International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2026 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/

Vol. 59 No. 2 October 2026, pp. 826-832

Planification Prospective De L'urbanisation D'Antsirabe I : Analyse Diachronique Et Scenarios D'extension

[1,1] RAVERONIRINA Harimbola Sahondra, [1,2] TOVONIRINA Mamiharizo Jackie, [1,3]RAKOTOSON Andriatiana Tolontsoa, [1,4]RAJAONARISON Eddie Franck

[1,2,3,4]Ecole Doctorale Ingénierie et Géosciences, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Université Antananarivo

Auteur Correspondant : RAVERONIRINA Harimbola Sahondra

(cc) BY

Resume: Cette étude analyse la dynamique récente de l'urbanisation d'Antsirabe I et compare plusieurs scénarios prospectifs d'extension afin d'identifier un compromis pertinent pour la planification urbaine. L'analyse diachronique montre que l'emprise bâtie est passée de 12 939,9 ha en 2004 à 11 387,6 ha en 2013, soit une diminution de 1 552,3 ha (–12,0 %), avant de remonter à 12 639,9 ha en 2025, correspondant à une hausse de 1 252,3 ha (+11,0 %) par rapport à 2013. Les simulations prospectives distinguent trois scénarios : conservateur (258 ha), équilibré (318 ha) et expansif (381 ha). Entre les scénarios extrêmes, l'emprise d'extension augmente de 123 ha (+47,7 %). L'évaluation multicritère indique que le scénario équilibré conserve un potentiel global élevé de 92,7/100, avec une accessibilité de 79,5, une continuité urbaine de 59,0, un score de services de 19,4, une sécurité hydraulique de 21,6 et un indicateur environnemental de 97,2. Ces résultats montrent que le scénario équilibré constitue le compromis le plus pertinent entre extension maîtrisée, accessibilité, contraintes hydrauliques et préservation environnementale.
Mots-clés : planification urbaine ; analyse diachronique ; scénarios d'extension ; prospective territoriale ; Antsirabe I.
Abstract: This study analyzes the recent urbanization dynamics of Antsirabe I and compares several prospective urban expansion scenarios in order to identify an appropriate compromise for urban planning. The diachronic analysis shows that the built-up area decreased from 12,939.9 ha in 2004 to 11,387.6 ha in 2013, representing a reduction of 1,552.3 ha (–12.0%), before increasing to 12,639.9 ha in 2025, corresponding to an increase of 1,252.3 ha (+11.0%) compared with 2013. The prospective simulations distinguish three scenarios: conservative (258 ha), balanced (318 ha), and expansive (381 ha). Between the two extreme scenarios, the expansion area increases by 123 ha (+47.7%). The multicriteria assessment indicates that the balanced scenario maintains a high overall potential score of 92.7/100, with an accessibility score of 79.5, an urban continuity score of 59.0, a service score of 19.4, a hydraulic safety score of 21.6, and an environmental indicator of 97.2. These findings demonstrate that the balanced scenario represents the most relevant compromise between controlled urban expansion, accessibility, hydraulic constraints, and environmental preservation.

Keywords: urban planning; diachronic analysis; expansion scenarios; territorial foresight; Antsirabe I.

1. INTRODUCTION

L'urbanisation constitue un processus spatial majeur qui transforme durablement l'organisation des territoires, les mobilités, les usages du sol et les besoins en infrastructures. Dans les pays en développement, cette dynamique est souvent caractérisée par une croissance rapide des villes, une extension périphérique du bâti et une planification insuffisamment anticipée. À Madagascar, plus de la moitié de la population devrait résider en milieu urbain à l'horizon 2036, alors que de nombreuses villes connaissent encore des déficits importants en services, en équipements et en maîtrise de l'occupation du sol [1]. Cette évolution renforce la nécessité de disposer d'outils capables de suivre les transformations passées tout en explorant plusieurs trajectoires futures d'aménagement. L'analyse diachronique de l'occupation du sol constitue, à cet égard, une approche essentielle pour mesurer les changements de

l'emprise bâtie et identifier les secteurs où l'urbanisation progresse, régresse ou se redistribue. Les travaux sur l'expansion urbaine montrent que les changements de couverture du sol peuvent avoir des conséquences importantes sur les écosystèmes, les stocks de carbone et la fragmentation des paysages [2]. L'observation de plusieurs dates permet ainsi de distinguer les tendances structurelles des fluctuations ponctuelles et d'établir une base objective pour la prospective territoriale. Cependant, la compréhension du passé ne suffit pas à orienter les décisions futures. La planification urbaine nécessite également l'évaluation de scénarios contrastés permettant d'examiner les compromis entre extension spatiale, accessibilité, continuité du tissu urbain, proximité des services, sécurité hydraulique et préservation environnementale. Les systèmes d'information géographique associés à l'analyse multicritère constituent des outils particulièrement adaptés à ce type de décision, car ils permettent d'intégrer des critères de nature différente et de comparer plusieurs alternatives spatiales [3]. De même, les modèles prospectifs d'urbanisation ont montré l'intérêt de simuler des configurations futures à partir de données historiques, de réseaux de transport et de contraintes territoriales [4]. Antsirabe I, caractérisée par un noyau urbain dense, des extensions périphériques et un réseau hydrographique structurant, représente un cas pertinent pour articuler analyse rétrospective et planification prospective. La présente étude vise donc à analyser l'évolution de l'emprise bâtie entre 2004, 2013 et 2025, puis à comparer trois scénarios d'extension urbaine — conservateur, équilibré et expansif — à partir d'indicateurs spatiaux normalisés. L'objectif est d'identifier un scénario conciliant maîtrise de l'emprise, accessibilité, continuité urbaine, sécurité hydraulique et qualité environnementale, afin de fournir une base scientifique d'aide à la planification future d'Antsirabe I. L'approche combine ainsi lecture cartographique, quantification des changements, profils spatiaux et comparaison multicritère afin de rendre explicites les arbitrages entre développement urbain et contraintes territoriales.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Matériels utilisés

Les travaux ont été réalisés à partir de données géospatiales décrivant les limites administratives, le réseau routier, l'hydrographie, le bâti et les principales occupations du sol d'Antsirabe I, complétées par des informations multi-dates permettant de suivre l'évolution de l'emprise bâtie en 2004, 2013 et 2025. Les données de voirie et d'occupation urbaine ont notamment été appuyées par OpenStreetMap [5], tandis que les limites administratives provenaient des couches SIG disponibles du BNGRC. Les traitements spatiaux, le calcul des superficies, la comparaison diachronique et l'analyse des scénarios ont été effectués sous Python à l'aide de GeoPandas [6] et NumPy [7]. Les représentations cartographiques, profils spatiaux, heatmaps et graphiques comparatifs ont été produits avec Matplotlib [8]. L'ensemble de ces outils a permis de construire les scénarios conservateur, équilibré et expansif et d'en comparer quantitativement les performances selon les critères d'accessibilité, de continuité, de services, de sécurité hydraulique, d'environnement et de potentiel.

2.2 Méthodes adoptés

Les données multi-dates ont d'abord été harmonisées, reprojetées dans un même système de coordonnées et découpées selon les limites d'Antsirabe I. L'évolution de l'emprise bâtie entre 2004, 2013 et 2025 a été évaluée par comparaison spatiale des surfaces afin de quantifier les gains, les pertes et les variations nettes d'urbanisation [9]. Les critères d'accessibilité routière, de continuité urbaine, de proximité des services, de sécurité hydraulique, de qualité environnementale et de potentiel d'aménagement ont ensuite été normalisés sur une échelle de 0 à 100 et intégrés dans une analyse multicritère spatiale [10]. Trois scénarios prospectifs — conservateur, équilibré et expansif — ont été construits en faisant varier les niveaux d'exigence et d'extension retenus [11]. Leur comparaison a reposé sur les superficies mobilisées et les scores moyens obtenus pour chaque critère, afin d'identifier le scénario offrant le meilleur compromis territorial [12].

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2026 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 59 No. 2 October 2026, pp. 826-832

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Scénario équilibré d'extension urbaine et compatibilité entre accessibilité et sécurité hydraulique

La figure suivante présente la configuration spatiale du scénario équilibré d'aménagement d'Antsirabe I et examine conjointement la relation entre l'accessibilité routière, la sécurité hydraulique et le potentiel d'urbanisation. Les extensions proposées se concentrent principalement dans et autour du corridor urbain central, à proximité du bâti existant et des principaux axes routiers, afin de privilégier une croissance spatialement continue.

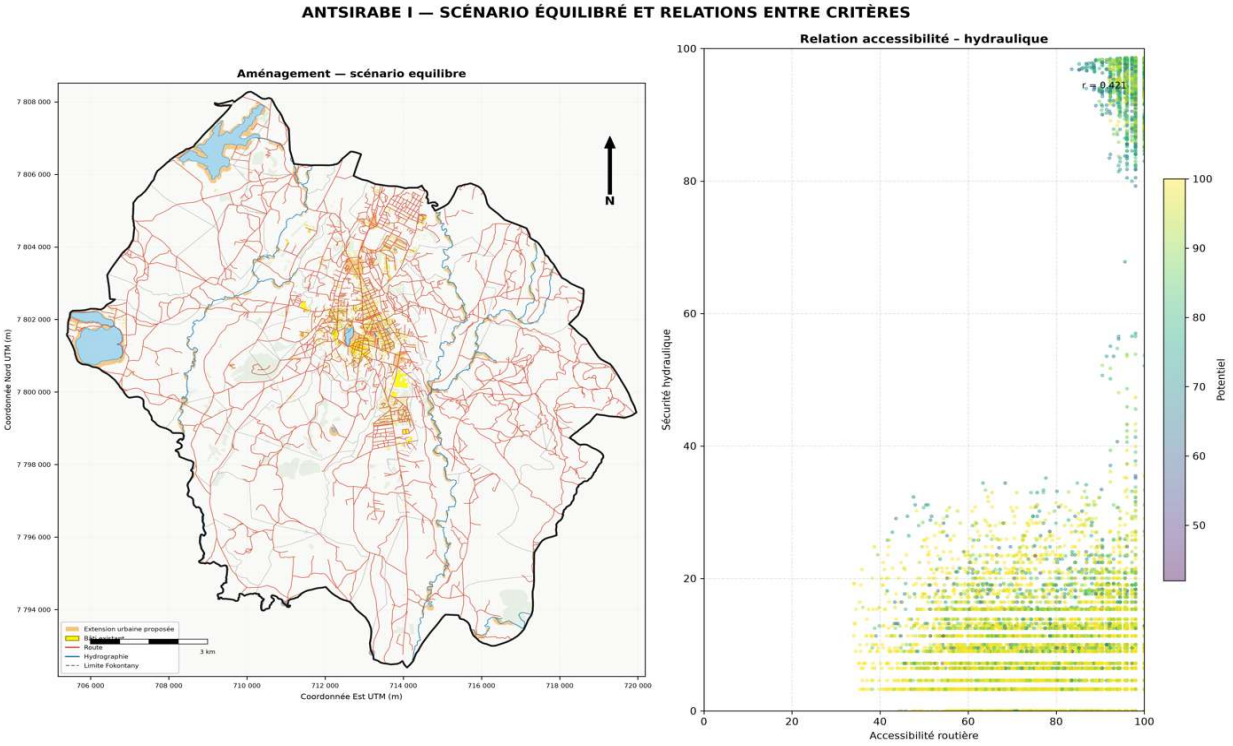


Figure 1: Scénario équilibré d'extension urbaine et compatibilité entre accessibilité et sécurité hydraulique

Interprétation

Le nuage de points met en évidence une corrélation positive modérée entre l'accessibilité routière et la sécurité hydraulique, avec r = 0,421. La majorité des observations présente une accessibilité comprise entre 50 et 100, mais des niveaux de sécurité hydraulique fréquemment situés entre 3 et 30, montrant qu'une bonne desserte routière ne garantit pas systématiquement des conditions hydrauliques favorables. Un groupe distinct de secteurs fortement accessibles, généralement au-delà de 90, présente toutefois une sécurité hydraulique élevée, comprise approximativement entre 80 et 98. Les potentiels les plus élevés, proches de 90 à 100, se retrouvent principalement parmi les secteurs combinant forte accessibilité et contraintes hydrauliques limitées. Le scénario équilibré privilégie ainsi une extension urbaine proche du tissu existant, tout en montrant que la sélection définitive des espaces doit intégrer simultanément la desserte routière et la sécurité hydraulique.

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2026 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 59 No. 2 October 2026, pp. 826-832

3.2 Dynamique spatio-temporelle de l'emprise bâtie à Antsirabe I (2004–2025)

La figure ci-dessous présente l'évolution de l'emprise bâtie d'Antsirabe I entre 2004, 2013 et 2025, en combinant la localisation des gains et pertes de surfaces bâties avec leur quantification temporelle. Cette analyse diachronique permet d'identifier les phases de contraction et de reprise de l'urbanisation ainsi que leur distribution spatiale dans le district.

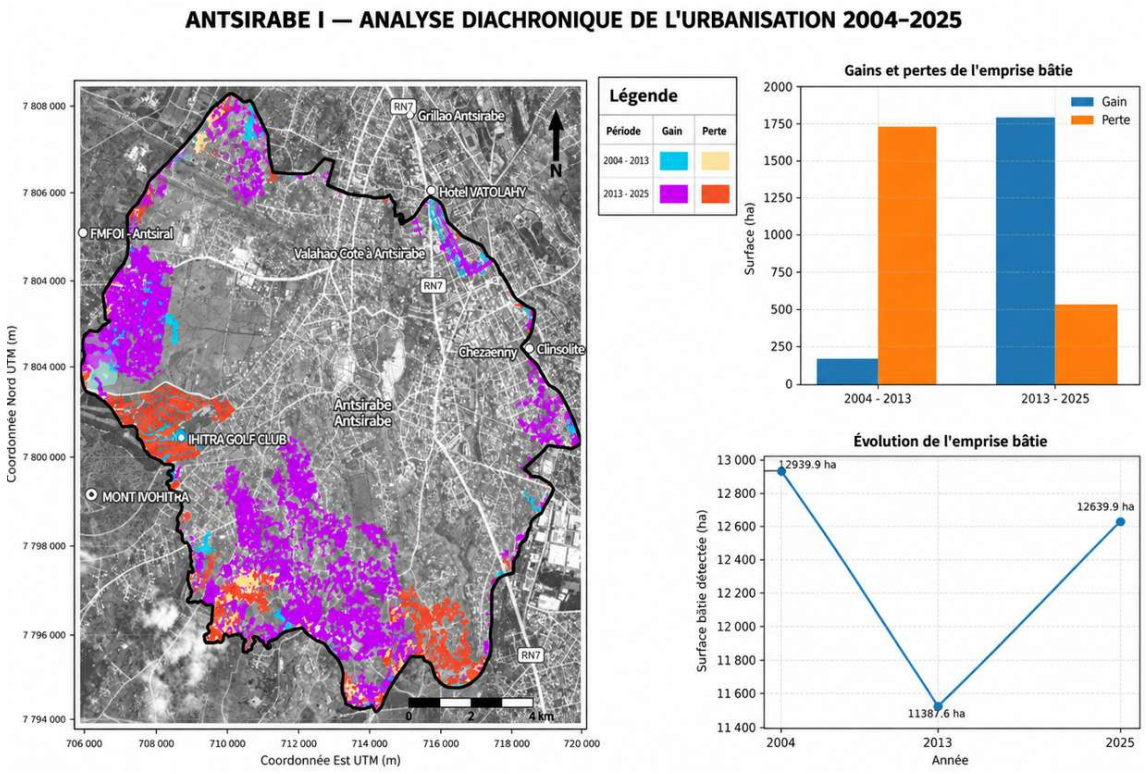


Figure 2: Dynamique spatio-temporelle de l'emprise bâtie à Antsirabe I (2004–2025)

Interprétation

L'emprise bâtie passe de 12 939,9 ha en 2004 à 11 387,6 ha en 2013, soit une diminution nette de 1 552,3 ha (–12,0 %). Cette première période est caractérisée par environ 160 ha de gains contre près de 1 730 ha de pertes, indiquant une forte prédominance des surfaces classées comme pertes de bâti. Entre 2013 et 2025, la tendance s'inverse : l'emprise bâtie atteint 12 639,9 ha, correspondant à une augmentation de 1 252,3 ha (+11,0 %) par rapport à 2013. Les gains atteignent alors environ 1 790 ha, contre près de 530 ha de pertes. Sur l'ensemble de la période 2004–2025, l'emprise bâtie reste néanmoins inférieure de 300 ha, soit environ –2,3 %, à son niveau initial. Spatialement, les gains récents se concentrent surtout dans les secteurs périphériques nord, ouest et sud, traduisant une reprise de l'expansion urbaine après 2013, accompagnée d'une redistribution de l'emprise bâtie vers les marges du tissu urbain.

3.3 Profil spatial des critères du scénario équilibré

La figure ci-dessous montre la configuration spatiale du scénario équilibré d'aménagement d'Antsirabe I et compare, selon un transect Ouest–Est, trois indicateurs normalisés de 0 à 100 : le potentiel d'urbanisation, l'accessibilité routière et la sécurité hydraulique. Cette représentation permet d'identifier les secteurs où les conditions favorables à l'extension urbaine se combinent ou, au contraire, présentent des contraintes.

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2026 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 59 No. 2 October 2026, pp. 826-832

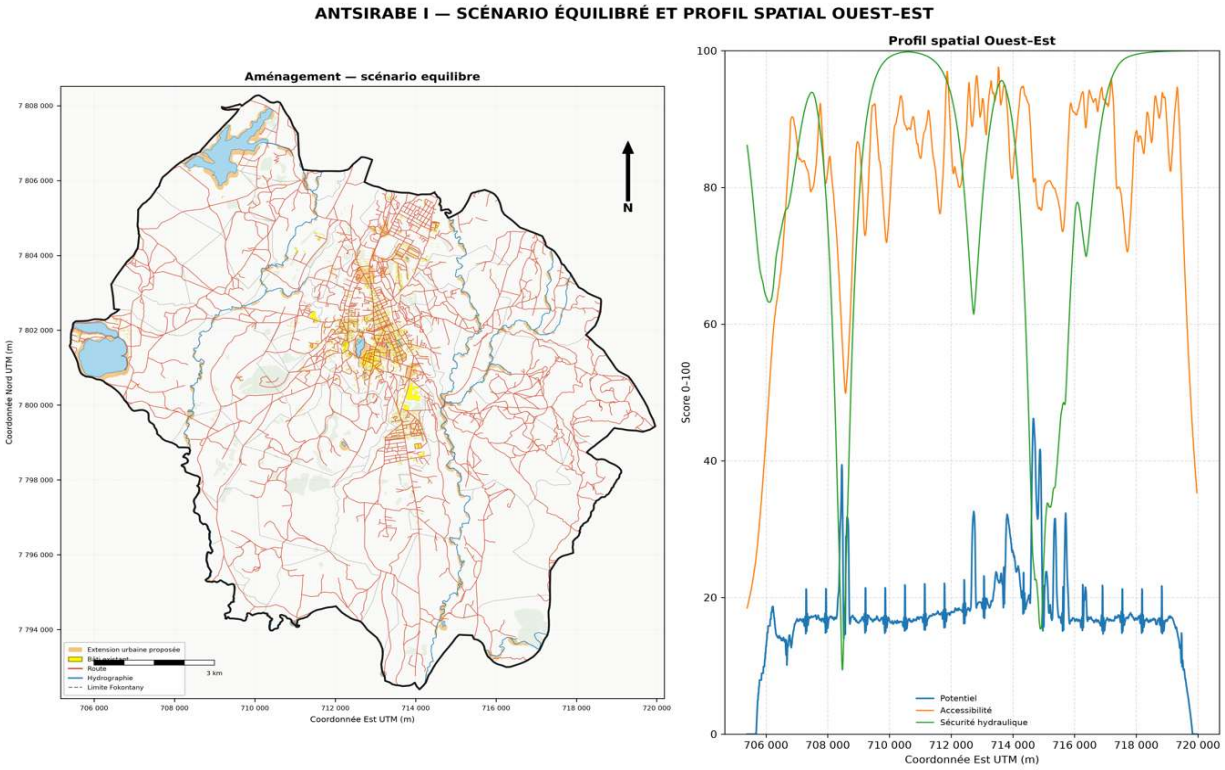


Figure 3: Profil spatial des critères du scénario équilibré

Interprétation

Le profil montre une accessibilité routière globalement élevée, le plus souvent comprise entre 80 et 95 sur la majeure partie du transect, avec quelques diminutions ponctuelles autour de 50 vers 708 500 m Est et d'environ 70–75 dans certains secteurs intermédiaires. La sécurité hydraulique présente une variabilité plus importante : elle atteint fréquemment 95 à 100, notamment entre environ 710 000–712 000 m Est et au-delà de 717 000 m Est, mais chute localement jusqu'à environ 10–15 vers 708 500 m et 714 800–715 000 m Est. Le potentiel d'urbanisation reste généralement plus faible, autour de 15–20, avec des pics localisés pouvant atteindre environ 40–47 dans les zones où l'accessibilité demeure forte mais où la sécurité hydraulique varie rapidement. Ces résultats montrent que le scénario équilibré ne dépend pas uniquement de la desserte routière : les secteurs les plus pertinents sont ceux où une accessibilité élevée est simultanément associée à une sécurité hydraulique satisfaisante, ce qui limite les extensions dans les zones présentant des contraintes hydrauliques marquées.

3.4 Comparaison multicritère des scénarios d'aménagement urbain

La figure ci-dessous synthétise les performances spatiales de trois scénarios d'extension urbaine à Antsirabe I — conservateur, équilibré et expansif — en croisant six critères normalisés sur 100 avec la superficie d'extension correspondante. Elle permet d'identifier le compromis entre accessibilité, continuité urbaine, proximité des services, sécurité hydraulique, qualité environnementale et potentiel global d'aménagement.

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2026 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 59 No. 2 October 2026, pp. 826-832

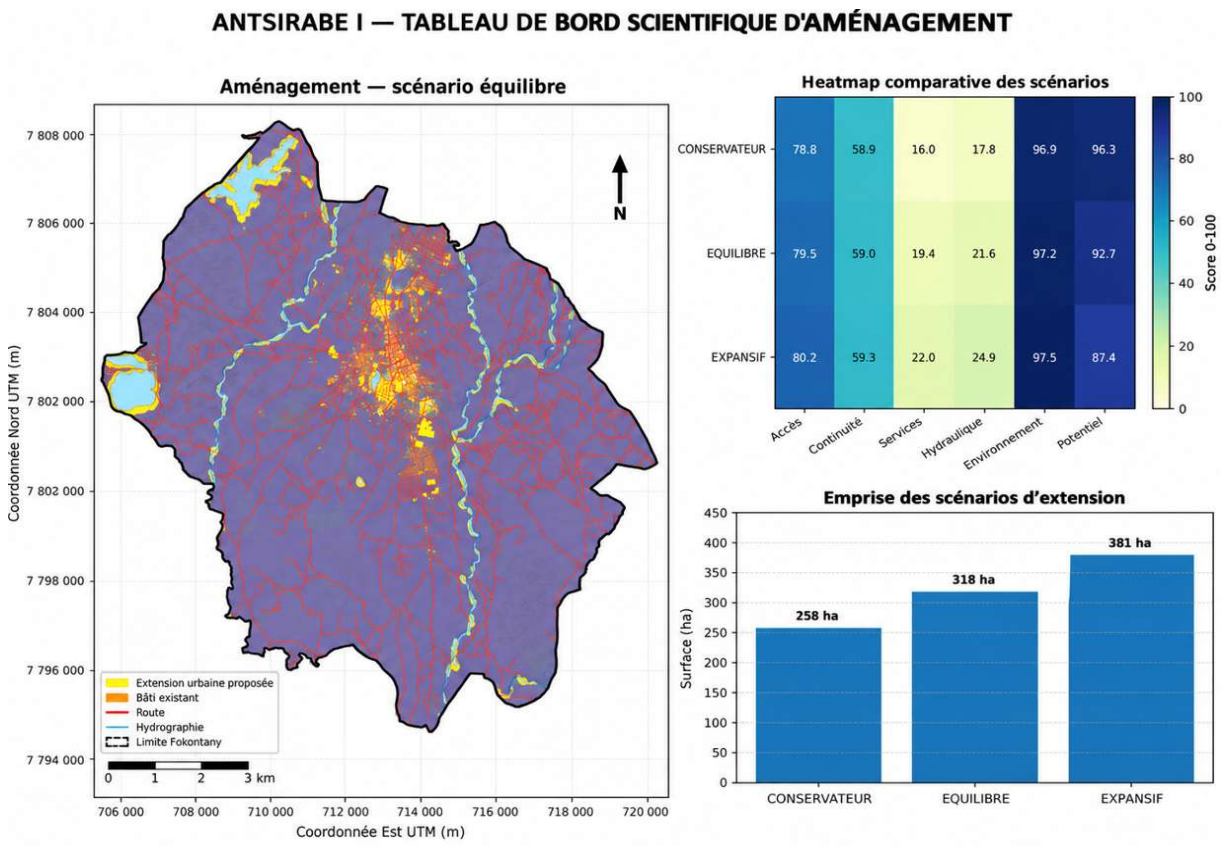


Figure 4 : Comparaison multicritère des scénarios d'aménagement urbain

Interprétation

Les résultats montrent une progression des indicateurs d'accessibilité de 78,8 à 80,2, de continuité urbaine de 58,9 à 59,3, de services de 16,0 à 22,0 et de sécurité hydraulique de 17,8 à 24,9 entre les scénarios conservateur et expansif. Le critère environnemental demeure très élevé et stable, passant de 96,9 à 97,5. À l'inverse, le potentiel global diminue de 96,3 pour le scénario conservateur à 92,7 pour le scénario équilibré puis 87,4 pour le scénario expansif. Parallèlement, l'emprise d'extension augmente de 258 ha à 318 ha, puis 381 ha, soit une progression totale de 123 ha (+47,7 %). Le scénario équilibré apparaît ainsi comme un compromis intermédiaire, combinant une emprise maîtrisée de 318 ha, un potentiel encore élevé de 92,7 et des performances supérieures au scénario conservateur pour l'accessibilité, les services et la sécurité hydraulique.

4. DISCUSSION

Les résultats mettent en évidence une dynamique urbaine contrastée à Antsirabe I. L'emprise bâtie diminue de 12 939,9 ha en 2004 à 11 387,6 ha en 2013, soit une baisse de 1 552,3 ha (–12,0 %), avant de remonter à 12 639,9 ha en 2025, correspondant à une reprise de 1 252,3 ha (+11,0 %). Cette évolution suggère une phase de contraction ou de reconfiguration du tissu bâti suivie d'une nouvelle dynamique d'expansion, principalement orientée vers les périphéries. La comparaison des scénarios montre que l'augmentation des surfaces mobilisées s'accompagne d'un compromis entre intensité de l'extension et qualité globale de l'aménagement. Le scénario conservateur limite l'extension à 258 ha et présente le potentiel le plus élevé (96,3/100), tandis que le scénario expansif atteint 381 ha, mais avec un potentiel réduit à 87,4/100. Le scénario équilibré, avec 318 ha et un potentiel de 92,7/100, conserve une accessibilité élevée (79,5), une continuité urbaine de 59,0, un score environnemental de 97,2 et une

sécurité hydraulique de 21,6. Il apparaît ainsi comme l'option la plus cohérente pour concilier besoins d'extension, accessibilité, maîtrise des contraintes hydrauliques et préservation environnementale.

5. CONCLUSION

Cette étude met en évidence une évolution contrastée de l'urbanisation d'Antsirabe I, marquée par une diminution de l'emprise bâtie entre 2004 et 2013 (–12,0 %), suivie d'une reprise entre 2013 et 2025 (+11,0 %). L'analyse prospective montre que les trois scénarios étudiés traduisent des niveaux d'extension et des performances territoriales différents. Le scénario conservateur limite l'emprise à 258 ha et conserve le potentiel global le plus élevé (96,3/100), tandis que le scénario expansif atteint 381 ha avec un potentiel réduit à 87,4/100. Le scénario équilibré, avec 318 ha, un potentiel de 92,7/100, une accessibilité de 79,5 et un score environnemental de 97,2, apparaît comme le compromis le plus pertinent. Ces résultats montrent qu'une extension urbaine maîtrisée, connectée au tissu existant et intégrant les contraintes hydrauliques et environnementales, constitue l'orientation la plus cohérente pour la planification future d'Antsirabe I.

RÉFÉRENCE

[1] Banque mondiale. Madagascar Urbanization Review: Leveraging Cities as Drivers of Growth and Structural Transformation. Washington, DC: World Bank; 2024.

[2] Seto KC, Güneralp B, Hutyra LR. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2012;109(40):16083–16088. doi:10.1073/pnas.1211658109.

[3] Malczewski J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science. 2006;20(7):703–726. doi:10.1080/13658810600661508.

[4] Clarke KC, Hoppen S, Gaydos L. A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. Environment and Planning B: Planning and Design. 1997;24(2):247–261. doi:10.1068/b240247.

[5] Haklay M, Weber P. OpenStreetMap: User-Generated Street Maps. IEEE Pervasive Computing. 2008;7(4):12–18. doi:10.1109/MPRV.2008.80.

[6] Jordahl K, Van den Bossche J, Fleischmann M, et al. GeoPandas: Python tools for geographic data. Zenodo; 2020. doi:10.5281/zenodo.3946761.

[7] Harris CR, Millman KJ, van der Walt SJ, et al. Array programming with NumPy. Nature. 2020;585:357–362. doi:10.1038/s41586-020-2649-2.

[8] Hunter JD. Matplotlib: A 2D Graphics Environment. Computing in Science & Engineering. 2007;9(3):90–95. doi:10.1109/MCSE.2007.55.

[9] Pontius RG Jr, Shusas E, McEachern M. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. Agriculture, Ecosystems & Environment. 2004;101(2–3):251–268.

[10] Malczewski J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science. 2006;20(7):703–726. doi:10.1080/13658810600661508.

[11] Xiang WN, Clarke KC. The use of scenarios in land-use planning. Environment and Planning B: Planning and Design. 2003;30(6):885–909.

[12] Geneletti D. Multicriteria analysis to compare the impact of alternative road corridors: a case study in northern Italy. Impact Assessment and Project Appraisal. 2005;23(2):135–146.