie une approche comparative multiméthode pour évaluer les différences structurelles entre les modèles examinés. La méthodologie s'appuie sur trois techniques statistiques complémentaires pour garantir la robustesse des résultats et minimiser les biais potentiels.

2.2. Analyses statistiques multivariées

2.2.1. Analyse en Composantes Principales (ACP) : Une ACP a été réalisée pour réduire la dimensionnalité des données et identifier les principales sources de variance entre les modèles étudiés. Cette technique non supervisée a

permis d'extraire les composantes orthogonales expliquant la majeure partie de la variance observée, suivant la méthode décrite par Abdi et Williams (2010) [3]. Les composantes retenues ont été sélectionnées selon le critère de Kaiser-Guttman (valeurs propres > 1), et une rotation Varimax a été appliquée pour améliorer l'interprétabilité des facteurs.

2.2.2. Technique TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)

La méthode multicritère TOPSIS a été employée pour établir un classement objectif des modèles, conformément au cadre méthodologique proposé par Hwang et Yoon (1981) [4] et développé ultérieurement par Behzadian et al. (2012) [5]. Cette technique repose sur le principe que l'alternative optimale devrait avoir la distance euclidienne la plus courte par rapport à la solution idéale positive et la plus grande distance par rapport à la solution idéale négative.

Deux scénarios de pondération distincts ont été appliqués :

- Un scénario égalitaire (poids identiques attribués à tous les critères),
- Un scénario social (pondération différenciée privilégiant les aspects sociaux).

Les valeurs des critères ont été normalisées par la méthode du vecteur pour assurer la comparabilité, et les critères défavorables ont été transformés selon la procédure recommandée par Hwang et Yoon (1981) [4].

2.2.3. Modélisation par Équations Structurelles (SEM)

Un modèle d'équations structurelles a été développé à l'aide du logiciel AMOS (version 26.0, IBM Corp.) pour analyser les relations causales entre la gouvernance, la performance et la durabilité des modèles étudiés. Cette approche confirmatoire a permis de tester les hypothèses structurelles de l'étude. L'adéquation du modèle a été évaluée à l'aide des indices d'ajustement standards (χ^2 , RMSEA, CFI, TLI) selon les seuils recommandés par Hu et Bentler (1999) [6].

Analyse de sensibilité et validation des résultats

La robustesse des classements obtenus a été évaluée par une simulation Monte Carlo basée sur la méthode de Chaînes de Markov (MCMC) comprenant 10 000 itérations. Des vecteurs de pondération ont été générés aléatoirement à partir d'une distribution de Dirichlet, permettant ainsi d'explorer systématiquement l'espace des paramètres possibles sans biais de sélection, conformément à l'approche suggérée par Saltelli et al. (2008) [7].

Une analyse par regroupement K-means ($k = 3$) a ensuite été réalisée pour identifier les clusters naturels parmi les modèles étudiés. La détermination du nombre optimal de clusters a été validée par la méthode du coude et la statistique de silhouette. Les résultats du K-means ont été confrontés à ceux d'une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) utilisant la distance euclidienne et la méthode d'agrégation de Ward, conformément aux recommandations de Murtagh et Legendre (2014) [8]. Enfin, des coefficients de corrélation de Pearson ont été calculés entre les différents critères pour détecter d'éventuelles redondances et assurer la cohérence interne de l'analyse. Les relations significatives ($p < 0.05$) ont été interprétées après correction de Bonferroni pour comparaisons multiples.

2 RÉSULTATS

Principales Différences entre les Modèles de Gestion de l'Eau

L'ACP a été appliquée à sept variables quantitatives caractérisant les modèles de gestion de l'eau potable à Madagascar : taux de couverture, tarif, coefficient de Gini, ratio de recouvrement des coûts, taux de pertes en eau, niveau de régulation et respect du cadre contractuel. Cette approche vise à identifier les axes majeurs de différenciation entre ces modèles en réduisant la dimensionnalité des données tout en conservant l'essentiel de l'information.

Les données ont été préalablement standardisées afin d'assurer une comparabilité entre variables. Deux composantes principales ont été extraites (Figure 1), expliquant ensemble 79,2% de la variance totale. La première composante principale (PC1) représente 52,8% de la variance et traduit des différences économiques et contractuelles entre les modèles. La deuxième composante (PC2), expliquant 26,4% de la variance, met en évidence des enjeux institutionnels et de durabilité.

Identification des critères les plus discriminants

La PC1 est fortement corrélée négativement au coefficient de Gini (-0,453), au ratio de recouvrement des coûts (0,450), au respect du cadre contractuel (-0,445), au taux de couverture (-0,416) et au tarif (-0,367). Elle oppose ainsi les modèles économiquement rentables et contractualisés, mais à faible accessibilité sociale, aux modèles plus inclusifs mais fragiles sur le plan financier. La PC2 est principalement corrélée positivement au taux de pertes en eau (0,586), au niveau de régulation (0,555) et, dans une moindre mesure, au taux de couverture (0,328). Elle reflète une opposition entre les modèles bien régulés, avec une gestion plus formelle mais des défis opérationnels (pertes d'eau), et ceux moins encadrés, souvent plus efficaces sur le plan hydraulique mais faiblement institutionnalisés.

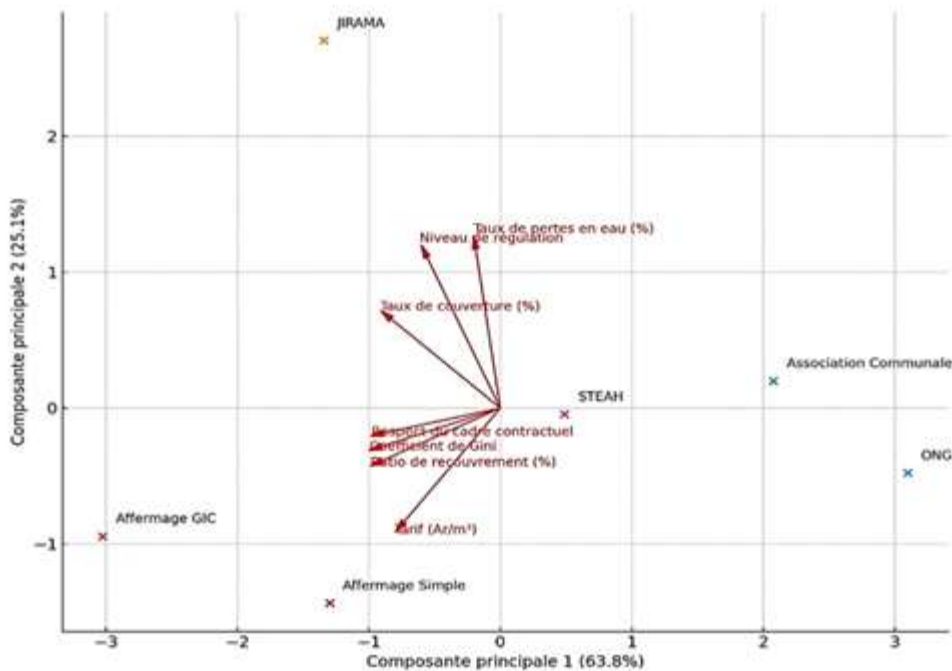


Figure 1 : Projection simultanée des modèles de Gestion d'eau et de Critère d'évaluation.

Modèles les Plus Performants sur Certains Aspects

L'analyse a permis de distinguer les configurations institutionnelles les plus performantes au regard de trois dimensions fondamentales : l'accessibilité des services, l'équité sociale et le respect des règles de gouvernance. Sur le plan de l'accessibilité, le modèle opéré par JIRAMA se distingue par un taux de couverture élevé atteignant 75%, bien qu'il présente en parallèle un niveau important de pertes en eau, ce qui limite son efficacité technique globale. En matière d'équité, le modèle mis en œuvre par les ONG affiche des performances remarquables, avec un coefficient de Gini très faible (0,15) et une gratuité tarifaire, assurant ainsi une accessibilité maximale aux usagers vulnérables.

Concernant le respect des règles et la viabilité institutionnelle, le modèle d'affermage GIC obtient le score le plus élevé en matière de contractualisation (note de 3), tout en démontrant une solide performance économique, traduisant un bon équilibre entre gouvernance et autonomie financière. Ces résultats mettent en évidence la complémentarité structurelle des différents modèles étudiés : tandis que certains dispositifs priorisent l'extension de la couverture (cas de JIRAMA) ou la justice sociale (modèle ONG), d'autres favorisent une gestion durable et contractualisée des ressources (affermage GIC).

Structuration des modèles de gestion

L'interprétation du biplot des variables révèle une forte colinéarité entre les dimensions économiques : tarif, coefficient de Gini, recouvrement des coûts et respect contractuel sont orientés dans la même direction sur PC1, soulignant leur interdépendance. En revanche, niveau de régulation et taux de pertes en eau sont davantage alignés avec PC2, indiquant une certaine indépendance des dynamiques économiques et institutionnelles.

Le nuage des individus met en évidence des groupements distincts :

- **Les modèles communautaires (ONG, Association Communale)** se situent à l'extrémité négative de PC1 et positive de PC2, reflétant une forte inclusion sociale mais une faible viabilité économique.
- **Les affermages (GIC, Simple)** sont positionnés sur l'axe positif de PC1, témoignant de leur rentabilité élevée et de leur contractualisation avancée, au détriment de l'accessibilité tarifaire.
- **JIRAMA**, bien que bénéficiant d'un taux de couverture élevé, est marqué par des pertes d'eau importantes et une forte dépendance aux subventions, traduisant un modèle centralisé aux défis opérationnels majeurs.
- **Les modèles intermédiaires (STEAH, Association Communale)** occupent une position plus centrale, illustrant des performances modérées et un équilibre entre plusieurs critères.

Implications stratégiques

Cette analyse met en évidence des tensions structurelles dans la gestion de l'eau à Madagascar :

- Viabilité économique vs accessibilité sociale : les modèles les plus rentables sont aussi ceux où l'équité tarifaire est la plus faible.

- Gouvernance formelle vs gestion communautaire : la régulation et la contractualisation sont plus développées dans les modèles centralisés ou privés, tandis que les modèles communautaires restent plus souples mais moins encadrés.
- Efficacité opérationnelle vs cadre institutionnel : une régulation plus forte ne garantit pas nécessairement une meilleure gestion hydraulique, comme en témoigne le cas de JIRAMA.

Ces résultats suggèrent la possibilité d'approches hybrides, combinant les avantages des modèles communautaires (équité, inclusion, proximité) et ceux des affermages (efficacité, contractualisation, rentabilité), pour une gestion plus durable et équilibrée du service de l'eau potable.

Typologie, performances et défis des modèles de gestion de l'eau

L'analyse et l'observation des regroupements de données ont permis de distinguer trois grandes catégories de modèles de gestion de l'eau à Madagascar, chacun présentant des caractéristiques spécifiques en matière de performance, d'équité et de viabilité économique. Cette typologie éclaire les arbitrages structurels qui sous-tendent les systèmes d'approvisionnement en eau dans les contextes à ressources limitées.

Le **groupe A**, représenté par les modèles communautaires, incluant les ONG et les associations communales, est fondé sur une logique d'équité sociale et de participation locale. Ces modèles se caractérisent par des tarifs réduits et un accès inclusif à l'eau, répondant aux besoins des populations vulnérables.

Le **groupe B**, incarné par la société nationale JIRAMA, correspond à un modèle centralisé fortement subventionné. Il se distingue par une couverture géographique relativement large et une structuration institutionnelle plus affirmée. Cependant, cette centralisation se heurte à des inefficacités techniques majeures, notamment un taux élevé de pertes en eau et une dépendance chronique aux subventions publiques.

Le **groupe C** regroupe les modèles d'affermage privé, tels que les affermages simples ou ceux réalisés par des groupements d'intérêt communautaire (GIC). Ces modèles sont généralement bien contractualisés et assurent une gestion techniquement performante et économiquement viable. Ils bénéficient de mécanismes de redevabilité plus solides et d'un meilleur suivi opérationnel.

Dans l'ensemble, cette classification illustre les compromis à opérer entre accessibilité, équité et viabilité économique. Tandis que les modèles communautaires privilégient l'inclusion mais peinent à assurer leur durabilité, les systèmes centralisés peinent à répondre efficacement à la demande malgré leur envergure, et les modèles privés affichent une efficacité supérieure au prix d'une sélectivité sociale accrue. Ces résultats plaident pour une gouvernance différenciée et adaptative, capable d'articuler les forces de chaque approche selon les contextes locaux.

Simulations de scénarios Optimisé et Dégradé

Méthodologie Comparative des Simulations

Afin d'évaluer le potentiel de transformation du secteur de l'eau potable, deux scénarios théoriques aux logiques opposées ont été construits : l'un représentant un modèle de gestion optimisé, l'autre un modèle dégradé ou « pire cas ». Ces simulations visent à éclairer les dynamiques sous-jacentes aux performances observées et à fournir des références empiriques pour guider les réformes.

Le scénario optimisé repose sur l'agrégation des meilleures performances empiriques identifiées parmi les modèles analysés. Il intègre la couverture de service la plus élevée (proche de celle offerte par la JIRAMA), un tarif accessible (similaire à celui pratiqué par les ONG), une forte équité tarifaire mesurée par un faible coefficient de Gini, un excellent niveau de recouvrement des coûts, des pertes en eau minimales ainsi qu'une régulation et une contractualisation rigoureuses. Cette construction permet de représenter un modèle théorique d'excellence en matière de gouvernance de l'eau.

À l'inverse, le scénario dégradé a été conçu en combinant les pires valeurs observées pour chaque critère. Il se caractérise par une faible couverture, des tarifs élevés, une inégalité marquée, un faible taux de recouvrement des coûts, des pertes en eau importantes, et un cadre réglementaire et contractuel faible, voire inexistant. Cette configuration vise à identifier les limites critiques qu'un système de gestion ne devrait pas atteindre.

Les deux scénarios ont été projetés dans l'espace factoriel à l'aide de l'ACP, qui permet de visualiser la position relative des modèles selon la structure multidimensionnelle de leurs performances. Cette approche, bien que ne mesurant pas une performance absolue, offre une lecture précieuse des contrastes structurels entre les différents modes de gestion.

Résultats et Interprétation des Scénarios

L'analyse des résultats révèle un paradoxe apparent (Figure 2) : le modèle optimisé obtient un score composite de -0,10, tandis que le modèle dégradé atteint -0,099. Cette proximité numérique, pourtant issue de scénarios opposés,

met en lumière une propriété essentielle de l'ACP : elle ne produit pas une échelle hiérarchique de performance, mais une cartographie des structures de gestion fondée sur les interrelations entre variables. Ainsi, des modèles que tout oppose normativement peuvent se retrouver proches dans l'espace factoriel dès lors qu'ils présentent une cohérence structurelle forte, même si elle repose sur des valeurs extrêmes.

Le scénario optimisé se distingue par sa capacité à concilier efficacité économique, justice sociale et robustesse institutionnelle. Il démontre qu'un équilibre est envisageable, à condition d'intégrer de manière cohérente des leviers complémentaires issus de différents modèles existants. Ce modèle peut ainsi servir de référence pour orienter les réformes, fixer des objectifs de performance réalistes et construire des trajectoires hybrides d'amélioration. En revanche, le scénario dégradé illustre les conséquences systémiques d'un cumul de défaillances. Il montre que l'inefficacité d'un système ne résulte pas toujours de la faiblesse d'un indicateur isolé, mais d'un déséquilibre global entre les dimensions économique, sociale et institutionnelle. Il met également en garde contre des arbitrages excessifs, qui, en négligeant certaines dimensions, peuvent fragiliser l'ensemble du système.

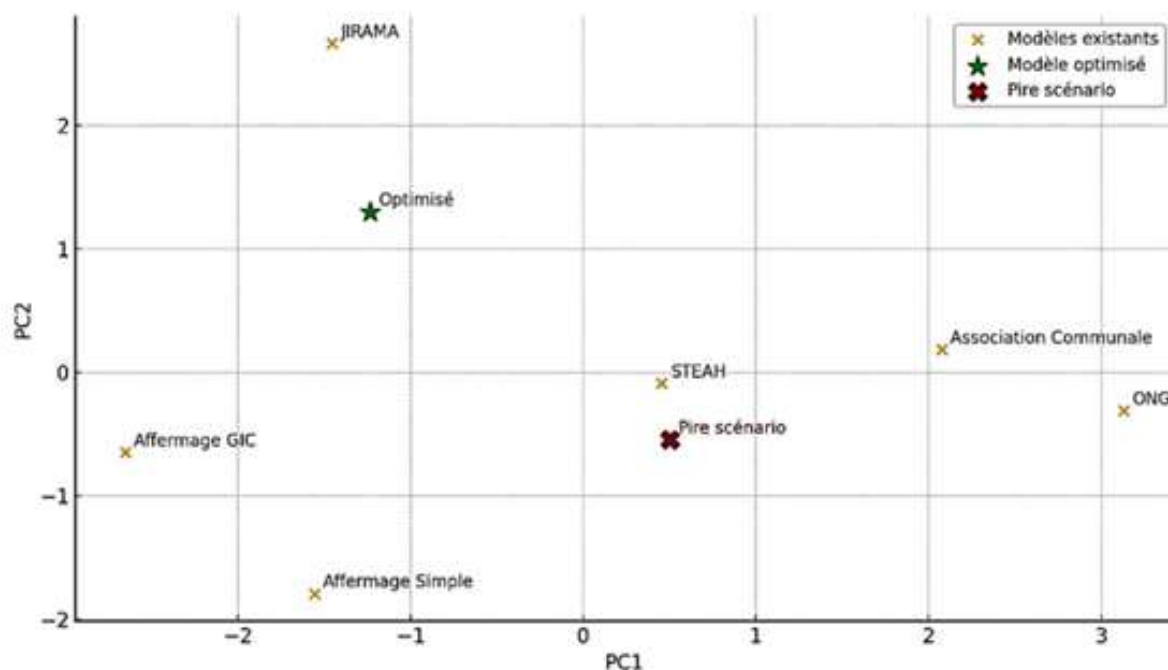


Figure 2 : Projection simultanée des modèles traditionnels et des scénarios.

L'interprétation combinée de ces deux scénarios renforce l'idée qu'aucun indicateur ne peut, à lui seul, garantir la durabilité d'un service. C'est bien l'articulation équilibrée des critères – accessibilité, efficacité, équité, régulation – qui fonde la résilience et la performance globale d'un modèle de gestion. Dès lors, les politiques publiques doivent s'inspirer des configurations optimales tout en restant attentives aux effets indésirables révélés par le scénario dégradé, dans une logique systémique et préventive.

Réformes et hybridation des modèles de gestion de l'eau

L'amélioration durable de la gestion de l'eau potable à Madagascar implique des réformes différenciées selon les spécificités institutionnelles et socio-économiques de chaque modèle, ainsi qu'une hybridation stratégique de ces approches. Les dispositifs communautaires, historiquement privilégiés dans les zones rurales, se caractérisent par leur accessibilité sociale et financière. Toutefois, ces systèmes souffrent d'une faible viabilité économique, d'un encadrement institutionnel limité et d'un manque de mécanismes de régulation formels. Des travaux récents soulignent l'importance d'un appui financier ciblé, d'une structuration administrative renforcée et de la mise en œuvre de contrats de gestion simplifiés pour améliorer la performance de ces modèles. Le modèle centralisé, principalement incarné par la JIRAMA, dispose d'une large couverture et bénéficie d'un fort encadrement réglementaire. Cependant, il est confronté à des inefficacités structurelles notables, à de fortes pertes en réseau et à une capacité d'investissement limitée. Une réforme structurelle reposant sur une décentralisation partielle, combinée à des partenariats public-privé (PPP) encadrés par des mécanismes de performance contractualisés, est proposée comme voie d'amélioration. Cette approche permettrait de réduire les tensions entre les objectifs de centralisation et les impératifs de durabilité, en renforçant la transparence et l'efficacité opérationnelle.

Les modèles d'affermage privé, quant à eux, ont démontré une efficacité accrue en matière de gestion et de rentabilité. Néanmoins, leur accessibilité demeure limitée en raison de coûts élevés pour les usagers, notamment les ménages vulnérables. L'intégration d'obligations de service public, l'ajustement des tarifs selon les capacités contributives des

populations et la mise en place de dispositifs de contrôle citoyen apparaissent comme des conditions nécessaires pour concilier performance économique et justice sociale. Des expériences similaires dans d'autres secteurs d'infrastructure en Afrique subsaharienne montrent que des modèles de financement mixtes, adossés à des garanties publiques et des incitations contractuelles, peuvent favoriser la participation du secteur privé tout en assurant des services inclusifs. Enfin, au-delà de la juxtaposition de ces modèles, une logique d'hybridation apparaît essentielle pour exploiter les complémentarités entre acteurs publics, privés et communautaires. La délégation locale encadrée, la sous-traitance ciblée de la maintenance, ou encore les PPP à géométrie variable constituent autant de pistes opérationnelles. La mise en œuvre de modèles pilotes hybrides, adossés à un cadre contractuel souple et évolutif, représente un levier central pour assurer un accès durable, équitable et efficient à l'eau potable. Ce type d'approche requiert toutefois des capacités institutionnelles renforcées, une volonté politique affirmée et un système de régulation adaptatif, comme le suggèrent les analyses du cadre réglementaire dans la région SADC.

Analyse stratégique des modèles hybrides

L'analyse met en évidence la complémentarité des forces entre groupes, comme suggérée dans le Table 1. Il est donc possible de concevoir des modèles hybrides, qui conservent l'efficacité des affermages, intègrent l'équité des communautaires, et assurent la régulation et la stabilité du centralisé (JIRAMA).

Positionnement factoriel des scénarios hybrides

L'ACP révèle un positionnement intermédiaire stratégique des modèles hybrides dans l'espace factoriel (Figure 3), témoignant de leur capacité à articuler des logiques de gestion publique, privée et communautaire. Ces configurations hybrides, Table 2, permettent d'éviter les limites extrêmes des modèles polarisés, comme les ONG ou les Groupements d'Intérêt Communautaire (GIC), en assurant un équilibre entre performance économique, équité sociale et régulation

Table 1 : Scénarios concrets d'hybridation entre modèles.

Scénario hybride	Composition	Objectif	Exemple de mécanisme
PPP régulé et solidaire	Affermage + ONG	Rentabilité + inclusion	Affermage avec quotas gratuits pour ONG locales
Régie locale assistée	Communautaire + JIRAMA	Proximité + encadrement	Communauté gère localement, JIRAMA fournit appui technique
JIRAMA décentralisée	JIRAMA + Affermage	Réduction des pertes + contractualisation	Sous-traitance de la maintenance par affermage privé
Franchise sociale	ONG + Affermage	Efficacité + impact social	ONG forme des opérateurs locaux dans un modèle affermé

Table 2 : Interprétation stratégique des modèles hybrides.

Modèle hybride	Position dans le plan ACP	Interprétation stratégique
PPP régulé et solidaire	Proche des modèles d'affermage	Rentabilité et structuration associées à une régulation et accessibilité renforcées
Franchise sociale	À mi-chemin entre affermage et modèle communautaire	Équilibre entre viabilité économique et justice sociale
JIRAMA décentralisée	Voisin de la JIRAMA, mais plus efficiente	Réduction des pertes avec maintien de la régulation
Régie locale assistée	Proche des modèles communautaires encadrés	Gouvernance renforcée et accessibilité accrue

Comparaison avec les modèles conventionnels

Les modèles hybrides se différencient nettement des logiques classiques, qui tendent vers des extrêmes de type communautaire (forte équité mais efficacité limitée) ou privé (rentabilité forte mais faible inclusivité). Ils occupent des zones latérales ou centrales dans l'espace factoriel, soulignant leur capacité d'optimisation multi-critères.

Lecture multidimensionnelle stratégique

Axe Rentabilité et équité : Cet axe met en lumière un gradient de tarification et d'accessibilité. Le PPP régulé et solidaire représente un compromis rare, combinant taux de recouvrement élevé (80 %) et indice de Gini modéré (0,30), illustrant une performance économique équilibrée par une régulation équitable. **Axe Durabilité et robustesse réglementaire :** Les modèles comme la JIRAMA décentralisée ou la régie locale assistée se caractérisent par une gouvernance robuste couplée à des niveaux de pertes faibles, une combinaison rarement atteinte dans les modèles conventionnels.

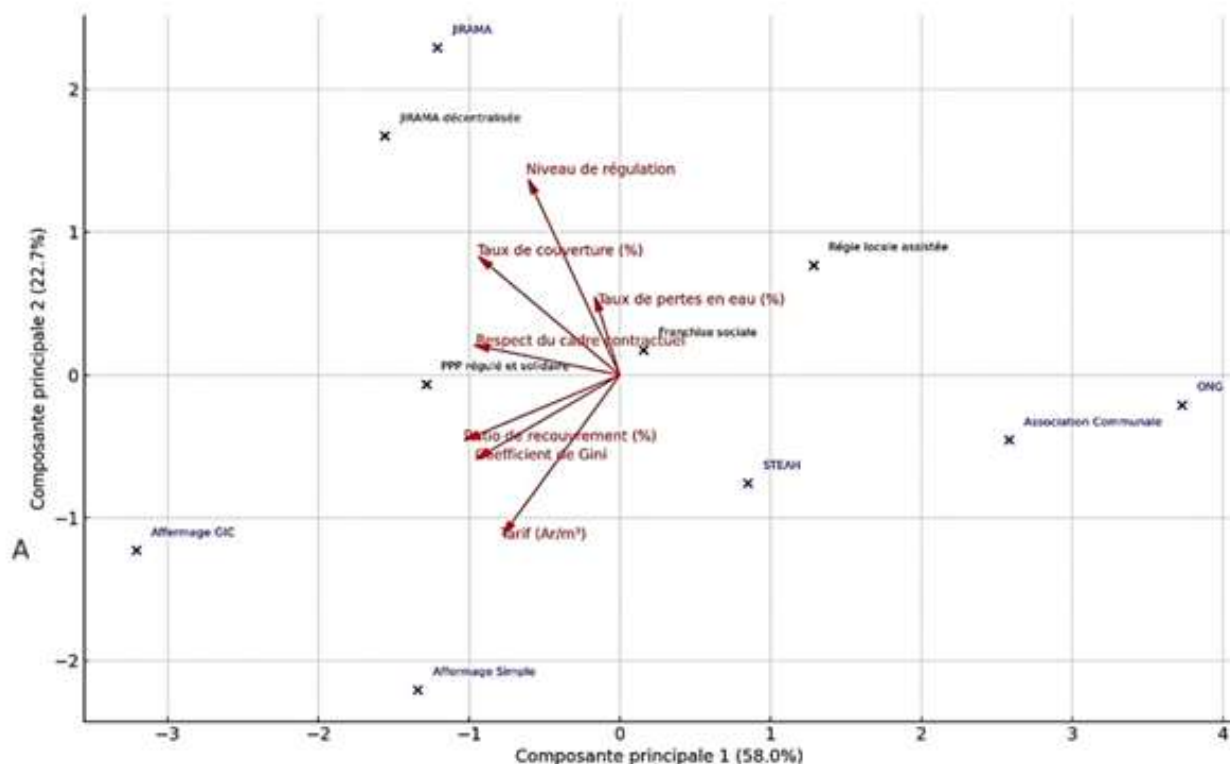


Figure 3 : Projection simultanée des modèles traditionnels et hybrides.

Enjeux pour les politiques publiques

Les résultats de cette étude mettent en évidence plusieurs implications stratégiques pour les politiques publiques, notamment en ce qui concerne l'adaptation et l'optimisation des modèles de gestion de l'eau. Trois axes principaux se dégagent pour guider les réformes et améliorer la gouvernance du secteur :

- **Légitimation structurelle** : Le positionnement distinct des scénarios confirme leur cohérence interne et potentiel stratégique, en intégrant diverses formes de gouvernance.
- **Flexibilité contextuelle** : Ces modèles sont adaptables à divers contextes territoriaux, ouvrant la voie à des prototypes expérimentalement ajustables.
- **Pilotes opérationnels recommandés** : Le développement de cadres contractuels modulables pour chaque modèle hybride, intégrant des indicateurs de durabilité, d'équité et de performance, est préconisé.

L'analyse factorielle fournit une grille de lecture opérationnelle des modèles hybrides, lesquels dépassent la dichotomie public/privé/communautaire. Ces scénarios émergent comme des solutions innovantes et transposables, aptes à relever les défis d'accès, de qualité et de pérennité des services d'eau à Madagascar.

Influence de la gouvernance et de la gestion sur la performance des modèles de gestion de l'eau

Les résultats de la modélisation par équations structurelles (SEM) révèlent que la gouvernance, évaluée à travers le respect des règles contractuelles et le niveau de régulation, constitue un levier central dans l'optimisation de la performance du système. Les coefficients statistiques montrent un effet fortement significatif sur l'accessibilité des services, avec une valeur de $p = 0.008$ et un coefficient de détermination $R^2 = 0.958$. Ces résultats confirment que les dispositifs de régulation et de supervision favorisent une expansion du service, en particulier dans des contextes institutionnels fragiles, comme le soulignent également les travaux menés dans le secteur de l'eau au Brésil, Barbosa et al. (2024) [9].

En ce qui concerne la viabilité économique, le lien avec les variables de gouvernance est plus atténué. Le modèle indique une significativité modérée ($p = 0.10$) pour un $R^2 = 0.77$, suggérant que bien que la régulation améliore la performance financière, son influence reste partielle. Cela rejoint les conclusions de Dolores et al. sur l'importance d'adapter les politiques tarifaires au contexte local pour en maximiser les effets économiques, Sohu et al. (2024)[10].

En revanche, aucun lien significatif n'a été observé entre la gouvernance et la durabilité environnementale, mesurée par la réduction des pertes techniques ($p = 0.62$). Cette absence d'effet significatif suggère que les déterminants de la performance environnementale résident davantage dans les aspects techniques et opérationnels, comme en témoignent

les recherches de Picazo-Tadeo et Sáez-Fernández (2008) [11] sur la qualité de service et l'efficacité technique.

L'analyse révèle également une interdépendance complexe entre les aspects tarifaires, sociaux et techniques. La tarification montre un effet fortement significatif sur l'équité sociale, avec une relation observée entre les niveaux tarifaires et le coefficient de Gini ($p = 0.035, R^2 = 0.71$). Ce résultat confirme que des politiques tarifaires mal conçues peuvent renforcer les inégalités d'accès à l'eau, comme l'avaient mis en évidence par Pinto et Marques dans un cadre urbain, Pinto et Marques (2015) [12]. Toutefois, l'effet de la tarification sur l'accessibilité reste faible et non significatif ($p = 0.42$), probablement en raison de mécanismes correctifs tels que les subventions ou les structures tarifaires différenciées. Par ailleurs, aucune relation statistiquement significative n'a été observée entre les pertes techniques et la viabilité économique ou le niveau tarifaire, ce qui remet en question l'hypothèse selon laquelle les inefficacités seraient automatiquement répercutées sur les coûts ou sur les prix. Cela va dans le sens des travaux de Sohu et al. (2024) [10], qui montrent que les mécanismes comportementaux et institutionnels peuvent tempérer la transmission directe des inefficacités au consommateur final.

Enfin, l'analyse factorielle confirmatoire (CFA) valide la structure interne du modèle. Les dimensions de gouvernance (régulation et cadre contractuel) affichent des coefficients de chargement élevés (> 0.7) sur le facteur principal, indiquant leur centralité dans l'architecture du modèle. Cette robustesse structurelle est cohérente avec les recommandations méthodologiques formulées par Williams et Vandenberg (2009) [13] sur l'utilisation du SEM en recherche sur la performance publique. Ces résultats soulignent que l'amélioration des performances passe par une gouvernance renforcée, conjuguée à une gestion tarifaire sensible aux inégalités. Une stratégie fondée sur un modèle hybride, combinant rigueur institutionnelle et inclusion sociale, apparaît comme une voie pertinente pour répondre aux enjeux de durabilité, d'équité et d'efficacité dans la gestion de l'eau à Madagascar.

Cohérence entre Résultats Quantitatifs Avancés et Données Terrain à Madagascar

Validité croisée entre modélisation et réalité contextuelle

Les résultats issus des analyses quantitatives avancées, notamment la Modélisation par Équations Structurelles (SEM), la méthode TOPSIS pour l'aide multicritère à la décision, et les simulations de robustesse par chaînes de Markov Monte Carlo (MCMC), présentent une forte convergence avec les constats qualitatifs issus du terrain. Cette convergence méthodologique a été mise en évidence dans diverses études appliquant ces outils pour évaluer la performance de systèmes complexes, notamment dans la gestion des services publics.

Ainsi, la Figure 4 montre que le modèle d'affermage GIC, reconnu empiriquement pour sa performance, ressort également comme le plus robuste selon les analyses quantitatives : il est classé premier dans 86,8% des simulations MCMC et présente le score TOPSIS le plus élevé. Ce résultat recoupe les constats de terrain concernant son efficacité opérationnelle, la clarté de sa contractualisation, et son autonomie financière, avec un taux de recouvrement de 95% et des pertes d'eau limitées à 20%. La littérature confirme que l'intégration de critères économiques, institutionnels et sociaux dans une approche multicritère produit des résultats particulièrement fiables.

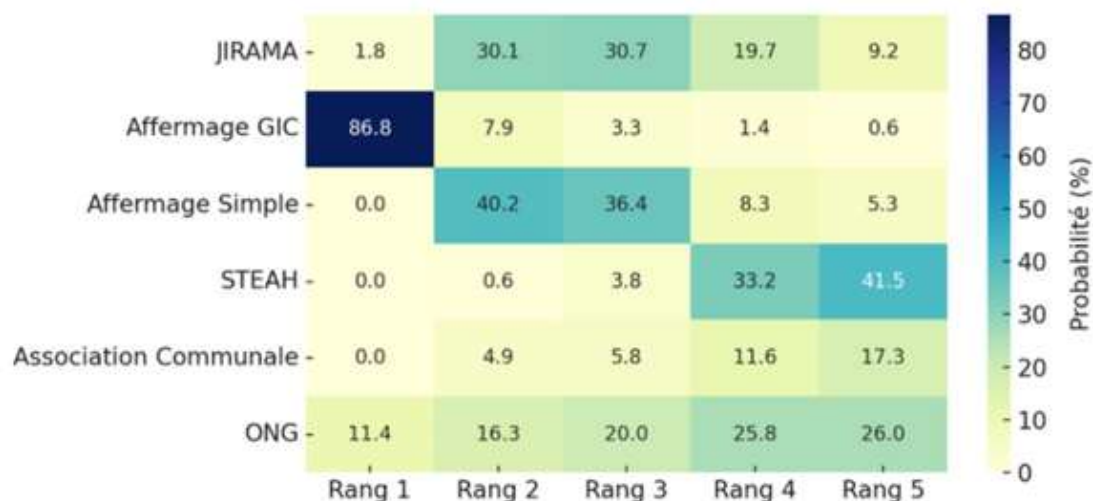


Figure 4 : Classement des modèles de gestion par TOPIS et MCMC.

À l'inverse, le modèle communal (STEAH), souvent jugé peu structuré et dépendant de ressources locales limitées, enregistre des taux de pertes élevés (30%) et apparaît systématiquement en bas de classement dans les simulations. Cela reflète une faible résilience opérationnelle, une tendance observée également dans d'autres contextes de

gouvernance décentralisée de l'eau. Le cas de la JIRAMA illustre un compromis complexe entre couverture stratégique et sous-performance structurelle. Bien que disposant d'une gouvernance institutionnelle correcte, elle souffre de pertes techniques élevées (plus de 35%) et dépend largement de subventions. Son score TOPSIS est moyen, très sensible aux pondérations données aux critères sociaux et économiques. Cette tension entre mission de service public et efficacité économique est souvent mise en évidence dans les évaluations hybrides par SEM ou MCMC.

Le modèle d'affermage simple affiche une forte performance économique, mais au prix d'une faible équité. Avec des tarifs atteignant 2500Ar/m³ et un coefficient de Gini de 0,45, l'exclusion potentielle des ménages vulnérables est confirmée par les données terrain et par les analyses multicritères, très sensibles aux pondérations sociales.

Enfin, les ONG et associations communales, bien qu'animées par une forte volonté d'inclusion sociale, montrent une viabilité financière et institutionnelle faible, ce qui se reflète par des scores bas dans les analyses SEM et une instabilité dans les classements TOPSIS. L'absence de supervision technique et la dépendance à l'aide extérieure accentuent cette fragilité déjà observée dans des systèmes de gestion similaires.

Synthèse intégrée des convergences entre modélisation et terrain

L'analyse conjointe des résultats quantitatifs et des constats empiriques révèle un fort alignement entre la performance modélisée et la réalité opérationnelle des modèles de gestion. Le Table 3 résume les correspondances observées :

Ce haut niveau de cohérence entre les modèles analytiques et les données de terrain conforte la validité externe du cadre d'analyse. Il montre que la combinaison d'approches quantitatives rigoureuses avec une lecture contextuelle fine permet d'aboutir à une évaluation robuste et opérationnellement pertinente des modèles de gestion. Ces constats renforcent également l'intérêt d'utiliser des outils comme SEM, TOPSIS ou MCMC dans le champ de la gouvernance des services publics dans les contextes du Sud.

Table 3: Correspondance entre modélisation et données de terrain.

Modèle	Analyse Quantitative	Constat Qualitatif Terrain	Alignement
Affermage GIC	Très performant, robuste dans MCMC et TOPSIS	Structuration claire, efficacité locale confirmée	Très fort
JIRAMA	Moyenne, dépend des pondérations	Stratégique mais faiblement performant	Fort
Affermage Simple	Économiquement solide, socialement inégal	Autonome mais peu accessible pour les ménages modestes	Fort
ONG / Communales	Faibles scores, instabilité institutionnelle	Forte inclusion sociale mais dépendance externe	Fort
STEAH	Scores bas, très faible robustesse	Structuration limitée, performances faibles	Fort

3. DISCUSSION

Synthèse des résultats

Les résultats empiriques montrent clairement que les performances des modèles de gestion de l'eau à Madagascar varient selon leur nature institutionnelle, leur structuration contractuelle et leur capacité à articuler efficacité économique et inclusion sociale. Les modèles communautaires, bien qu'équitables, souffrent d'un encadrement technique et institutionnel limité. À l'opposé, les affermagés privés, notamment les GIC, présentent une efficacité remarquable mais peinent à garantir l'accessibilité tarifaire. Le modèle centralisé de la JIRAMA, malgré une large couverture, accumule des inefficacités liées aux pertes et à la dépendance financière. Ces constats confirment les hypothèses posées dans l'introduction : la performance globale dépend davantage de la gouvernance contractuelle et de la régulation que du statut de l'opérateur (public, privé ou communautaire).

Pertinence des modèles hybrides

Les modèles hybrides apparaissent comme des solutions intermédiaires pertinentes pour la gestion du service d'eau à Madagascar. Ils offrent une possibilité de combiner les avantages des modèles communautaire, centralisé et privé tout en réduisant leurs faiblesses respectives. En articulant régulation publique, performance opérationnelle et participation locale, ces modèles permettent de répondre simultanément aux exigences de durabilité, d'équité et d'efficacité.

Selon Post et al. (2017) [14], les régimes hybrides sont particulièrement adaptés aux contextes institutionnels fragiles. Leur flexibilité structurelle permet d'éviter les effets polarisants des systèmes purement publics ou entièrement privatisés. Ils favorisent également la cohabitation de logiques multiples : sociale, économique et territoriale. À Madagascar, cette pertinence s'observe notamment à travers certains dispositifs concrets. Le modèle de PPP régulé et solidaire, mis en œuvre dans plusieurs communes, parvient à maintenir un taux de recouvrement supérieur à 80 % tout en conservant un indice de Gini de 0,30, ce qui traduit un équilibre entre performance financière et accessibilité sociale.

Par ailleurs, la réforme expérimentale du modèle JIRAMA décentralisé, fondée sur une sous-traitance partielle avec encadrement public, améliore la gestion opérationnelle sans renoncer à la régulation. Ces formes hybrides permettent de mobiliser les capacités privées tout en maintenant la gouvernance publique.

L'introduction des modèles hybrides s'appuie sur des expériences africaines similaires. Okpalaugo (2003.) [15] indique que dans les zones urbaines, la présence d'un opérateur privé n'est soutenable que si elle est encadrée par un cadre tarifaire équitable et un dispositif de contrôle public. Romero et Adalia (2024) [16] confirment également la faisabilité d'approches décentralisées hybrides dans les services d'eau en milieu périurbain, en insistant sur la nécessité d'une régulation active. Ainsi, les modèles hybrides apparaissent comme un compromis stratégique adapté aux réalités malgaches, permettant d'intégrer progressivement les acteurs locaux et privés dans la gestion tout en renforçant la légitimité des institutions publiques.

Enjeux pour les politiques publiques

Plusieurs implications se dégagent pour les décideurs :

- **Légitimation structurelle** : les scénarios hybrides disposent d'une cohérence interne et d'un ancrage stratégique, permettant leur reproductibilité dans divers territoires.
- **Flexibilité contextuelle** : ces modèles peuvent être adaptés à différents environnements (zones urbaines denses, zones rurales enclavées), avec des ajustements modulaires.
- **Pilotage opérationnel** : l'intégration d'indicateurs de durabilité, d'équité et de performance dans les contrats de gestion doit guider la mise en œuvre de modèles pilotes.
- **Capacité institutionnelle** : le déploiement de ces modèles nécessite un renforcement des institutions, des mécanismes de régulation souples et une volonté politique affirmée.

Limites et perspectives

Si l'analyse offre une lecture robuste des configurations existantes, certaines limites doivent être reconnues. La qualité des données secondaires, l'hétérogénéité des terrains et l'absence de suivi longitudinal limitent la portée généralisable des résultats. En outre, l'impact réel des innovations hybrides sur la satisfaction des usagers mérite d'être exploré via des approches participatives. Des recherches futures pourraient intégrer des variables de gouvernance perçue, des données longitudinales sur la durabilité environnementale et une analyse coûts bénéfices intégrée. Enfin, un dialogue renforcé entre chercheurs, décideurs et acteurs communautaires apparaît essentiel pour assurer une appropriation et une durabilité des réformes, Obinwa et al. (2021) [17].

3 CONCLUSION

L'évaluation comparative des modèles de gestion de l'eau potable à Madagascar révèle une diversité d'approches reflétant autant de compromis entre accessibilité, performance économique et gouvernance institutionnelle. Les résultats montrent que les modèles communautaires assurent une meilleure inclusion sociale mais souffrent de fragilités économiques, tandis que les affermages privés, bien qu'efficaces et contractualisés, présentent des risques d'exclusion tarifaire. Le modèle centralisé de la JIRAMA, quant à lui, allie large couverture et dépendance chronique aux subventions, limitant sa soutenabilité opérationnelle.

Face à ces limites, les scénarios hybrides apparaissent comme des solutions innovantes, capables d'articuler les avantages des trois grands groupes de modèles. En combinant inclusion, régulation et efficacité, ces modèles mixtes – tels que la régie locale assistée ou le PPP régulé et solidaire – offrent une réponse contextuelle, adaptable et équilibrée aux défis structurels du secteur. L'analyse factorielle, les simulations TOPSIS et MCMC, ainsi que la modélisation par équations structurelles (SEM), confirment empiriquement la pertinence de ces configurations hybrides. Ces outils révèlent une forte cohérence entre la structuration des modèles et leur performance globale, validant la robustesse de l'approche méthodologique adoptée.

Au regard de ces constats, l'étude recommande de promouvoir la mise en place de modèles pilotes hybrides, conçus de manière à s'adapter aux réalités territoriales spécifiques et aux dynamiques locales. Elle préconise également un renforcement significatif des capacités institutionnelles afin de garantir un encadrement efficace de ces dispositifs, dans une logique de régulation souple mais structurante. Par ailleurs, l'intégration systématique d'indicateurs multidimensionnels - combinant des dimensions d'équité sociale, de performance économique et de durabilité environnementale - dans les contrats de gestion est jugée essentielle pour assurer un pilotage cohérent et transparent. Enfin, l'étude souligne l'importance de développer des instruments de suivi participatif, en vue de renforcer l'implication des usagers dans la gouvernance du service et de favoriser une responsabilisation partagée des acteurs. En somme, ce travail démontre que la durabilité du secteur de l'eau et de l'assainissement à Madagascar ne repose pas sur un modèle unique, mais sur la capacité à hybrider stratégiquement les forces existantes, dans une logique d'adaptation locale, de

justice sociale et de performance globale. Les résultats de cette recherche peuvent ainsi alimenter les politiques publiques de réforme du secteur, tout en constituant une référence méthodologique pour d'autres pays confrontés à des défis similaires.

4 REFERENCES

1. Giné-Garriga R, Pérez-Foguet A, Flores-Baquero Ó. Monitoring sanitation and hygiene in the 2030 agenda for sustainable development: A review through the lens of human rights. *Sci Total Environ*. 2017;580:1108–1119.
2. République de Madagascar. *Code de l'Eau : Loi n° 98-029 du 20 janvier 1999*. Antananarivo: Ministère de l'Energie, de l'Eau et des Hydrocarbures; 1999.
3. Abdi H, Williams LJ. Principal component analysis. *Wiley Interdiscip Rev Comput Stat*. 2010;2(4):433–459.
4. Hwang CL, Yoon K. *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Berlin: Springer-Verlag; 1981.
5. Behzadian M, Otaghsara SK, Yazdani M, Ignatius J. A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Syst Appl*. 2012;39(17):13051–13069.
6. Hu LT, Bentler PM. Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Struct Equ Model*. 1999;6(1):1–55.
7. Saltelli A, Ratto M, Andres T, Campolongo F, Cariboni J, Gatelli D, et al. *Global sensitivity analysis: The primer*. Chichester: John Wiley & Sons; 2008.
8. Murtagh F, Legendre P. Ward's hierarchical agglomerative clustering method: Which algorithms implement Ward's criterion? *J Classification*. 2014;31(3):274–295.
9. Barbosa FAS, Medeiros P, Simoes P. Governance and efficiency in Brazilian water utilities: An analysis based on revenue collection efficiency. *Water (Basel)*. 2024;16(17):2483.
10. Sohu JM, Tian H, Kherazi FZ, Junejo I, Ejaz F, Ejaz S. Leveraging loss aversion and self-efficacy: The role of water pricing and risk in driving individual innovation for sustainable water consumption. *Water (Basel)*. 2024;16(23):3510.
11. Picazo-Tadeo AJ, Sáez-Fernández FJ. Does service quality matter in measuring the performance of water utilities? *Environ Model Softw*. 2008;23(4):531–539.
12. Pinto FS, Marques RC. Tariff structures for water and sanitation urban households: A primer. *Water Policy*. 2015;17(6):1108–1122.
13. Williams LJ, Vandenberg RJ. Structural equation modeling in management research: A guide for improved analysis. *Acad Manage Perspect*. 2009;23(4):361–376.
14. Post AE, Bronsoler V, Salman L. Hybrid regimes for local public goods provision: A framework for analysis. *Perspect Polit*. 2017;15(4):952–966.
15. Okpalaugo R. *Privatization efforts in sub-Saharan Africa's urban water sector* [Mémoire de DEA]. Vienna: University of Vienna; 2003.
16. Romero D, Adalia D. *Business models for decentralized drinking water services in urban and peri-urban areas* [PhD Thesis]. Uppsala: Uppsala University; 2024.
17. Obinwa CE, Onwuegbuchulam SC, Mordi C. Institutional design and performance monitoring in hybrid water governance frameworks in Africa. *Water Int*. 2021;46(7):1056–1072.



How to cite this article: **Diamondra Helinoro Razaivaovoloniaina, et Fabrice Razafindraibe. MODELES DE GESTION DE L'EAU A MADAGASCAR : EVALUATION SYSTEMIQUE, PERFORMANCE COMPAREE ET PERSPECTIVES INSTITUTIONNELLES.** *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2025; 20(5): 51-62. doi: 10.5281/zenodo.15446394

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non-Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>