



MODÉLISATION SPATIALE ET MULTICRITÈRE DE L'ACCESSIBILITÉ DES OUVRAGES D'ADDUCTION D'EAU POTABLE DANS LA RÉGION D'IHOROMBE À MADAGASCAR

¹ RAHARISON Harimalala Marie Elie, ² RAKOTOSON Andriatiana Tolontsoa, ³ TOVONIRINA Mamiharizo Jackie, ⁴ RAZAFIARISERA RALAY TIANA, ⁵ RASOLOMANANA Eddy Harilala

- 1- Ecole Doctorale Ingénierie et Géosciences Université d'Antananarivo
- 2- Ecole Doctorale Ingénierie et Géosciences Université d'Antananarivo
- 3- Ecole Doctorale Ingénierie et Géosciences Université d'Antananarivo
- 4- Ecole Doctorale Ingénierie et Géosciences Université d'Antananarivo
- 5- Ecole Doctorale Ingénierie et Géosciences Université d'Antananarivo

RESUME : La planification des systèmes d'adduction d'eau potable dans la région d'Ihorombe, à Madagascar, exige une connaissance intégrée de l'accessibilité routière, de la proximité hydrographique et de l'isolement des ouvrages projetés. Cette étude vise à modéliser ces contraintes spatiales, à hiérarchiser les communes et à identifier les secteurs prioritaires d'intervention. L'approche combine analyse géographique, analyse en composantes principales, classification K-means, indice multicritère et interpolation par pondération inverse de la distance. Les distances communales moyennes aux routes varient d'environ 0 à 13 km, tandis que la majorité des ouvrages se situe à moins de 1 km d'une rivière et que la distance maximale observée atteint près de 2,5 km. Les deux premiers axes de l'ACP expliquent 55,0 % de la variance, dont 34,4 % pour l'axe 1 et 20,6 % pour l'axe 2, les quatre premiers axes cumulant environ 85 %. L'indice de priorité varie de 18 à 72 sur 100. La classification optimale distingue deux groupes, avec un coefficient de silhouette proche de 0,48. L'autocorrélation spatiale n'est pas significative (Moran $I = -0,091$; $p = 0,552$). L'interpolation IDW optimale, obtenue avec $p = 3$, présente une RMSE de 1,32 km, une MAE de 0,39 km et un R^2 de 0,88.

Mots-clés : adduction d'eau potable ; accessibilité spatiale ; analyse multicritère ; interpolation IDW ; Ihorombe.

ABSTRACT : Planning drinking water supply systems in the Ihorombe Region of Madagascar requires an integrated understanding of road accessibility, hydrographic proximity, and the spatial isolation of projected facilities. This study aims to model these constraints, rank municipalities, and identify priority intervention areas. The methodological approach combines geographic analysis, principal component analysis, K-means clustering, a multicriteria priority index, and inverse distance weighting interpolation. Mean municipal distances to roads range from approximately 0 to 13 km, while most facilities are located less than 1 km from a river, with a maximum observed distance of nearly 2.5 km. The first two principal components explain 55.0% of the total variance, including 34.4% for PC1 and 20.6% for PC2, whereas the first four components account for about 85%. The priority index ranges from 18 to 72 out of 100. The optimal classification identifies two territorial groups, with a silhouette coefficient of approximately 0.48. Spatial autocorrelation is not statistically significant (Moran's $I = -0.091$; $p = 0.552$). The optimal IDW model, obtained with $p = 3$, achieves an RMSE of 1.32 km, an MAE of 0.39 km, and an R^2 of 0.88.

Keywords: drinking water supply; spatial accessibility; multicriteria analysis; IDW interpolation; Ihorombe.

Digital Object Identifier (DOI) : <https://doi.org/10.5281/zenodo.22229685>

1 Introduction

L'accès durable à l'eau potable demeure un enjeu majeur de développement. En 2024, environ 2,1 milliards de personnes ne disposaient toujours pas d'un service d'eau potable géré en toute sécurité [1]. À Madagascar, cette difficulté est particulièrement marquée dans les zones rurales, où l'UNICEF estime que seulement 36 % de la population utilise une source d'eau améliorée [2]. Cette situation pourrait être aggravée par la croissance démographique, la variabilité climatique et la dégradation de la qualité des ressources en eau [3]. Dans la région d'Ihorombe, la dispersion des localités et des ouvrages projetés, l'inégale densité du réseau routier et la proximité variable des cours d'eau peuvent compliquer la construction, l'exploitation et la maintenance des systèmes d'adduction d'eau potable. La problématique consiste donc à déterminer comment ces contraintes spatiales se répartissent et quelles communes doivent être considérées comme prioritaires. L'intégration des systèmes d'information géographique et de l'analyse multicritère permet de combiner plusieurs indicateurs territoriaux dans un cadre cohérent d'aide à la décision [4]. L'analyse en composantes principales facilite l'identification des principaux gradients d'accessibilité et d'équipement [5], tandis que l'interpolation par pondération inverse de la distance permet d'estimer leur continuité spatiale et d'en évaluer l'incertitude [6]. L'objectif de cette étude est ainsi de modéliser l'accessibilité routière, la proximité hydrographique et l'isolement des ouvrages d'adduction d'eau potable, puis de hiérarchiser les communes et d'identifier les secteurs prioritaires d'intervention dans la région d'Ihorombe.

2 Matériels et méthodes

2.1 Matériels

Les matériels mobilisés comprenaient les bases de données vectorielles de référence du Foiben-Taosarintanin'i Madagasikara, notamment les limites administratives, le réseau routier et le réseau hydrographique, complétées par les coordonnées géographiques des ouvrages d'adduction d'eau potable projetés. Le FTM constitue l'organisme national chargé de la production, de la conservation et de la diffusion des données cartographiques, géographiques et hydrographiques de Madagascar [7]. Les traitements ont été réalisés sous Python à l'aide de GeoPandas, associé à Shapely et Pyogrio, pour la lecture, la correction, la projection et l'analyse des couches vectorielles [8]. Pandas a permis d'organiser les tableaux d'indicateurs communaux et de gérer les données manquantes [9], tandis que NumPy et SciPy ont été utilisés pour les calculs matriciels, l'analyse en composantes principales, la classification, les corrélations, l'autocorrélation spatiale et la validation croisée de l'interpolation [10]. Matplotlib a enfin servi à produire les cartes, graphiques statistiques et planches scientifiques destinées à la publication [11].

2.2 Méthodes

2.2.1 Choix des variables et indice de priorité

Les variables retenues ont été sélectionnées en fonction de leur pertinence pour caractériser les principales dimensions de l'accessibilité aux ouvrages d'adduction d'eau potable, de leur disponibilité pour l'ensemble des communes et de leur capacité à différencier les situations territoriales. Elles concernent notamment la superficie et le nombre de fokontany, la densité routière et hydrographique, le nombre et la densité des ouvrages, leur distance moyenne aux routes et aux cours d'eau, la proportion d'ouvrages situés à moins de 2 km d'une route ainsi que leur espacement moyen. L'analyse en composantes principales a permis d'examiner les relations entre ces indicateurs, d'identifier les éventuelles redondances et de distinguer les principaux gradients d'accessibilité et d'équipement. L'indice de priorité a été construit après standardisation des indicateurs afin de rendre comparables des variables exprimées dans des unités différentes. Leur orientation a ensuite été harmonisée de manière à ce qu'une valeur élevée corresponde systématiquement à une contrainte plus importante. Les indicateurs traduisant une bonne accessibilité ou un niveau d'équipement favorable ont ainsi été inversés avant leur agrégation. L'indice obtenu synthétise donc, pour chaque commune, le cumul des contraintes liées à l'accessibilité, à l'isolement et au niveau d'équipement. Les valeurs les plus élevées correspondent aux communes nécessitant une attention prioritaire dans la planification des infrastructures hydrauliques.

2.2.2 Limites des données spatiales

Les résultats doivent être interprétés en tenant compte de certaines limites liées aux données spatiales utilisées. La précision des analyses dépend notamment de l'exhaustivité, de l'actualité et de la résolution des couches routières, hydrographiques et administratives disponibles. Certaines pistes secondaires, infrastructures récentes ou variations saisonnières du réseau hydrographique peuvent être insuffisamment représentées. Par ailleurs, l'agrégation des indicateurs à l'échelle communale peut masquer des disparités locales à l'intérieur d'une même commune. Les distances calculées représentent principalement une proximité géographique et ne prennent pas entièrement en compte les conditions réelles de déplacement, telles que l'état des routes, la topographie, les franchissements de cours d'eau ou l'accessibilité saisonnière. De même, l'interpolation IDW fournit une représentation continue des tendances spatiales à partir des observations disponibles, mais ne considère pas explicitement les barrières physiques ou les discontinuités territoriales. Les cartes obtenues doivent donc être considérées comme des outils d'aide à la décision et de hiérarchisation des secteurs prioritaires plutôt que comme une représentation exhaustive des conditions locales d'accessibilité.

Après avoir fait le choix des variables et l'indice de priorité, les données ont d'abord été harmonisées dans le système WGS 84/UTM zone 38 Sud, puis les distances minimales entre chaque ouvrage projeté, les routes et les rivières ont été calculées. Ces mesures ont été agrégées à l'échelle communale afin d'obtenir les densités de réseaux, les proportions d'ouvrages accessibles et les niveaux d'isolement. Après traitement des valeurs manquantes et standardisation des indicateurs, un indice multicritère a été construit pour hiérarchiser les communes selon leurs contraintes d'accès et leurs besoins d'intervention [12]. L'analyse en composantes principales a ensuite permis de réduire la redondance entre les variables et d'identifier les principaux gradients d'accessibilité, d'équipement et de proximité hydrographique [13]. La classification K-means a servi à regrouper les communes présentant des profils similaires, tandis que le coefficient de silhouette a déterminé le nombre de groupes le plus cohérent [14]. L'indice global de Moran a été appliqué pour vérifier l'existence d'un regroupement spatial des priorités. Enfin, le modèle IDW a généré les surfaces continues de distance, d'isolement et de contrainte [15]. Sa puissance optimale a été sélectionnée par validation croisée leave-one-out, puis sa précision a été évaluée au moyen de la RMSE, de la MAE, du coefficient de détermination et de l'analyse spatiale des résidus.

Les données ont d'abord été harmonisées dans le système WGS 84/UTM zone 38 Sud, puis les distances minimales entre chaque ouvrage projeté, les routes et les rivières ont été calculées. Ces mesures ont été agrégées à l'échelle communale afin d'obtenir les densités de réseaux, les proportions d'ouvrages accessibles et les niveaux d'isolement. Après traitement des valeurs manquantes et standardisation des indicateurs, un indice multicritère a été construit pour hiérarchiser les communes selon leurs contraintes d'accès et leurs besoins d'intervention [12]. L'analyse en composantes principales a ensuite permis de réduire la redondance entre les variables et d'identifier les principaux gradients d'accessibilité, d'équipement et de proximité hydrographique [13]. La classification K-means a servi à regrouper les communes présentant des profils similaires, tandis que le coefficient de silhouette a déterminé le nombre de groupes le plus cohérent [14]. L'indice global de Moran a été appliqué pour vérifier l'existence d'un regroupement spatial des priorités. Enfin, le modèle IDW a généré les surfaces continues de distance, d'isolement et de contrainte [15]. Sa puissance optimale a été sélectionnée par validation croisée leave-one-out, puis sa précision a été évaluée au moyen de la RMSE, de la MAE, du coefficient de détermination et de l'analyse spatiale des résidus.

3 Résultats et discussions

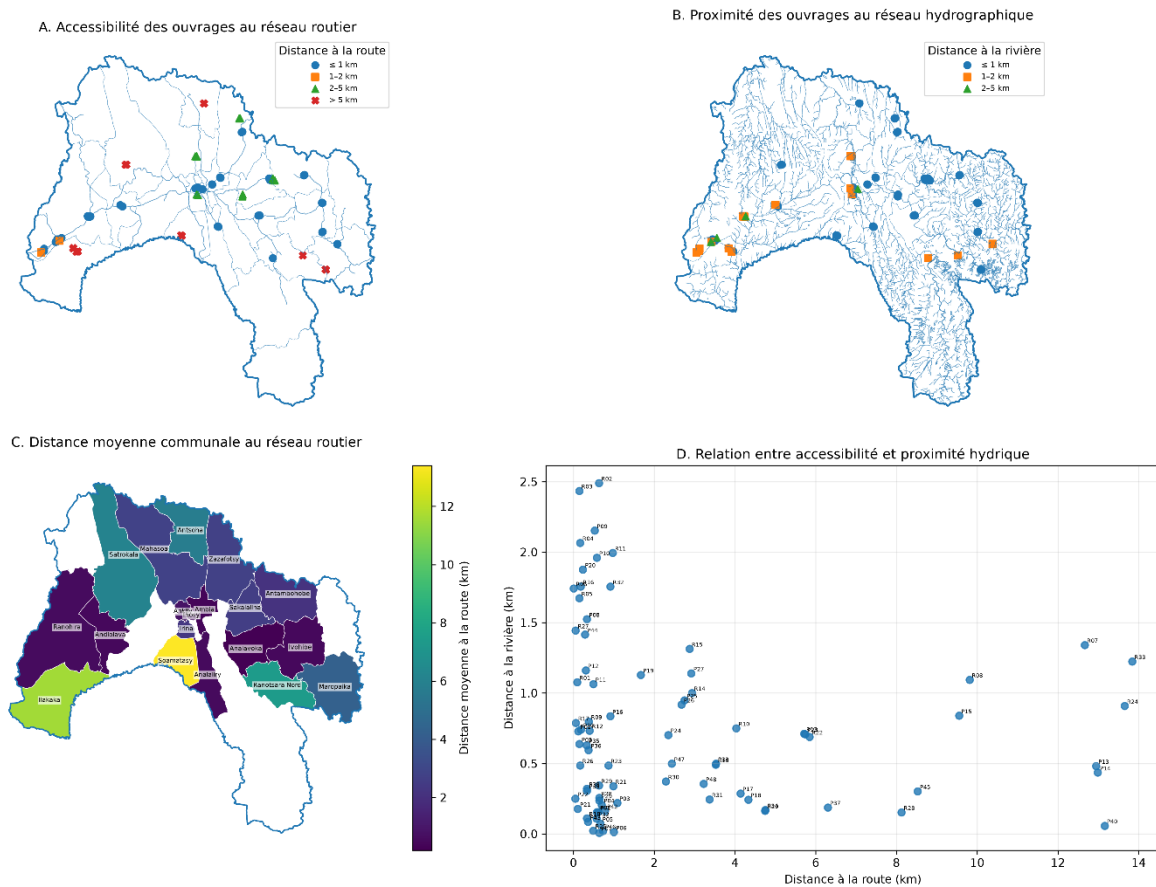
3.1 Résultats

3.1.1 Analyse spatiale de l'accessibilité routière et de la proximité hydrographique des ouvrages d'adduction d'eau potable

La figure suivante illustre l'accessibilité des ouvrages projetés par rapport au réseau routier, leur proximité au réseau hydrographique, la distance moyenne communale aux routes et la relation entre ces deux facteurs spatiaux dans la région d'Ihorombe.

Figure 1: Analyse spatiale de l'accessibilité routière et de la proximité hydrographique des ouvrages d'adduction d'eau potable

Analyse multicritère de l'accessibilité spatiale des ouvrages projetés



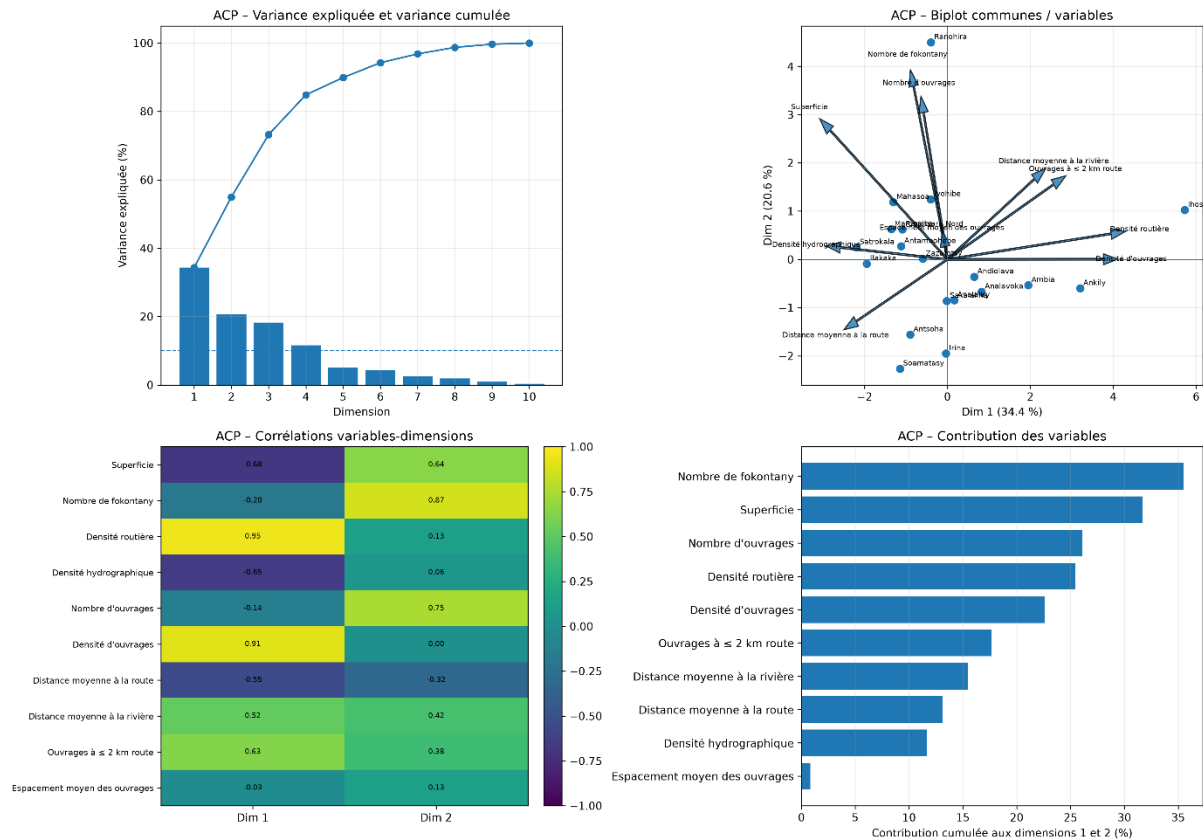
Source : Auteur 2026

Interprétation

La majorité des ouvrages se situe à moins de 1 km d'une route, particulièrement dans les secteurs centraux et orientaux, tandis que plusieurs sites occidentaux et périphériques présentent des distances comprises entre 2 et 5 km, voire supérieures à 5 km. À l'échelle communale, la distance moyenne au réseau routier varie d'une valeur proche de 0 km à environ 13 km. Les communes centrales, notamment autour d'Ihosa, d'Ambia et d'Irina, présentent globalement les meilleures conditions d'accessibilité, alors que Soamatasy, Ilakaka et certaines communes septentrionales ou orientales enregistrent des distances plus élevées. La proximité hydrographique apparaît globalement favorable, la plupart des ouvrages étant implantés à moins de 1 km d'un cours d'eau et la distance maximale observée restant voisine de 2,5 km. Le nuage de points ne met pas en évidence une relation linéaire nette entre la distance aux routes et la distance aux rivières : certains ouvrages éloignés de plus de 12 km du réseau routier demeurent situés à moins de 1,4 km d'un cours d'eau. Ces résultats montrent que la disponibilité hydrique est généralement satisfaisante, mais que l'éloignement routier de certains sites pourrait accroître les contraintes logistiques, les coûts de construction et les difficultés de maintenance des systèmes d'adduction d'eau potable.

3.1.2 Structuration multivariée des indicateurs d'accessibilité et d'équipement des systèmes d'adduction d'eau potable

La figure ci-après présente les résultats de l'analyse en composantes principales appliquée aux indicateurs communaux de superficie, d'accessibilité routière, de densité hydrographique, de répartition des ouvrages et de proximité des infrastructures projetées.

Figure 2 : Structuration multivariée des indicateurs d'accessibilité et d'équipement des systèmes d'adduction d'eau potable**Analyse en composantes principales des indicateurs communaux**

Source : Auteur 2026

Interprétation

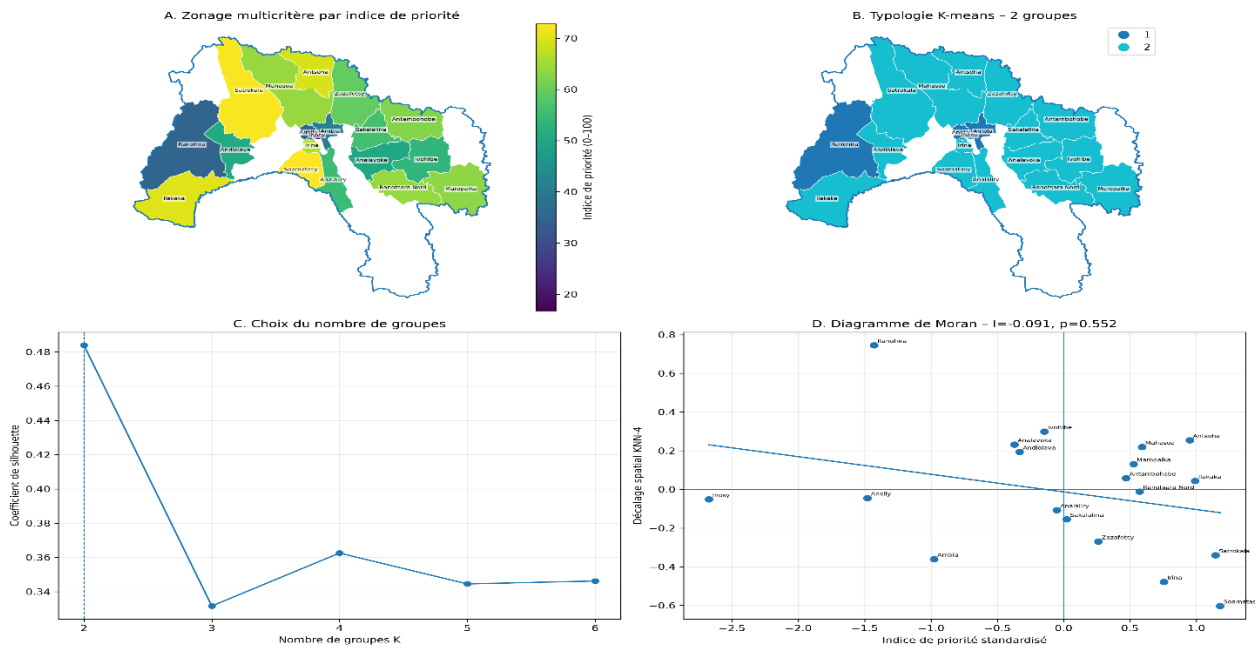
Les deux premières composantes expliquent 55,0 % de la variance totale, dont 34,4 % pour l'axe 1 et 20,6 % pour l'axe 2, tandis que les quatre premiers axes cumulent environ 85 % de l'information. L'axe 1 traduit principalement un gradient d'accessibilité et de concentration des équipements, avec de fortes corrélations positives pour la densité routière, soit 0,95, la densité d'ouvrages, soit 0,91, et la proportion d'ouvrages situés à moins de 2 km d'une route, soit 0,63. Il s'oppose à la superficie communale, corrélée à -0,68, à la densité hydrographique, corrélée à -0,65, et à la distance moyenne aux routes, corrélée à -0,55. L'axe 2 est surtout associé au nombre de fokontany, avec une corrélation de 0,87, au nombre d'ouvrages, avec 0,75, et à la superficie, avec 0,64. Ihosy se distingue par une position fortement positive sur l'axe 1, indiquant une densité routière et une concentration d'ouvrages élevées, tandis que Ranohira présente la valeur la plus forte sur l'axe 2, en relation avec le nombre de fokontany et d'ouvrages. À l'inverse, Antsoha, Irina et Soamatasy se situent dans la partie négative du plan factoriel, traduisant des conditions d'accessibilité plus contraignantes. Les variables les plus contributives aux deux axes sont le nombre de fokontany, avec environ 36 %, la superficie, avec près de 32 %, le nombre d'ouvrages, avec environ 26 %, et la densité routière, avec près de 25 %.

3.1.3 Zonage multicritère et structuration spatiale des priorités d'intervention

La figure ci-dessous présente la répartition communale de l'indice de priorité, la typologie territoriale obtenue par classification K-means, le choix du nombre optimal de groupes et l'autocorrélation spatiale des priorités dans la région d'Ihorombe.

Figure 3: Zonage multicritère et structuration spatiale des priorités d'intervention

Zonage multicritère, classification territoriale et structure spatiale



Source : Auteur 2026

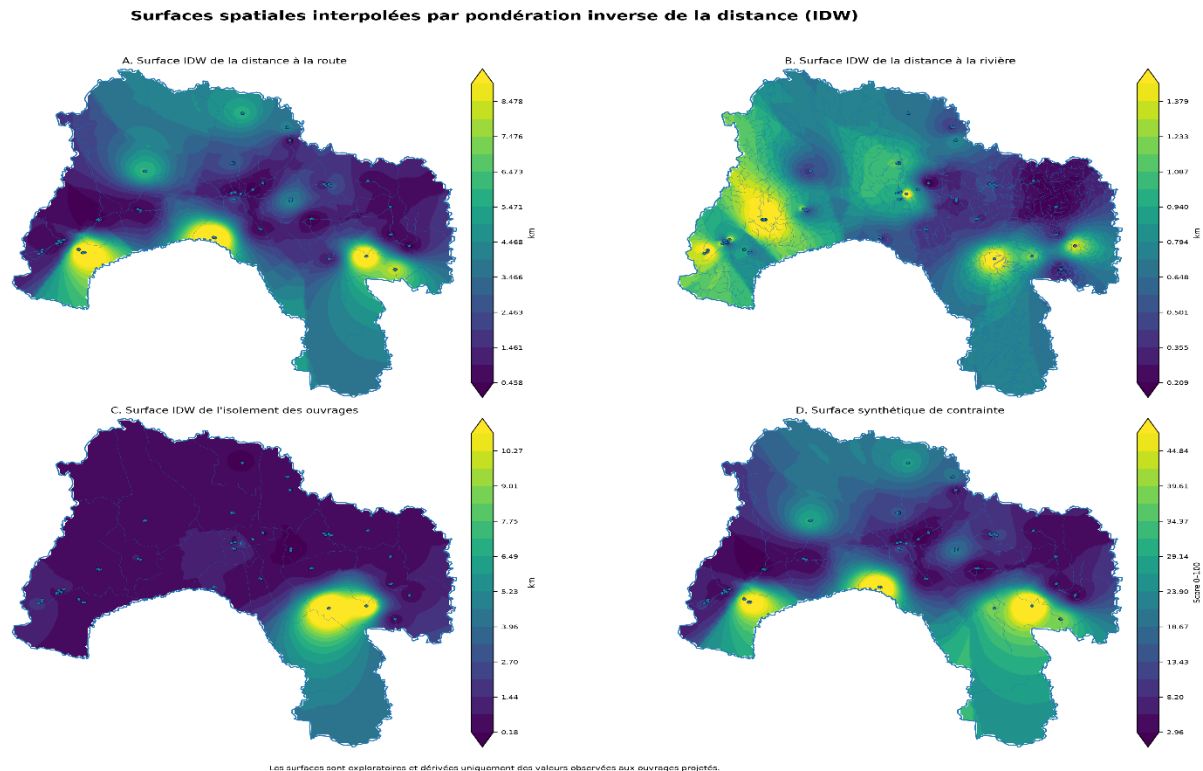
Interprétation

L'indice multicritère varie approximativement de 18 à 72 sur 100, révélant d'importants contrastes territoriaux. Les niveaux les plus élevés concernent notamment Ilakaka, Satrokala et Soamatasy, ainsi que plusieurs communes du nord et de l'est, tandis que Ranohira et certaines unités centrales présentent des niveaux plus faibles. La classification K-means distingue deux groupes territoriaux, choix confirmé par un coefficient de silhouette maximal d'environ 0,48 pour K=2, contre des valeurs comprises entre 0,33 et 0,36 pour trois à six groupes. Cette partition oppose principalement un nombre limité de communes aux profils spécifiques à un ensemble plus homogène regroupant la majorité des territoires. L'indice global de Moran est légèrement négatif, avec $I = -0,091$, mais non significatif ($p = 0,552$). Il n'existe donc pas de regroupement spatial statistiquement démontré des communes à forte ou faible priorité. La distribution observée demeure essentiellement dispersée et dépend davantage des caractéristiques propres à chaque commune que de la proximité géographique entre territoires voisins.

3.1.4 Modélisation spatiale par IDW des contraintes d'accessibilité et d'isolement des ouvrages

La figure suivante présente les surfaces interpolées par pondération inverse de la distance des distances aux routes et aux rivières, de l'isolement spatial des ouvrages ainsi que d'un indice synthétique de contrainte, afin d'identifier les secteurs susceptibles de présenter les plus fortes difficultés de construction, d'exploitation et de maintenance.

Figure 4 : Modélisation spatiale par IDW des contraintes d'accessibilité et d'isolement des ouvrages



Source : Auteur 2026

Interprétation

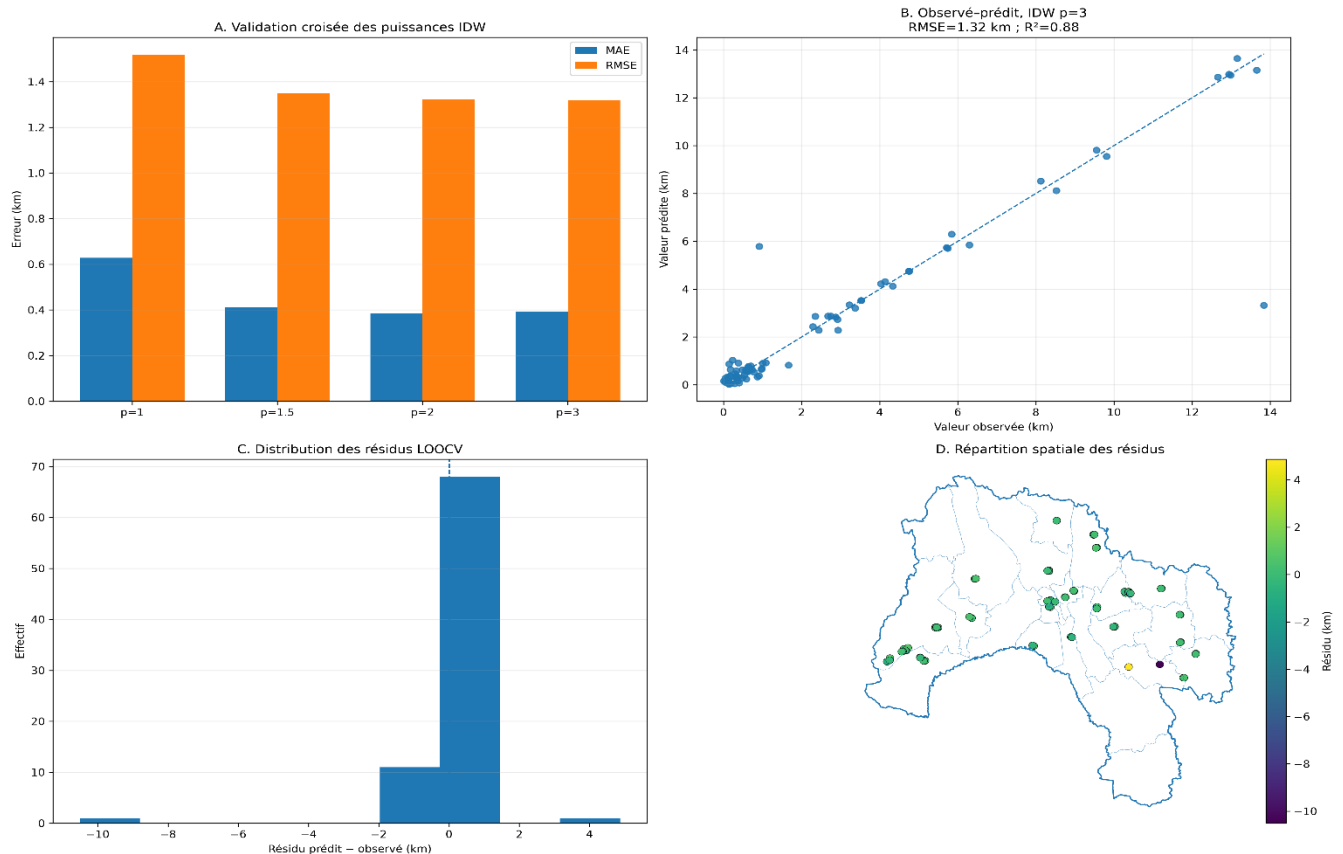
La distance interpolée au réseau routier varie approximativement de 0,46 à 8,48 km. Les secteurs centraux et nord-orientaux présentent généralement les meilleures conditions d'accessibilité, tandis que des noyaux d'éloignement apparaissent dans le sud-ouest, le centre-sud et le sud-est. La distance aux rivières demeure globalement faible, comprise entre environ 0,21 et 1,38 km, ce qui indique une proximité hydrographique relativement favorable sur la majorité du territoire, malgré quelques zones occidentales et méridionales plus éloignées. L'isolement entre ouvrages varie de 0,18 à 10,27 km et atteint ses valeurs maximales dans le secteur sud-est, traduisant une dispersion plus importante des infrastructures projetées. L'indice synthétique de contrainte s'étend d'environ 2,96 à 44,84 sur 100, avec des valeurs élevées dans le sud-ouest, le centre-sud et le sud-est. Ces secteurs pourraient nécessiter des moyens logistiques renforcés, une organisation spécifique de la maintenance et une sécurisation accrue des accès. Les surfaces obtenues restent toutefois exploratoires, car elles résultent d'une interpolation des valeurs observées aux seuls emplacements des ouvrages projetés.

3.1.5 Validation croisée et analyse de l'incertitude de l'interpolation IDW des distances spatiales des ouvrages projetés

La figure suivante présente l'évaluation des performances de l'interpolation par pondération inverse de la distance à partir d'une validation croisée de type leave-one-out, en comparant plusieurs valeurs de puissance IDW et en analysant les écarts entre valeurs observées et prédites.

Figure 5 : Validation croisée et analyse de l'incertitude de l'interpolation IDW des distances spatiales des ouvrages projetés

Performance et incertitude de l'interpolation IDW



Source : Auteur 2026

Interprétation

Les erreurs diminuent progressivement lorsque la puissance IDW augmente : la RMSE passe d'environ 1,52 km pour $p=1$ à 1,32 km pour $p=3$, tandis que la MAE diminue d'environ 0,63 à 0,39 km. Le modèle retenu avec $p=3$ présente une bonne concordance entre les valeurs observées et prédites, avec un coefficient de détermination de $R^2=0,88$. La majorité des résidus est concentrée entre environ -2 et $+2$ km, ce qui indique une précision globalement satisfaisante pour les ouvrages proches des réseaux. Toutefois, quelques erreurs extrêmes atteignent près de -10 km et $+5$ km, notamment dans certains secteurs sud-orientaux où les ouvrages sont plus isolés. La distribution spatiale des résidus ne montre pas de biais régional généralisé, mais révèle des incertitudes localisées liées à l'hétérogénéité de la répartition des points. Ces résultats confirment que l'interpolation IDW fournit une représentation fiable à l'échelle régionale, tout en nécessitant une interprétation prudente dans les zones faiblement échantillonnées.

3.2 Discussions

Les résultats montrent que l'accessibilité des ouvrages d'adduction d'eau potable varie fortement entre les communes de la région d'Ihorombe. Bien que la majorité des sites soit située à moins de 1 km d'un cours d'eau, les distances moyennes aux routes peuvent atteindre environ 13 km, ce qui pourrait accroître les coûts de construction, de transport des équipements et de maintenance. L'ACP, dont les deux premiers axes expliquent 55,0 % de la variance, confirme que l'accessibilité routière, la densité des ouvrages, la superficie communale et la densité hydrographique structurent principalement les contrastes territoriaux. L'indice multicritère, compris entre 18 et 72 sur 100, permet d'identifier les secteurs nécessitant une intervention prioritaire. La classification en deux groupes traduit une opposition entre les communes relativement accessibles et celles présentant davantage de contraintes logistiques. L'absence d'autocorrélation spatiale significative, avec un indice de Moran de $-0,091$ et une valeur de $p=0,552$, indique que les niveaux de priorité dépendent surtout des caractéristiques propres à chaque commune. Enfin, l'interpolation IDW présente une bonne performance globale, avec $R^2=0,88$, une RMSE de 1,32 km et une MAE de 0,39 km, mais les secteurs peu échantillonnés doivent rester interprétés avec prudence.

4 Conclusion

Cette étude a permis de modéliser les contraintes d'accessibilité des ouvrages d'adduction d'eau potable dans la région d'Ihorombe. Les résultats montrent que la proximité des rivières est globalement favorable, tandis que l'éloignement de certains sites par rapport aux routes constitue la principale contrainte logistique. L'analyse multicritère, l'ACP et la classification ont permis de hiérarchiser les communes et d'identifier les secteurs prioritaires. L'interpolation IDW, avec un R^2 de 0,88, fournit une représentation spatiale globalement fiable, malgré des incertitudes dans les zones peu échantillonnées. Cette modélisation constitue ainsi un outil d'aide à la planification, au dimensionnement des interventions et à l'organisation de la maintenance des systèmes d'adduction d'eau potable.

REFERENCES

- [1] WHO & UNICEF. (2025). Progress on Household Drinking Water, Sanitation and Hygiene 2000–2024: Special Focus on Inequalities. Joint Monitoring Programme for Water Supply, Sanitation and Hygiene.
- [2] UNICEF Madagascar. (2026). Water, Sanitation and Hygiene Programme in Madagascar.
- [3] World Bank. (2024). Madagascar Country Climate and Development Report. Washington, D.C.
- [4] Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703–726. DOI: 10.1080/13658810600661508.
- [5] Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 374, 20150202. DOI: 10.1098/rsta.2015.0202.
- [6] Shepard, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly spaced data. *Proceedings of the 23rd ACM National Conference*, 517–524. DOI: 10.1145/800186.810616.
- [7] Foiben-Taosarintanin'i Madagasikara. (2023). Madagascar National Report: Geographic and Hydrographic Activities. Institut géographique et hydrographique national, Madagascar.
- [8] GeoPandas Development Team. (2020). GeoPandas: Python Tools for Geographic Data; Shapely Development Team. Shapely Documentation.
- [9] McKinney, W. (2010). Data structures for statistical computing in Python. *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*, 51–56. DOI : 10.25080/Majora-92bf1922-00a.
- [10] Harris, C. R., et al. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*, 585, 357–362; Virtanen, P., et al. (2020). SciPy 1.0: Fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nature Methods*, 17, 261–272.
- [11] Hunter, J. D. (2007). Matplotlib: A 2D graphics environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(3), 90–95.
- [12] Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703–726.
- [13] Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 374, 20150202.
- [14] Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 20, 53–65.
- [15] Shepard, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly spaced data. *Proceedings of the 23rd ACM National Conference*, 517–524.