

# **Efficacité routière et transformation économique territoriale dans un espace enclavé : mobilité, agriculture et recomposition productive dans la province du Kwango (RDC), 1990–2023**

## **Road Efficiency and Territorial Economic Transformation in a Landlocked Region: Mobility, Agriculture and Productive Recomposition in Kwango Province (DR Congo), 1990–2023**

**Jean Pierre PASI ZAPAMBA BUKA, (*Chef de travaux*)**

*Faculté des sciences économiques et de gestion*

*Université de Kisangani, RD Congo*

|                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Adresse de correspondance :</b>  | Faculté des sciences économiques et de gestion<br>Université de Kisangani, République Démocratique du Congo<br>Province de la Tshopo à Kisangani                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Déclaration de divulgation :</b> | Les auteurs n'ont pas connaissance de quelconque financement qui pourrait affecter l'objectivité de cette étude. Ils assument l'entière responsabilité de tout éventuel plagiat, de l'usage de l'intelligence artificielle dans la rédaction, ainsi que des résultats présentés dans cet article.                                                                                                                              |
| <b>Conflit d'intérêts :</b>         | Les auteurs ne signalent aucun conflit d'intérêts.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Citer cet article</b>            | PASI ZAPAMBA BUKA, J. P. (2026). Efficacité routière et transformation économique territoriale dans un espace enclavé : mobilité, agriculture et recomposition productive dans la province du Kwango (RDC), 1990–2023. <i>International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics</i> , 7(13), 1–24.<br><a href="https://doi.org/10.5281/zenodo.23317237">https://doi.org/10.5281/zenodo.23317237</a> |
| <b>Licence</b>                      | <b>Cet article est publié en open Access sous licence<br/>CC BY-NC-ND</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

**International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics - IJAFAME**

**ISSN: 2658-8455**

**Volume 7, Issue 13 (2026)**

## **Efficacité routière et transformation économique territoriale dans un espace enclavé : mobilité, agriculture et recomposition productive dans la province du Kwango (RDC), de 1990 à 2023**

### **Résumé**

Cet article analyse la manière dont l'extension du réseau routier, son efficacité technique relative et l'évolution de la mobilité et de la production agricole se combinent dans la transformation économique territoriale de la province du Kwango, en République démocratique du Congo, entre 1990 et 2023. La littérature sur les routes rurales documente largement les effets de l'accessibilité sur les marchés, l'agriculture et l'allocation du travail, tandis que les travaux d'efficacité par frontière évaluent la performance relative des infrastructures. Le rapprochement de ces deux perspectives demeure toutefois peu développé pour apprécier conjointement expansion du réseau, efficacité productive et recomposition territoriale dans un espace enclavé. La question posée est donc la suivante : comment l'extension du réseau routier, l'évolution de son efficacité technique corrigée et les changements de mobilité et de production agricole se combinent-ils dans la transformation économique territoriale du Kwango ? Le matériau initial comprend 136 observations trimestrielles couvrant 1990T1-2023T4. Afin d'éviter une pseudo-précision liée à la reconstruction temporelle de certaines séries, l'analyse territoriale principale est conduite sur 34 observations annuelles, de 1990 à 2023. L'efficacité est mesurée par un DEA Window VRS orienté input à six fenêtres, puis corrigée par bootstrap. L'étude mobilise également des indicateurs d'intensité par kilomètre, des tests de Kruskal-Wallis avec tailles d'effet, des comparaisons de Mann-Whitney corrigées par Holm, le taux de Kendall et les pentes robustes de Theil-Sen avec intervalles de confiance à 95 %. Les résultats mettent en évidence un découplage marqué : entre les deux extrémités de la période, le linéaire routier passe de 2 316 à 8 282 km, soit une hausse de 257,6 %, tandis que le score VRS corrigé recule d'environ 54,6 %. L'intensité du trafic par kilomètre diminue d'environ 50,3 %, la production de rente chute de 89,7 % et sa part dans la production agricole observée recule d'environ 79,9 %. La production vivrière suit une trajectoire plus résistante, ce qui révèle une recomposition productive asymétrique. Ces résultats ne sont pas interprétés causalement, puisque le score DEA est construit à partir du réseau, du trafic et des productions étudiées. L'article met ainsi en évidence une transformation territoriale partielle dans laquelle l'accumulation d'infrastructures ne garantit pas, à elle seule, leur mobilisation productive. Il en découle une implication de gestion : la planification routière doit compléter le kilométrage construit par des critères d'efficacité, d'intensité d'usage, de connectivité productive, de praticabilité et de maintenance.

**Mots clés :** Efficacité routière ; transformation économique territoriale ; accessibilité ; agriculture ; Kwango.

**Classification JEL :** R42 ; R58 ; O18 ; Q12.

**Type du papier :** Recherche empirique quantitative.

### **Abstract**

This article examines how road-network expansion, relative technical efficiency, mobility, and agricultural production jointly characterize territorial economic transformation in Kwango Province, Democratic Republic of the Congo, from 1990 to 2023. The rural-roads literature has extensively documented the effects of accessibility on markets, agriculture, and labour allocation, while frontier-efficiency studies assess the relative productive performance of infrastructure. Yet these two perspectives are seldom combined to evaluate network expansion, productive efficiency, and territorial recomposition simultaneously in a landlocked setting. The study therefore asks: how do road-network expansion, changes in bias-corrected technical efficiency, mobility, and agricultural production combine in Kwango's territorial economic transformation? The initial dataset contains 136 quarterly observations covering 1990Q1-2023Q4. To avoid pseudo-precision arising from the temporal reconstruction of some series, the main territorial analysis is conducted on 34 annual observations from 1990 to 2023. Efficiency is measured using an input-oriented VRS Window DEA with six windows and is subsequently bias-corrected by bootstrap. The empirical strategy also uses per-kilometre intensity indicators, Kruskal-Wallis tests with effect sizes, Holm-adjusted Mann-Whitney comparisons, Kendall's tau, and robust Theil-Sen slopes with 95% confidence intervals. The results reveal a marked decoupling. Between the endpoints of the study period, road length rises from 2,316 to 8,282 km, an increase of 257.6%, whereas the corrected VRS score falls by approximately 54.6%. Traffic intensity per kilometre declines by about 50.3%, cash-crop production falls by 89.7%, and its share of observed agricultural output decreases by about 79.9%. Food-crop production follows a more resilient path, pointing to an asymmetric productive recomposition. These relationships are not interpreted causally because the DEA score is itself constructed from road length, traffic, and the agricultural outputs under study. The article therefore identifies a partial territorial transformation in which infrastructure accumulation alone does not guarantee productive mobilisation. A key managerial implication follows: road planning should complement kilometres built with measures of efficiency, use intensity, productive connectivity, all-season passability, and maintenance.

**Keywords:** Road efficiency; territorial economic transformation; accessibility; agriculture; Kwango.

**JEL Classification:** R42; R58; O18; Q12.

**Paper type:** Empirical quantitative research.

## 1. Introduction

Dans les économies territoriales où les activités agricoles occupent une place importante, la route agit moins comme un simple stock d'infrastructures que comme une condition d'accès aux marchés, aux services et aux débouchés productifs. La littérature établit que l'accessibilité routière est étroitement liée à la localisation des populations et de la production. À l'échelle de l'Afrique subsaharienne, Dorosh, Wang, You et Schmidt (2012) montrent que 41,4 % de la population et 23,6 % de la valeur de la production agricole sont concentrées à moins de 2,5 heures de déplacement d'une grande ville. Leur analyse met également en évidence une association statistiquement significative entre le temps de trajet et la production agricole. Cette relation ne signifie pas que l'extension physique d'un réseau suffit à transformer un territoire. Elle invite plutôt à examiner conjointement la capacité infrastructurelle, l'usage effectif du réseau et les activités productives qu'il dessert.

Cette distinction est particulièrement importante en République démocratique du Congo. Ulimwengu, Funes, Headey et You (2009) montrent, à partir de données géographiques et d'informations sur les temps de transport, que l'accès aux marchés constitue une dimension centrale du développement agricole et rural congolais. Leurs simulations relient l'amélioration de l'infrastructure routière à des gains potentiels d'accessibilité, de production agricole et de richesse des ménages. Ces résultats éclairent le rôle économique des routes, mais ils laissent ouverte une question différente, qui devient décisive lorsque l'on observe un même territoire sur plusieurs décennies : l'accroissement du linéaire routier s'accompagne-t-il effectivement d'une mobilisation plus intensive du réseau et d'une recomposition productive cohérente ?

Le Kwango offre un terrain particulièrement instructif pour cette interrogation. La base constituée pour cette étude couvre la période allant de 1990 à 2023 et comprend 136 observations trimestrielles pour la construction et l'estimation des scores d'efficacité. Pour l'analyse principale de la transformation territoriale, les séries sont ensuite examinées à fréquence annuelle, soit 34 observations. Cette distinction entre la fréquence de construction du score et la fréquence des tests de transformation est essentielle pour apprécier correctement la portée statistique des résultats. Les variables centrales sont la longueur du réseau routier (LRES), le trafic moyen journalier annuel (TMJA), la production vivrière (PVRI), la production de rente (PREN) et un score d'efficacité technique sous rendements variables à l'échelle corrigé par bootstrap (VRS-BC).

Les trajectoires observées ne sont pas parallèles. Entre le début et la fin de la période, le linéaire routier passe approximativement de 2 316 km à 8 282 km, soit une progression de 257,6 %, tandis que le score VRS-BC recule approximativement de 0,987 à 0,448, ce qui correspond à une contraction de 54,6 %. Dans le même temps, plusieurs indicateurs rapportés au kilomètre de réseau, notamment ceux associés à la production de rente, se contractent. Ce contraste constitue le fait stylisé qui motive l'article. Il ne permet pas de conclure que l'extension du réseau a provoqué la baisse de l'efficacité ; mais, il indique en revanche que l'accumulation d'infrastructures et l'intensité de leur mobilisation économique n'ont pas suivi la même trajectoire.

Le problème scientifique se situe précisément à ce niveau. Une partie importante de la littérature sur les infrastructures routières étudie les effets de l'accessibilité sur la production, l'emploi, les revenus ou la localisation des activités. Adler, Pasidis, Levkovich, Lembcke et Ahrend (2020), par exemple, montrent que l'amélioration de l'accès au marché est associée à des gains régionaux de production, d'emploi et de population, mais que ces effets varient sensiblement selon les territoires. D'autres travaux africains soulignent également que la proximité des marchés et les conditions d'accès façonnent la géographie de la production agricole (Dorosh et al., 2012). Ces approches renseignent utilement les effets de l'accessibilité, mais elles articulent plus rarement, dans un même cadre empirique, l'évolution

de la capacité routière, une mesure de frontière de l'efficacité productive et les transformations des intensités économiques territoriales.

C'est cette articulation qui fonde le positionnement de l'article. L'efficacité routière y est appréhendée comme une performance productive relative, et non comme une mesure de l'état physique ou de la praticabilité des routes. La transformation territoriale, pour sa part, est observée à travers la coévolution du réseau, du trafic, des productions agricoles et des intensités calculées par kilomètre. Cette stratégie évite d'assimiler l'accroissement du stock routier à une amélioration automatique de la performance. Elle évite également d'attribuer au score d'efficacité une causalité qu'il ne peut identifier, notamment parce que TMJA, PVRI et PREN participent à sa construction. Le développement complet de ces précautions est réservé à la méthodologie.

L'intérêt de cette lecture dépasse le seul cas du Kwango. Les politiques contemporaines de connectivité en Afrique accordent une attention croissante aux corridors, à la qualité des infrastructures, à leur entretien et aux conditions institutionnelles permettant de convertir les investissements en gains économiques. Dans cette perspective, la question n'est plus uniquement de construire davantage, mais de comprendre comment la capacité créée est effectivement utilisée et comment elle s'insère dans les transformations des territoires. Ce cadre conduit à considérer simultanément trois dimensions qui seront précisées dans la revue de littérature : la capacité infrastructurelle, l'efficacité productive relative et la transformation économique territoriale. Les propositions de recherche qui en découlent seront formulées à l'issue de cette revue afin d'éviter leur duplication entre les différentes sections de l'article.

La question centrale est dès lors la suivante : comment l'extension du réseau routier, l'évolution de son efficacité technique corrigée et les changements de mobilité et de production agricole se combinent-ils dans la transformation économique territoriale du Kwango entre 1990 et 2023 ? L'objectif est d'identifier les configurations de coévolution entre ces dimensions, d'examiner si l'augmentation du linéaire s'accompagne d'une intensification de son utilisation économique et de déterminer si les composantes vivrières et de rente suivent des trajectoires convergentes ou asymétriques. L'analyse reste non causale, car, elle cherche à caractériser des régularités temporelles et des ruptures de configuration plutôt qu'à attribuer mécaniquement les changements observés à une seule variable.

La contribution attendue est ainsi double. Sur le plan analytique, l'article rapproche deux traditions généralement traitées séparément : la mesure de l'efficacité par frontière et l'analyse territoriale de l'accessibilité et de la recomposition productive. Sur le plan managérial, il déplace l'attention du seul volume d'infrastructures vers leur mobilisation économique relative, ce qui permet de discuter plus précisément les priorités d'entretien, de connectivité et de desserte productive. L'article est organisé de la manière suivante. La deuxième section présente la revue critique de littérature et le cadre théorique. La troisième expose les données et la méthodologie. La quatrième présente les résultats. La cinquième les discute et en dégage les implications. La dernière section conclut en revenant sur les contributions, les limites de la recherche et les perspectives.

## **2. Revue de littérature et cadre théorique**

### **2.1. Infrastructure, accessibilité et transformation territoriale**

L'analyse économique des infrastructures routières part d'un mécanisme simple : la route modifie le coût économique de la distance. Limão et Venables (2001) montrent que la qualité des infrastructures constitue un déterminant important des coûts de transport et des échanges, particulièrement lorsque l'éloignement géographique renforce les handicaps d'accès. Dans cette perspective, la longueur du réseau ne suffit pas à caractériser le service effectivement rendu. La continuité des liaisons, la praticabilité, le temps d'accès aux marchés et la

connexion aux pôles de production déterminent la capacité économique réelle de l'infrastructure. Cette distinction est centrale pour le Kwango, où l'accroissement du linéaire doit être confronté à l'évolution de son usage plutôt qu'interprété comme une amélioration automatique de l'accessibilité.

Gollin et Rogerson (2014) prolongent ce raisonnement en montrant que des coûts de transport élevés peuvent maintenir une part importante des ressources dans l'agriculture de subsistance et limiter les gains associés à une meilleure allocation spatiale des activités. La transformation territoriale dépend donc moins du stock d'infrastructures considéré isolément que de la réduction effective des frictions qui séparent producteurs, consommateurs et marchés. Cette lecture rejoint les résultats de Dorosh, Wang, You et Schmidt (2012) sur l'Afrique subsaharienne : la proximité des grands marchés est associée à la localisation de la population et de la production agricole. L'infrastructure agit ainsi à travers une chaîne de mécanismes où accessibilité, mobilité, spécialisation et débouchés se renforcent ou, au contraire, se neutralisent.

Une précision conceptuelle s'impose dès ce stade. Ba, Basse et Mbaye (2026), à partir de 579 ménages agricoles des régions de Sédhiou et Ziguinchor au Sénégal, étudient l'accès à une route ou piste praticable en toute saison et mettent en évidence une réduction des pertes post-récoltes ainsi qu'une diversification des sources de revenus. Leur résultat est particulièrement utile pour le présent article, car il distingue le linéaire routier déclaré de la fonctionnalité effective de la liaison. LRES mesure ici une capacité physique quantitative ; il ne renseigne directement ni sur l'état du revêtement, ni sur la continuité saisonnière, ni sur la qualité des ouvrages. L'interprétation économique du réseau doit donc rester séparée de celle de sa praticabilité.

Cette séparation entre capacité physique et service de connectivité permet d'éviter une lecture trop mécanique des investissements routiers. Un kilomètre supplémentaire peut relier un bassin productif à un marché, prolonger un axe faiblement utilisé ou demeurer difficilement praticable une partie de l'année. Sa portée territoriale dépend alors de la demande desservie, de la structure productive locale et des complémentarités institutionnelles qui conditionnent l'entretien et l'exploitation du réseau. C'est à ce niveau que la littérature sur l'accessibilité rejoint celle de la transformation productive : la route crée une possibilité de connexion, mais la conversion de cette possibilité en activité économique reste contingente.

## **2.2. Routes, agriculture et mobilité : pourquoi les résultats divergent**

Les travaux empiriques consacrés aux routes rurales ne conduisent pas à une relation uniforme entre infrastructure et performance agricole. Khandker, Bakht et Koolwal (2009) observent au Bangladesh que l'amélioration des routes rurales est associée à une réduction de la pauvreté et à des changements favorables des conditions économiques locales. Au Kenya, Kiprono et Matsumoto (2018) montrent qu'une amélioration de l'accès routier entre 2004 et 2012 favorise notamment l'adoption de cultures à forte valeur, l'intensification de l'usage des engrais et certaines formes de participation au marché. Shamdasani (2021), dans le contexte indien, met également en évidence des changements dans les choix de production et de commercialisation à la suite d'une amélioration de la connectivité rurale. Ces résultats soutiennent l'idée qu'une route peut modifier les incitations productives en rapprochant économiquement les exploitations de leurs débouchés.

Kebede (2024) apporte un éclairage complémentaire en Éthiopie : l'intégration aux marchés peut modifier les prix relatifs auxquels font face les producteurs et favoriser les cultures pour lesquelles les territoires disposent d'un avantage comparatif. Cette logique est importante pour distinguer production vivrière et production de rente dans le Kwango. Une amélioration de l'accessibilité n'implique pas nécessairement une progression proportionnelle de toutes les

productions. Elle peut modifier leur composition, favoriser certaines spécialisations ou rendre plus rentable l'écoulement de produits auparavant pénalisés par les coûts de transaction.

Le résultat d'Asher et Novosad (2020) montre cependant pourquoi une lecture exclusivement agricole serait insuffisante. À partir du programme indien de routes rurales et d'une stratégie de discontinuité de régression, les auteurs constatent que l'effet principal des nouvelles routes est de faciliter le déplacement des travailleurs hors de l'agriculture, sans modification majeure des résultats agricoles, des revenus ou des actifs. Cette divergence avec les études mettant en évidence une intensification agricole n'est pas contradictoire au sens strict, vu qu'elle révèle des mécanismes différents. Lorsque des opportunités non agricoles deviennent accessibles, la route peut accélérer la mobilité sectorielle plutôt que la production agricole locale. Lorsque les marchés agricoles constituent le débouché dominant, elle peut au contraire stimuler l'intensification ou la commercialisation.

Trois mécanismes permettent ainsi de comprendre l'hétérogénéité de la littérature. Le premier tient à la nature des opportunités accessibles : marché agricole, emploi salarié, activités urbaines ou services. Le deuxième dépend de la distance initiale aux centres économiques ; une même amélioration physique n'a pas la même valeur lorsque le territoire reste très éloigné des pôles de demande. Le troisième relève des complémentarités locales, notamment la praticabilité, l'entretien, les services de transport, l'information commerciale et les institutions capables de maintenir la connexion. Les résultats de Ba et al. (2026) illustrent précisément ce dernier point en privilégiant la praticabilité en toute saison plutôt que la seule présence d'une route. Dans le Kwango, cette hétérogénéité justifie d'examiner séparément trafic, production vivrière, production de rente et intensités par kilomètre.

### **2.3. Transformation structurelle et transformation économique territoriale**

La transformation structurelle renvoie classiquement à la réallocation durable de l'activité et de l'emploi entre grands secteurs, généralement de l'agriculture vers l'industrie et les services, avec des effets sur la productivité agrégée (Herrendorf, Rogerson et Valentinyi, 2014). McMillan, Rodrik et Verduzco-Gallo (2014) montrent toutefois que la contribution de cette réallocation à la croissance varie fortement selon les régions et les périodes. Appliquer ce concept au Kwango sans séries provinciales homogènes sur l'emploi sectoriel, la valeur ajoutée ou la productivité du travail conduirait donc à attribuer aux données une portée qu'elles n'ont pas.

Le concept de transformation économique territoriale est ici plus circonscrit. Il désigne la modification durable de la manière dont un territoire combine sa capacité routière, ses flux de mobilité et sa structure productive agricole. Cette transformation peut se manifester par une hausse ou une baisse de l'utilisation du réseau par kilomètre, par l'évolution des productions vivrière et de rente rapportées à la capacité routière, ou par une modification de la composition de la production agricole. Le concept ne prétend donc pas mesurer l'ensemble de la transformation structurelle ; il sert à caractériser des recompositions observables avec les variables disponibles.

Cette définition rend possible une lecture asymétrique des trajectoires. L'augmentation de la production vivrière peut coexister avec une baisse de la production de rente par kilomètre ; l'expansion du réseau peut accompagner une stagnation du trafic en niveau ; une amélioration absolue d'un output peut enfin masquer une diminution de son intensité lorsque la capacité routière augmente plus rapidement. La transformation territoriale n'est donc pas réduite à un signe unique. Elle est appréciée à partir de la cohérence, ou de la divergence, entre plusieurs dimensions complémentaires.

### **2.4. Efficacité productive relative, bootstrap et notion de découplage**

Le cadre de Farrell (1957), puis les formulations DEA de Charnes, Cooper et Rhodes (1978) et de Banker, Charnes et Cooper (1984), permettent d'évaluer l'efficacité relative avec

laquelle une unité transforme des inputs en outputs sans imposer une forme fonctionnelle paramétrique à la frontière. Dans le présent article, LRES constitue l'input, tandis que TMJA, PVRI et PREN constituent les outputs. Sous rendements variables à l'échelle, le score VRS renseigne sur l'efficacité technique pure relative aux observations qui composent la frontière. Il ne mesure ni l'état physique de la route, ni sa praticabilité, ni la suffisance absolue du réseau.

Les scores DEA étant estimés à partir d'une frontière empirique construite sur un échantillon fini, ils sont sensibles aux variations d'échantillonnage et peuvent présenter un biais d'optimisme. Simar et Wilson (1998) proposent précisément une méthodologie bootstrap adaptée aux modèles de frontière non paramétriques afin d'étudier cette sensibilité et de corriger le biais des scores. Le VRS-BC mobilisé dans cet article doit être compris dans cette logique : il fournit une mesure corrigée de l'efficacité technique relative, sans transformer la DEA en mesure causale ni en indicateur direct de qualité physique du réseau.

Cette distinction permet de définir le découplage étudié. Il y a découplage lorsque la capacité routière augmente tandis que l'efficacité relative ou certaines intensités économiques par kilomètre évoluent dans le sens opposé. Un tel constat ne désigne pas, à lui seul, la cause du phénomène. Il peut être compatible avec une extension vers des zones de demande encore faible, un décalage temporel entre investissement et mise en valeur, une insuffisance d'entretien, une modification de la structure productive ou une croissance de la capacité plus rapide que celle des usages. Pour ce travail, l'analyse empirique cherchera donc à identifier la configuration observée et son ampleur, sans sélectionner causalement l'un de ces mécanismes.

## 2.5. Modèle conceptuel et propositions de recherche

Le cadre retenu articule trois objets qui sont, la capacité infrastructurelle, qui est approchée par LRES ; l'efficacité productive relative, qui est synthétisée par le VRS-BC construit à partir de LRES, TMJA, PVRI et PREN ; la transformation territoriale, qui ici, est appréciée à partir de l'évolution du trafic et des productions, mais surtout de leurs intensités par kilomètre et de la composition productive. Le modèle conceptuel ci-dessous rend explicites ces relations analytiques sans leur attribuer un sens causal que le dispositif empirique ne permet pas d'identifier.

**Tableau 1 : Modèle conceptuel de l'articulation entre capacité routière, efficacité relative et transformation territoriale**

| <b>CAPACITÉ<br/>INFRASTRUCTURELLE</b>        | <b>MESURE DE FRONTIÈRE</b>                          | <b>TRANSFORMATION<br/>TERRITORIALE</b> |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------|
| LRES                                         | DEA-VRS corrigée par bootstrap                      | Intensité de mobilité                  |
| Longueur du réseau routier                   | VRS-BC                                              | TMJA / LRES                            |
|                                              | Outputs intégrés à la frontière :                   | Intensité vivrière                     |
|                                              | TMJA, PVRI, PREN                                    | PVRI / LRES                            |
| Praticabilité effective :                    | Le score mesure une efficacité productive relative, | Intensité de rente                     |
| dimension conceptuellement distincte de LRES | non l'état physique du réseau                       | PREN / LRES                            |
|                                              | Comparaison des trajectoires et des régimes,        | Structure productive                   |
|                                              | sans interprétation causale                         | PREN / (PVRI + PREN)                   |

**Source : Élaboration des auteurs à partir du cadre analytique de l'étude.**

À partir de ce cadre, les propositions sont formulées de manière directement vérifiable. P1 : si la transformation territoriale s'accompagne d'une mobilisation plus intensive de la capacité routière, les intensités TMJA/LRES, PVRI/LRES et PREN/LRES ne devraient pas présenter une détérioration systématique entre les sous-périodes. P1 sera évaluée par les comparaisons de sous-périodes, les tests de Kruskal-Wallis et les tendances robustes de ces trois ratios. P2 :

une expansion du réseau peut être qualifiée de découplée lorsque LRES présente une tendance positive tandis que VRS-BC ou au moins une intensité économique par kilomètre présente une tendance négative. P2 sera évaluée par les signes et intervalles des pentes de Theil-Sen, complétés par les tendances de Kendall et les comparaisons de régimes. P3 : la recomposition agricole est asymétrique lorsque la production vivrière et la production de rente, ou leurs intensités respectives, n'évoluent pas dans le même sens et que la part de rente  $\frac{REN}{(PVRI+PREN)}$  se modifie substantiellement. P3 : la recomposition agricole est asymétrique lorsque la production vivrière et la production de rente, ou leurs intensités respectives, n'évoluent pas dans le même sens et que la part de rente  $\frac{REN}{(PVRI+PREN)}$  se modifie substantiellement. P3 sera examinée à partir des trajectoires de  $\frac{VRI}{LRES}$  ;  $\frac{PREN}{LRES}$  et de la part de rente, ainsi que des tests non paramétriques entre sous-périodes.

Ces propositions organisent l'évaluation empirique d'une configuration territoriale à partir d'indicateurs observables et de tests cohérents avec la taille de l'échantillon annuel. Elles permettent surtout de fermer le cadre théorique sur des critères d'évaluation explicites : capacité physique, efficacité relative, intensités d'usage et composition productive sont analysées conjointement, mais leur statut conceptuel demeure distinct.

### 3. Méthodologie de recherche

#### 3.1. Données, fréquence et traçabilité

Cette étude mobilise une base longitudinale couvrant le premier semestre de 1990 (1990T1) jusqu'au quatrième semestre de 2023 (2023T4), soit 136 observations trimestrielles. Pour rappel, la chaîne empirique repose sur quatre séries centrales : longueur du réseau routier (LRES), trafic moyen journalier annuel (TMJA), production vivrière (PVRI) et production de rente ou agro-industrielle (PREN). Les variables IGR, IPC, ICG, MAGR et DPOP appartiennent à la base générale de recherche, mais elles ne sont pas utilisées pour tester les trois propositions de transformation territoriale de cet article. Cette délimitation évite de confondre le dispositif propre au présent article avec les analyses explicatives réalisées sur la même base de données.

L'audit des matériaux disponibles permet de documenter la méthode de constitution de la base, mais pas encore d'attribuer avec certitude chaque série centrale à une institution productrice unique. Les séries historiques et les indices ont été consolidés à partir de matériaux administratifs et documentaires disponibles, complétés, pour les indices contextuels, par une reconstruction multi-source fondée sur des informations de terrain et leur triangulation documentaire. Les pièces actuellement disponibles ne comportent toutefois pas, pour LRES, TMJA, PVRI, PREN et MAGR, une fiche de métadonnées continue sur 1990 à 2023 indiquant sans ambiguïté l'institution productrice, le document primaire et la méthode de collecte pour chaque année. Afin de préserver la reproductibilité, aucune provenance institutionnelle non attestée n'est attribuée dans cet article. La matrice de traçabilité présentée en annexe devra être renseignée à partir des pièces primaires effectivement détenues avant le dépôt définitif.

La base trimestrielle a été construite à partir de repères annuels lorsque l'observation infra-annuelle n'était pas disponible. PVRI et PREN, qui sont des flux, ont été désagrégées par une procédure de Denton additive afin que la somme des quatre trimestres reconstitue exactement le total annuel. LRES et TMJA ont été benchmarkés selon une logique proportionnelle visant à préserver les mouvements relatifs du profil infra-annuel ; TMJA est une moyenne et non un stock. Pour le présent article, les tests de transformation territoriale reviennent volontairement à la fréquence annuelle. PVRI et PREN sont sommées sur les quatre trimestres ; LRES, TMJA et VRS-BC sont agrégés par moyenne annuelle. L'échantillon effectivement soumis aux tests

est ainsi constitué de 34 années, de 1990 à 2023, et non de 136 observations supposées indépendantes.

La période étudiée recouvre les conflits et l'instabilité institutionnelle qui ont marqué la République démocratique du Congo durant une partie des années 1990 et 2000. La continuité de l'enregistrement statistique provincial peut donc être plus fragile sur les premières années, notamment pour le trafic et la production agro-industrielle. Cette hétérogénéité potentielle de qualité est traitée comme une limite de mesure : les résultats de longue période sont interprétés comme des trajectoires robustes et non comme des mesures exemptées d'erreur. L'agrégation annuelle réduit la fausse précision liée à la désagrégation temporelle, mais elle ne peut corriger une éventuelle erreur présente dans le benchmark annuel d'origine.

### 3.2. Variables et indicateurs de transformation territoriale

La transformation territoriale est appréciée à partir de quatre indicateurs dérivés. Ils rapportent les usages et les productions à la capacité routière disponible et isolent une dimension de composition productive. Ils sont définis comme suit :

$$I^M_t = \frac{TMJA_t}{LRES_t} \quad (1)$$

$$I^V_t = I^M_t = \frac{PVRI_t}{LRES_t} \quad (2)$$

$$I^R_t = \frac{PREN_t}{LRES_t} \quad (3)$$

$$S^R_t = \frac{PREN_t}{PVRI_t + PREN_t} \quad (4)$$

$I^M$  mesure l'intensité de trafic par kilomètre,  $I^V$  la production vivrière par kilomètre,  $I^R$  la production de rente par kilomètre et  $S^R$  la part physique de la production de rente dans les deux agrégats agricoles retenus.  $S^R$  n'est ni une part de valeur ajoutée ni un taux d'exportation. Ces indicateurs servent à distinguer l'accroissement absolu du réseau de l'intensification de son utilisation économique.

**Tableau 2 : Variables utilisées dans l'analyse**

| Variable | Définition                                      | Unité          | Fonction analytique                         |
|----------|-------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------|
| LRES     | Longueur du réseau routier                      | Km             | Capacité physique quantitative et input DEA |
| TMJA     | Trafic moyen journalier annuel                  | véhicules/jour | Mobilité et output DEA                      |
| PVRI     | Production agricole vivrière                    | tonnes/an      | Output DEA et composante productive         |
| PREN     | Production de rente/agro-industrielle           | tonnes/an      | Output DEA et composante productive         |
| VRS-BC   | Score VRS Window corrigé du biais par bootstrap | 0-1            | Efficacité technique pure relative          |

Source : Élaboration des auteurs à partir de la base d'analyse.

### 3.3. DEA Window : spécification et choix des six fenêtres

L'efficacité technique est estimée par DEA sous rendements variables à l'échelle (VRS) et orientation input. LRES est l'unique input et le vecteur d'outputs est  $y = (TMJA, PVRI, PREN)$ . L'orientation input est interprétée comme un benchmark de mobilisation relative de la capacité routière ; elle ne signifie pas qu'une politique efficace consisterait à réduire physiquement le réseau. Pour une observation  $o$  appartenant à une fenêtre  $w$ , le score VRS input est obtenu par le programme linéaire suivant :

$$\min \theta_{o,w} \quad (5)$$

sous les contraintes

$$\sum_j \lambda_j x_j \leq \theta_{o,w} x_o \quad (6)$$

$$\sum_j \lambda_j y_{rj} \geq y_{ro}, \quad r = 1, \dots, 3 \quad (7)$$

$$\sum_j \lambda_j = 1; \quad \lambda_j \geq 0 \quad (8)$$

La contrainte de convexité  $\Sigma \lambda_j = 1$  impose les rendements variables à l'échelle. Un score proche de 1 indique qu'au regard des observations de référence de la fenêtre, le territoire se situe près de la frontière empirique ; un score inférieur à 1 indique une marge relative d'amélioration. La même observation peut apparaître dans plusieurs fenêtres, ce qui permet d'apprécier la stabilité temporelle de son positionnement relatif.

La spécification principale comprend six fenêtres de 96 trimestres, décalées de huit trimestres : F1 de 1990T1 à 2013T4 ; F2 de 1992T1 à 2015T4 ; F3 de 1994T1 à 2017T4 ; F4 de 1996T1 à 2019T4 ; F5 de 1998T1 à 2021T4 ; et F6 de 2000T1 à 2023T4. Ce découpage constitue un compromis entre trois objectifs : disposer d'un nombre suffisant d'observations pour construire une frontière discriminante, conserver plusieurs fenêtres permettant la comparaison temporelle et renouveler progressivement l'ensemble de référence.

Ce choix a été soumis à une analyse de sensibilité et n'a pas été sélectionné pour obtenir un niveau particulier d'efficacité. La moyenne VRS input est de 0,9334 avec 12 fenêtres de largeur 48, 0,9253 avec 10 fenêtres de largeur 64, 0,9134 avec 8 fenêtres de largeur 80, 0,8941 avec 6 fenêtres de largeur 96 et 0,8682 avec 4 fenêtres de largeur 112 ; les largeurs 128 et 136 conduisent à une moyenne proche de 0,8633. L'élargissement de la fenêtre enrichit l'ensemble de comparaison et rend la frontière plus exigeante. Les six fenêtres retiennent donc une position intermédiaire : elles évitent à la fois une frontière excessivement locale et une quasi-frontière unique qui effacerait la dimension Window.

### 3.4. Correction bootstrap du score VRS

Les scores DEA sont calculés relativement à une frontière estimée sur un échantillon fini. Leur distribution d'échantillonnage n'est donc pas observée directement et les scores bruts peuvent être optimistes. La correction mise en œuvre suit un bootstrap lissé de frontière inspiré de Simar et Wilson (1998), qui proposent le bootstrap pour analyser la sensibilité des mesures d'efficacité non paramétriques aux variations d'échantillonnage de la frontière. Le processus générateur est construit prioritairement à partir des scores VRS input.

Dans chaque fenêtre, on note  $\theta_i$  le score VRS observé. Une distribution empirique lissée est construite par rééchantillonnage des scores et ajout d'un bruit gaussien. La largeur de bande  $h$  est déterminée par une règle de Silverman robuste :

$$h = 1,06 \times \min(s, \frac{IQR}{1,34} \times \frac{n^{-1}}{5}) \quad (9)$$

où  $s$  est l'écart-type des scores de la fenêtre, IQR leur intervalle interquartile et  $n$  le nombre d'observations dans la fenêtre. Les tirages qui franchissent les bornes de l'intervalle d'efficacité sont réfléchis, puis bornés dans  $]0,1]$ . Une correction de variance est appliquée après lissage. Cette procédure produit, pour chaque réplcation  $b$ , un pseudo-score  $\theta_i^*$  compatible avec le support de l'efficacité.

Pour l'orientation input, le pseudo-input est construit en maintenant les outputs observés :

$$x_i^* = \frac{\widehat{\theta}}{\theta_i^*} x_i \quad (10)$$

La frontière VRS est réestimée sur chaque pseudo-échantillon. La procédure est répétée  $B = 500$  fois avec une graine pseudo-aléatoire fixe (20260809), ce qui permet la reproduction exacte du tirage dans le script fourni. Si  $\theta_i^*(b)$  désigne le score réestimé à la réplcation  $b$ , le biais et le score corrigé sont calculés par :

$$\text{Bias}(\theta_i) = B^{-1} \sum_{b=1}^B \theta_i^*(b) - \theta_i \quad (11)$$

$$\theta_{i,BC} = \theta_i - \text{Bias}(\theta_i) = 2\theta_i - B^{-1} \sum_{b=1}^B \theta_i^*(b) \quad (12)$$

Les scores corrigés utilisés pour l'interprétation sont bornés de 0 à 1. Les intervalles individuels sont construits à partir de la distribution bootstrap ; la moyenne de leurs bornes n'est pas interprétée comme un intervalle de confiance de la moyenne globale. La stabilité numérique a été contrôlée entre  $B = 200$  et  $B = 500$  : pour le VRS input, la différence entre

moyennes corrigées est d'environ 0,00024 et reste inférieure à 0,0003 pour les principaux indicateurs examinés. B = 500 est donc retenu pour reproduire les résultats présentés. Cette vérification porte sur la stabilité des moyennes ; une analyse centrée sur les quantiles extrêmes pourrait justifier un nombre plus élevé de réplifications.

### **3.5. Stratégie d'analyse territoriale et tests**

L'article adopte une stratégie explicitement non causale. VRS-BC est construit à partir de LRES, TMJA, PVRI et PREN ; l'utiliser comme variable explicative causale de ces mêmes composantes introduirait une circularité mécanique. En l'absence d'un instrument exogène, d'un calendrier quasi expérimental ou d'une autre source crédible d'identification, l'analyse porte sur la coévolution, les différences de distribution et les tendances. Cette restriction est méthodologique et non simplement rédactionnelle.

Trois sous-périodes sont définies ex ante : de 1990 à 1999, de 2000 à 2009 et de 2010 à 2023, soit 10, 10 et 14 observations annuelles. Les différences globales de distribution sont testées par Kruskal-Wallis. Lorsque le test global est significatif, les comparaisons par paires reposent sur Mann-Whitney et leurs valeurs p sont ajustées par la procédure de Holm. Afin de ne pas réduire l'interprétation à la significativité, la section des résultats associera aux tests globaux une mesure de taille d'effet. Les tendances monotones sont évaluées par le tau de Kendall et leur amplitude par la pente de Theil-Sen avec intervalle à 95 %.

Les effectifs de 10, 10 et 14 années limitent la puissance statistique, surtout après ajustement de Holm. Une valeur p non significative ne sera donc pas assimilée à une preuve d'absence de différence. Réciproquement, une valeur p faible ne suffit pas à établir l'importance économique d'un changement. Les tests sont lus conjointement avec les médianes, les amplitudes, les tailles d'effet et les pentes robustes. Cette prudence est renforcée par le fait que les scores annuels proviennent d'une construction Window à fenêtres chevauchantes : les tests décrivent des configurations temporelles et ne supposent pas une indépendance parfaite des scores trimestriels sous-jacents.

### **3.6. Correspondance entre propositions et critères empiriques**

Pour des raisons de cohérence entre les propositions de recherche et leur mise à l'épreuve empirique, le tableau 3 précise, pour chacune d'elles, les indicateurs mobilisés, le critère de confrontation aux données et les outils statistiques retenus. La proposition P1 examine si les intensités de trafic et de production agricole rapportées au linéaire routier présentent une détérioration systématique entre sous-périodes. La proposition P2 recherche un éventuel découplage entre l'évolution de la longueur du réseau (LRES) et celle de l'efficacité technique corrigée par bootstrap (VRS-BC) ou des intensités par kilomètre. Enfin, P3 apprécie les évolutions différenciées des productions vivrières et de rente, ainsi que la recomposition de leur poids relatif. Les tests de Kruskal-Wallis et les comparaisons de Holm permettent d'examiner les différences entre sous-périodes, tandis que Kendall et Theil-Sen servent à caractériser les tendances. Ces procédures documentent des évolutions et des associations statistiques, sans établir, à elles seules, une relation causale entre réseau routier et transformation économique territoriale.

**Tableau 3 : Opérationnalisation des propositions de recherche**

| <b>Proposition</b> | <b>Indicateurs</b>                       | <b>Critère empirique</b>                                                                                             | <b>Outils</b>                                               |
|--------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| P1                 | TMJA/LRES ; PVRI/LRES ; PREN/LRES        | Absence ou présence d'une détérioration systématique des intensités entre sous-périodes                              | Kruskal-Wallis ; comparaisons de Holm ; Kendall ; Theil-Sen |
| P2                 | LRES ; VRS-BC ; intensités/km            | Découplage si LRES tend à augmenter tandis que VRS-BC ou une intensité/km tend à diminuer                            | Signes des tendances ; Kendall ; Theil-Sen ; régimes        |
| P3                 | PVRI/LRES ; PREN/LRES ; PREN/(PVRI+PREN) | Asymétrie si les composantes agricoles ou leurs intensités évoluent différemment et si la part de rente se recompose | Sous-périodes ; Kruskal-Wallis ; Holm ; Kendall ; Theil-Sen |

*Source : Élaboration des auteurs.*

### 3.7. Logiciel et reproductibilité

Les estimations DEA Window, le bootstrap et les traitements statistiques de la chaîne reproduite ont été exécutés sous Python 3.13.5. L'environnement de validation disponible utilise NumPy 2.3.5, pandas 2.2.3, SciPy 1.17.0 et statsmodels 0.14.6. Les programmes linéaires DEA sont résolus avec scipy.optimize.linprog et le solveur HiGHS. La base d'entrée est le classeur « BASE DE DONNEES FIN A ESTIMER.xlsx », feuille « BD HP ». Les constantes de reproduction sont : six fenêtres, largeur 96 trimestres, décalage 8 trimestres, B = 500 et graine 20260809.

Le protocole de reproduction suit l'ordre suivant : importation et contrôle des unités ; construction des six fenêtres ; estimation DEA VRS et contrôles CRS/orientation ; bootstrap VRS et calcul des scores corrigés ; annualisation ; calcul des quatre indicateurs territoriaux ; constitution des trois sous-périodes ; tests non paramétriques ; tendances de Kendall et pentes de Theil-Sen ; export des tableaux et figures. Le code complet est destiné à l'annexe de reproductibilité.

### 3.8. Limites méthodologiques directement liées aux données

Trois limites encadrent l'interprétation, dont LRES mesure une longueur et non la praticabilité, l'état de surface ou la capacité fonctionnelle des routes (1) ; la reconstruction trimestrielle de certaines séries à partir de repères annuels augmente la résolution temporelle de la DEA Window sans créer d'information économique indépendante ; c'est pourquoi les tests territoriaux sont réalisés sur 34 observations annuelles (2) ; et, l'absence actuelle d'une métadonnée institutionnelle continue et vérifiable pour chacune des séries centrales interdit d'affirmer une provenance primaire que les pièces disponibles ne démontrent pas. Cette dernière limite doit être levée par la matrice de traçabilité avant la soumission finale, sans quoi la reproductibilité documentaire restera incomplète malgré la reproductibilité computationnelle.

## 4. Résultats

### 4.1. Trois phases de transformation territoriale

L'analyse annuelle fait apparaître trois configurations nettement distinctes. Les années 1990 combinent un réseau routier encore limité, un score VRS-BC très élevé et une composante de rente importante. La décennie 2000 conserve un niveau moyen d'efficacité élevé, mais elle est déjà marquée par une rupture de la structure agricole. Après 2010, l'extension physique du réseau devient beaucoup plus forte tandis que l'efficacité relative et plusieurs intensités par kilomètre diminuent.

**Tableau 4 : Moyennes annuelles par sous-période**

| Période   | VRS-BC | LRES km | TMJA  | PVRI t    | PREN t  | TMJA/km | PVRI/km | PREN/km | Part rente |
|-----------|--------|---------|-------|-----------|---------|---------|---------|---------|------------|
| 1990–1999 | 0.971  | 2 316   | 101,7 | 951 753   | 856 611 | 0,0439  | 410,9   | 369,9   | 42,30%     |
| 2000–2009 | 0.950  | 2 316   | 84,3  | 772 591   | 61 369  | 0,0364  | 333,6   | 26,5    | 7,30%      |
| 2010–2023 | 0.723  | 5 103   | 97,7  | 1 534 606 | 89 220  | 0,0199  | 341,6   | 18,2    | 6,50%      |

*Source : calculs des auteurs sous Python 3.13.5 à partir de la base annuelle de l'article.*

La production de rente moyenne de 2010 à 2023 est de 89 220 tonnes par an,. Ce niveau demeure très inférieur aux 856 611 tonnes observées en moyenne de 1990 à 1999, mais il est supérieur à la moyenne de 61 369 tonnes de 2000 à 2009, prouvant une correction numérique et non interprétative.

Les différences inter-périodes sont importantes pour VRS-BC, LRES, PVRI et PREN. Elles le sont également pour les intensités TMJA/km et PREN/km. À l'inverse, le TMJA en niveau ne varie pas significativement entre les trois groupes :  $H = 3,567$  ;  $p = 0,168$  ;  $\varepsilon^2 = 0,051$ . Cette absence de rupture du trafic absolu est économiquement informative. Alors que la longueur moyenne du réseau passe de 2 316 km dans les deux premières sous-périodes à 5 103 km après 2010, le trafic moyen reste du même ordre de grandeur : 101,7, 84,3 et 97,7 véhicules par jour. L'expansion de la capacité physique n'a donc pas été accompagnée d'un déplacement comparable du niveau moyen de trafic. Le résultat ne démontre pas une sous-utilisation causée par l'extension du réseau, mais il établit que l'augmentation du linéaire ne s'est pas traduite, à l'échelle agrégée, par une hausse statistiquement identifiable du trafic.

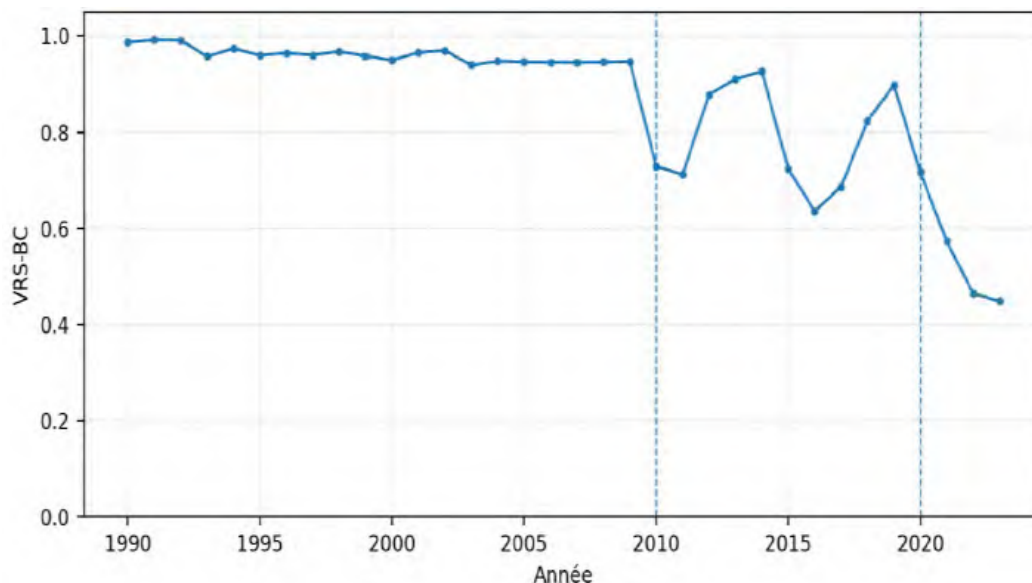
**Tableau 5 : Tests de Kruskal-Wallis et tailles d'effet entre sous-périodes**

| Variable   | H     | p        | $\varepsilon^2$ |
|------------|-------|----------|-----------------|
| VRS-BC     | 27,07 | < 0,0001 | 0,809           |
| LRES       | 25,92 | < 0,0001 | 0,772           |
| TMJA       | 3,57  | 0,1681   | 0,051           |
| PVRI       | 19,13 | < 0,0001 | 0,552           |
| PREN       | 23,37 | < 0,0001 | 0,689           |
| TMJA/km    | 14,99 | 0,0006   | 0,419           |
| PVRI/km    | 7,15  | 0,028    | 0,166           |
| PREN/km    | 26,79 | < 0,0001 | 0,8             |
| Part rente | 21,46 | < 0,0001 | 0,628           |

*Source : calculs des auteurs sous Python 3.13.5 à partir de la base annuelle de l'article.*

Les tailles d'effet complètent la lecture des valeurs p. Elles sont particulièrement élevées pour VRS-BC ( $\varepsilon^2 = 0,809$ ), PREN/km (0,800), LRES (0,772), PREN (0,689) et la part de rente (0,628). L'effet associé au TMJA en niveau est au contraire faible (0,051). Le contraste entre un effet très important sur LRES et un effet faible sur le trafic absolu constitue un premier indice statistique du découplage.

**Figure 1 : Évolution annuelle du score VRS-BC, 1990-2023**



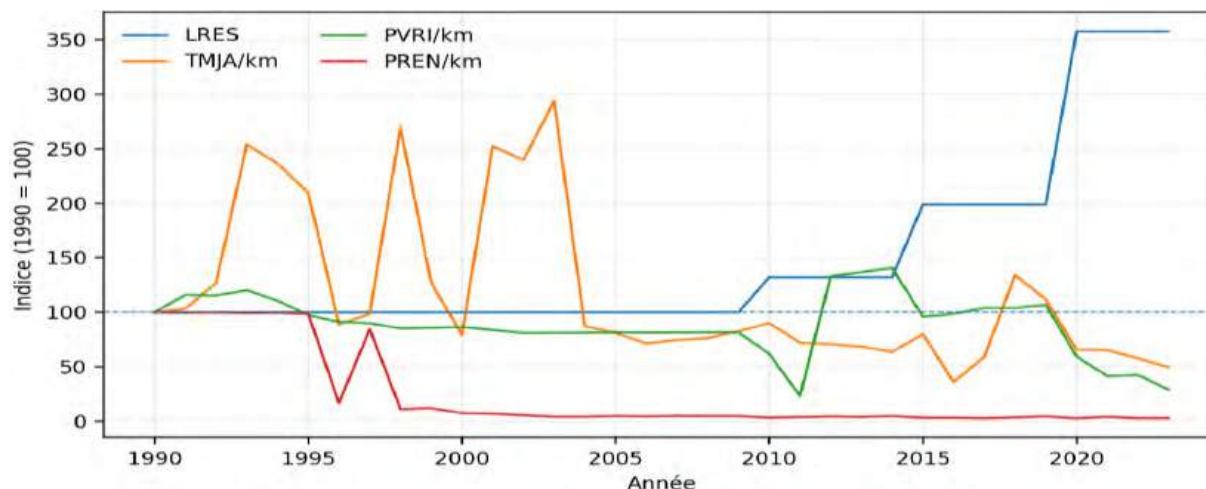
*Source : calculs des auteurs sous Python 3.13.5 à partir de la base annuelle de l'article.*

Il ressort de la figure 1 ci-haut une chronologie du changement. Le VRS-BC demeure proche de la frontière jusqu'en 2009, puis chute à 0,729 en 2010 et 0,712 en 2011. Un redressement temporaire apparaît entre 2012 et 2014, culminant à 0,926 en 2014. Après une nouvelle dégradation en 2015-2017 et un rebond en 2018-2019, la baisse devient continue à partir de 2020 : 0,717 en 2020, 0,573 en 2021, 0,465 en 2022 et 0,448 en 2023. Les lignes verticales signalent 2010 et 2020 comme repères descriptifs visibles ; elles ne constituent pas des ruptures estimées économétriquement.

#### 4.2. Expansion du réseau et recul des intensités : caractérisation du découplage

Entre 1990 et 2023, LRES passe de 2 316 à 8 282 km, soit +257,6 %, tandis que le VRS-BC passe de 0,987 à 0,448 (-54,6 %). Sur les mêmes points extrêmes, TMJA/km diminue de 0,0272 à 0,0135 véhicule/jour/km (-50,3 %). Ce découplage repose donc sur une divergence de trajectoires : la capacité routière augmente fortement, alors que l'efficacité relative et l'intensité du trafic par kilomètre diminuent.

**Figure 2 : Expansion du réseau et intensités économiques, indices 1990 = 100**



*Source : calculs des auteurs sous Python 3.13.5 à partir de la base annuelle de l'article..*

La figure ci-haut 2 rend cette divergence immédiatement visible, car LRES reste à son niveau de 1990 jusqu'en 2009, passe à environ 132 % de ce niveau en 2010, à près de 199 % en

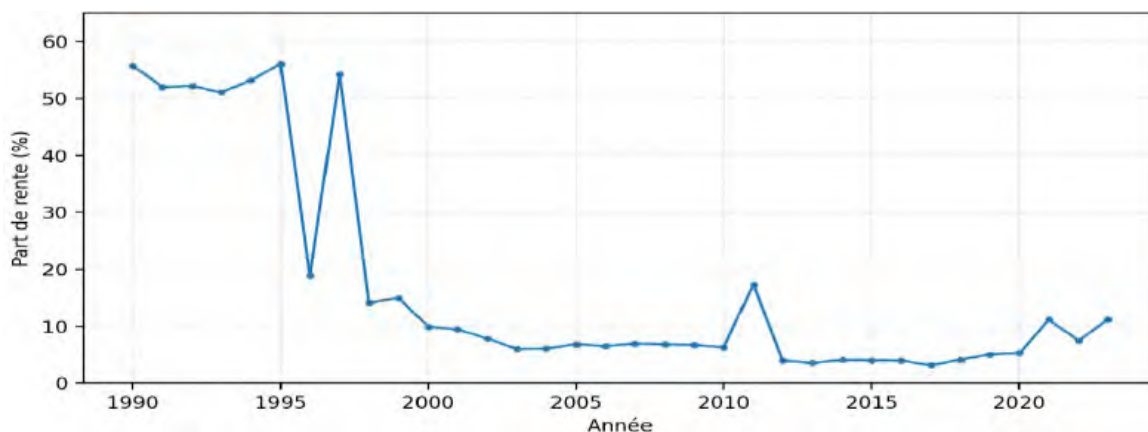
2015, puis à environ 358 % en 2020. À l'inverse, PREN/km tombe durablement sous 20 % de son niveau initial dès 1996, malgré un rebond ponctuel en 1997. Quant-au TMJA/km, il demeure volatil durant les années 1990 et le début des années 2000, puis évolue généralement sous son niveau de 1990 après 2004 ; il termine à environ 49,7 % du niveau initial ; alors que PVRI/km résiste davantage, mais son niveau de 2023 n'atteint qu'environ 29 % de celui de 1990.

Les comparaisons de Mann-Whitney corrigées par Holm confirment que TMJA/km diffère entre 1990-1999 et 2010-2023 ( $p$  ajustée = 0,0018) ainsi qu'entre 2000-2009 et 2010-2023 ( $p$  ajustée = 0,0217). La différence 1990-1999 sur 2000-2009 n'est pas retenue au seuil de 5 % après correction ( $p$  ajustée = 0,0756). La rupture de l'intensité de trafic est donc principalement associée à la période récente d'expansion du réseau.

#### 4.3. Recomposition agricole : divergence entre vivrier et rente

La transformation agricole est asymétrique du fait que PVRI passe de 940 755 tonnes en 1990 à 971 462 tonnes en 2023, soit +3,3 %, alors que PREN recule de 1 187 010 à 122 526 tonnes (-89,7 %). La part de rente dans PVRI + PREN tombe parallèlement de 55,8 % à 11,2 %. En moyenne par sous-période, cette part passe de 42,3 % dans les années 1990 à 7,3 % dans les années 2000 et 6,5 % depuis 2010.

**Figure 3 : Part de la production de rente dans les deux agrégats agricoles observés**



*Source : calculs des auteurs sous Python 3.13.5 à partir de la base annuelle de l'article.*

La figure 3 montre que la recomposition ne prend pas la forme d'une décroissance parfaitement régulière, suite à une part de rente qui demeure supérieure à 50 % jusqu'en 1995, chute à 18,9 % en 1996, remonte à 54,2 % en 1997, puis tombe à 14,2 % en 1998 et 15,0 % en 1999. À partir de 2000, celle-ci reste le plus souvent sous 10 %, à l'exception d'un pic de 17,3 % en 2011 et d'un retour au-dessus de 10 % en 2021 et 2023. Ce changement principal est donc un basculement de composition à la fin des années 1990, suivi d'un régime durablement dominé par le vivrier dans les deux agrégats physiques disponibles.

Le test global sur la part de rente est significatif ( $H = 21,465$  ;  $p < 0,0001$  ;  $\varepsilon^2 = 0,628$ ). Après correction de Holm, 1990-1999 diffère de 2000-2009 ( $p$  ajustée = 0,0004) et de 2010-2023 ( $p$  ajustée = 0,0002), tandis que 2000-2009 et 2010-2023 ne diffèrent pas au seuil de 5 % ( $p$  ajustée = 0,0741). Cette rupture essentielle oppose donc les années 1990 aux deux périodes suivantes.

#### 4.4. Régimes d'efficacité et configurations territoriales

Il ressort de la lecture du tableau ci-haut que les régimes ne se distinguent pas par le TMJA en niveau ( $H = 1,309$  ;  $p = 0,520$  ;  $\varepsilon^2 \approx 0$ ) ni par PREN en niveau ( $H = 1,095$  ;  $p = 0,578$  ;  $\varepsilon^2 \approx 0$ ). En revanche, les écarts sont substantiels pour LRES ( $\varepsilon^2 = 0,695$ ), DPOP (0,622), PREN/km

(0,590) et TMJA/km (0,369). PVRI varie aussi entre régimes ( $p = 0,0093$  ;  $\varepsilon^2 = 0,237$ ), alors que PVRI/km ne présente qu'un effet très faible et non significatif ( $p = 0,307$  ;  $\varepsilon^2 = 0,012$ ). Le régime de faible efficacité peut ainsi coexister avec un volume vivrier élevé : ce qui se dégrade le plus nettement est la mobilisation relative du réseau, notamment par le trafic et la composante de rente.

Le contrôle fondé sur les tertiles empiriques aboutit au même profil qualitatif : les différences demeurent significatives pour LRES ( $p < 0,0001$ ), DPOP ( $p < 0,0001$ ), TMJA/km ( $p = 0,0010$ ), PREN/km ( $p < 0,0001$ ) et la part de rente ( $p = 0,0002$ ), tandis que PVRI/km reste non significative ( $p = 0,346$ ). Les résultats ne reposent donc pas exclusivement sur les seuils conventionnels 0,70 et 0,90.

**Tableau 5 : Profils moyens selon le régime annuel d'efficacité**

| Régime                    | N  | VRS-BC | LRES  | TMJA  | PVRI      | PREN    | TMJA/km | PREN/km | DPOP  |
|---------------------------|----|--------|-------|-------|-----------|---------|---------|---------|-------|
| Élevée ( $\geq 0,90$ )    | 22 | 0.957  | 2 384 | 89,5  | 940 539   | 423 493 | 0,0381  | 182,2   | 23,14 |
| Intermédiaire [0,70;0,90[ | 7  | 0.783  | 4 467 | 107,1 | 1 492 997 | 79 788  | 0,0243  | 18,6    | 30,93 |
| Faible ( $< 0,70$ )       | 5  | 0.562  | 6 810 | 101,6 | 1 517 017 | 110 701 | 0,0146  | 16,1    | 31,86 |

Source : calculs des auteurs sous Python 3.13.5 à partir de la base annuelle de l'article.

#### 4.5. Tendances robustes et évaluation des propositions

La présentation uniforme des intervalles dans le tableau ci-haut confirme que les six tendances retenues sont statistiquement orientées. LRES augmente de façon robuste, avec une pente médiane de 74,5 km/an et un IC à 95 % [31,04 ; 124,17]. VRS-BC diminue de 0,0063 point/an [-0,0134 ; -0,0036]. TMJA/km recule de 0,000554 unité/an [-0,001059 ; -0,000360], PVRI/km de 4,743 tonnes/km/an [-8,209 ; -1,057], PREN/km de 2,393 tonnes/km/an [-7,187 ; -1,122] et la part de rente de 0,00570 point/an [-0,01362 ; -0,00308].

Ces résultats permettent d'évaluer les propositions sans leur attribuer un statut causal. P1 n'est pas corroborée dans sa forme favorable : l'extension de la capacité routière ne s'accompagne pas d'une amélioration conjointe des trois intensités ; leurs pentes de Theil-Sen sont toutes négatives. P2 est corroborée descriptivement : LRES suit une tendance positive alors que VRS-BC, TMJA/km et les deux intensités agricoles suivent des tendances négatives. P3 est également corroborée au sens descriptif : le vivrier et la rente ne suivent pas la même trajectoire de long terme, et la part de rente connaît une forte recomposition. Ces constats établissent une configuration de transformation territoriale partielle et asymétrique ; ils ne démontrent pas que l'expansion routière en est la cause.

**Tableau 6 : Tendances de Kendall et pentes de Theil-Sen avec IC à 95 %**

| Variable      | $\tau$ de Kendall | p        | Pente/an  | IC 95 % de la pente     |
|---------------|-------------------|----------|-----------|-------------------------|
| VRS-BC        | -0,768            | < 0,0001 | -0,006275 | [-0,013364; -0,003577]  |
| LRES          | 0,67              | < 0,0001 | 74,5      | [31,041667; 124,166667] |
| TMJA/km       | -0,528            | < 0,0001 | -0,000554 | [-0,001059; -0,000360]  |
| PVRI/km       | -0,269            | 0,0252   | -4,743448 | [-8,209331; -1,056563]  |
| PREN/km       | -0,768            | < 0,0001 | -2,392633 | [-7,187133; -1,122391]  |
| Part de rente | -0,533            | < 0,0001 | -0,005697 | [-0,013616; -0,003081]  |

Source : calculs des auteurs sous Python 3.13.5 à partir de la base annuelle de l'article.

## 5. Discussion

### 5.1. Une transformation territoriale partielle plutôt qu'un développement routier linéaire

Le résultat le plus structurant est la coexistence d'une forte expansion du linéaire routier avec un recul de l'efficacité relative corrigée et de plusieurs intensités économiques. Entre 1990 et 2023, LRES augmente de 257,6 %, alors que le VRS-BC diminue de 54,6 % et que TMJA/km recule de 50,3 %. Cette configuration ne signifie pas que l'extension routière aurait détruit de l'efficacité; mais elle indique plus précisément que l'accroissement de la capacité physique mesurée en kilomètres ne s'est pas accompagné d'une intensification proportionnelle des usages et des productions rapportés au réseau. La stabilité relative du TMJA en niveau entre les trois sous-périodes, malgré l'augmentation du linéaire après 2010, renforce cette lecture.

Ce résultat est compatible avec la théorie des coûts de transport, mais il n'en constitue pas une validation causale. Une infrastructure ne réduit effectivement la distance économique que si la continuité du service, la praticabilité, l'entretien, les ouvrages de franchissement et la connexion aux marchés sont suffisants. Les résultats du Kwango invitent ainsi à distinguer le stock routier du service routier. Cette distinction explique qu'une province puisse enregistrer davantage de kilomètres tout en observant une baisse de l'usage par kilomètre. Elle rejoint également les travaux qui montrent que les effets productifs des routes dépendent des opportunités locales, de la proximité des marchés et des complémentarités économiques plutôt que de la seule présence physique d'une voie.

### 5.2. Recomposition agricole et complémentarités nécessaires à la transformation

La seconde régularité forte concerne la divergence entre production vivrière et production de rente. Le vivrier de 2023 est légèrement supérieur à celui de 1990, tandis que la production de rente diminue de 89,7 % sur les mêmes points extrêmes. La part de rente connaît surtout une rupture de composition à la fin des années 1990, puis demeure durablement faible. Il serait excessif d'assimiler cette trajectoire à une désindustrialisation agricole ou à une baisse des exportations, car PREN mesure des volumes physiques et non la valeur ajoutée, les exportations ou les revenus. Le résultat documente néanmoins une recomposition profonde des deux agrégats agricoles disponibles.

La comparaison avec la littérature suggère plusieurs mécanismes possibles sans permettre de trancher entre eux. Une route peut stimuler la commercialisation agricole lorsqu'elle rapproche effectivement les producteurs des marchés, mais elle peut aussi ouvrir des possibilités d'emploi non agricole qui modifient l'allocation du travail. Cet effet dépend encore de la distance aux centres urbains, de la qualité de la connexion, du financement, des intrants, de l'organisation des filières et des institutions de marché. La trajectoire du Kwango est donc moins compatible avec une relation automatique entre extension du réseau et spécialisation de rente qu'avec une logique de complémentarités : l'infrastructure devient productive lorsqu'elle s'insère dans un ensemble fonctionnel de services, de marchés et d'institutions.

### 5.3. Pression territoriale, échelle et adéquation du réseau

L'augmentation de la densité de population, associée négativement au VRS corrigé dans les estimations complémentaires, peut être interprétée comme un signal de pression croissante sur la capacité fonctionnelle du réseau. Cette interprétation doit rester prudente, car la densité suit elle-même une tendance temporelle et le présent article n'identifie pas un effet causal. Elle éclaire néanmoins la question de l'échelle : un réseau peut être relativement bien utilisé au regard de certaines combinaisons observées tout en devenant insuffisamment adapté à l'évolution des besoins territoriaux.

Cette lecture conduit à une notion d'adéquation dynamique entre réseau et territoire. Le problème de gestion n'est pas seulement de faire croître le stock d'infrastructure, mais d'ajuster progressivement la localisation, la qualité, la continuité et la maintenance des actifs aux changements de population, aux bassins productifs et aux flux. Le recul du VRS-BC pendant la phase de forte extension est cohérente avec l'hypothèse d'un portefeuille d'actifs dont l'augmentation quantitative a été plus rapide que la montée en charge économique mesurée. Cette interprétation demeure une grille de lecture et non une preuve d'un mécanisme unique.

#### **5.4. Ce que la comparaison avec la CEMAC permet, et ce qu'elle ne permet pas**

La comparaison avec Koulakoumouna (2012) mérite d'être située précisément. Son unité d'analyse est régionale : l'auteur étudie la CEMAC et relie l'effectivité de l'intégration à l'existence d'un réseau routier viable, durable et capable de soutenir la circulation des personnes et des marchandises. Son diagnostic insiste sur trois catégories de contraintes, financières, politiques et sécuritaires, ainsi que sur le mauvais état d'une large partie du réseau. Le résultat du Kwango se situe à une autre échelle, provinciale, et porte sur l'efficacité relative ainsi que sur des indicateurs d'intensité. La transposition ne peut donc pas être directe.

Le rapprochement est néanmoins instructif sur un point institutionnel. Dans les deux cadres, le kilométrage ne suffit pas à caractériser la performance d'un système routier. L'intégration régionale chez Koulakoumouna dépend de la viabilité et de la circulation effective ; dans le Kwango, l'extension de LRES coexiste avec une baisse de TMJA/km, PREN/km et du VRS-BC. Le résultat provincial apporte ainsi une illustration quantitative, à une échelle différente, du problème de conversion d'un stock routier en service économique. En revanche, il serait abusif de conclure que les contraintes identifiées pour l'ensemble de la CEMAC expliquent directement les résultats du Kwango. Les structures institutionnelles, les corridors transfrontaliers, les systèmes de financement et les échelles de décision diffèrent. La comparaison sert donc à éclairer un mécanisme possible, non à transférer mécaniquement un diagnostic régional au niveau provincial.

#### **5.5. Limites propres à la DEA et portée du score VRS-BC**

L'interprétation du VRS-BC exige plusieurs précautions spécifiques à la DEA. D'abord, la frontière est déterminée par les variables retenues. Ici, LRES constitue l'input et TMJA, PVRI et PREN les outputs. Une autre représentation du processus, intégrant par exemple l'état physique des routes, les dépenses d'entretien, les temps de parcours ou l'accessibilité saisonnière, pourrait modifier la position relative des observations. Le score mesure donc l'efficacité d'une technologie empirique précisément définie ; il ne constitue pas une mesure exhaustive de la qualité de la gestion routière.

Ensuite, les variables environnementales exogènes ne sont pas intégrées directement dans la frontière. La géographie, la sécurité, les conditions climatiques, la dispersion de l'habitat, la structure des marchés et d'autres contraintes institutionnelles peuvent déplacer les possibilités de production sans être sous le contrôle immédiat du gestionnaire. L'analyse complémentaire de déterminants aide à contextualiser les scores, mais elle ne transforme pas la frontière en modèle causal. Afin, la DEA est sensible aux observations qui définissent l'enveloppe et à la qualité des données. La correction Bootstrap réduit le biais d'estimation des scores, mais elle ne corrige pas une erreur de mesure systématique dans les séries d'origine.

Ces limites sont particulièrement importantes pour une série historique couvrant des périodes de forte instabilité. Les incertitudes relatives au trafic et à certaines productions pendant les années 1990 et 2000 peuvent affecter la forme de la frontière. Le recours aux agrégats annuels, aux contrôles de sensibilité du nombre de fenêtres, à la correction Bootstrap et aux tests non paramétriques réduit plusieurs sources de fragilité, sans les supprimer. Le VRS-BC

doit par conséquent être lu comme un indicateur comparatif de performance relative, à confronter à des mesures indépendantes de praticabilité, d'état des chaussées et d'accessibilité.

### **5.6. Validité externe : quelles généralisations sont ici ?**

Les résultats ne peuvent pas être généralisés sans condition à l'ensemble de la République démocratique du Congo ni à l'Afrique centrale. Ils sont d'abord établis pour le Kwango, avec sa structure productive, son histoire d'investissement, sa densité, ses contraintes géographiques et la composition particulière des séries disponibles. Une province minière, fortement urbanisée ou dotée d'un réseau multimodal peut présenter une relation très différente entre linéaire, trafic et production.

Une généralisation analytique est toutefois envisageable pour des territoires présentant des caractéristiques proches : provinces à dominante rurale, dépendantes du transport routier, faiblement dotées en solutions ferroviaires, soumises à des contraintes de maintenance et reliant des bassins agricoles à des marchés éloignés. Dans ces contextes, l'hypothèse à tester n'est pas que le résultat numérique du Kwango se reproduira, mais que l'expansion du stock routier doit être distinguée de l'intensification effective des usages. Cette proposition pourrait être confrontée, en RDC, à des provinces enclavées ou agricoles et, en Afrique centrale, à des territoires comparables. Une validation externe sérieuse nécessiterait des définitions harmonisées des variables, des données par tronçon et une estimation multicritère ou multi-territoires plutôt qu'une simple extrapolation des coefficients du Kwango.

### **5.7. Implications théoriques, managériales et de politique publique**

#### **5.7.1. Implications théoriques**

L'article conduit à séparer trois dimensions souvent confondues : la capacité infrastructurelle, l'efficacité relative et la transformation territoriale. La première décrit le stock et la couverture du réseau ; la deuxième apprécie la position d'une observation par rapport à une frontière construite à partir des ressources et résultats retenus ; la troisième concerne l'évolution des flux, des intensités et de la structure productive. Les résultats montrent que ces dimensions peuvent évoluer dans des directions différentes. Cette séparation permet notamment de comprendre pourquoi un score DEA relativement élevé ne signifie pas nécessairement que le réseau est en bon état, et pourquoi une forte extension du linéaire ne suffit pas à établir une transformation économique favorable.

#### **5.7.2. Implications managériales : passer du kilomètre construit au portefeuille d'actifs**

Pour le gestionnaire provincial, la conséquence principale est qu'une programmation fondée sur le seul nombre de kilomètres construits ou réhabilités risque de mal hiérarchiser les besoins. La décision devrait combiner criticité économique, population desservie, continuité du réseau, état physique, besoin de maintenance et vulnérabilité aux interruptions. Le DEA et le VRS-BC peuvent alors jouer un rôle de signal d'alerte : une baisse persistante du score après une extension du réseau invite à examiner les axes concernés, mais ne détermine pas automatiquement l'allocation budgétaire.

La grille ci-dessous opérationnalise cette logique à titre illustratif. Elle n'est pas présentée comme une norme validée empiriquement. Les seuils doivent être recalibrés à partir d'un inventaire routier géoréférencé, des coûts unitaires locaux et des objectifs budgétaires. Son intérêt est de rendre explicites les critères et les arbitrages au lieu de laisser la priorité dépendre du seul linéaire.

**Tableau 7 : Grille illustrative de priorisation managériale des actifs routiers**

| Critère                | Indicateurs observables                                                       | Seuils de classement proposés                                                           | Poids |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Criticité économique   | TMJA, volumes agricoles desservis, accès aux marchés                          | Faible : sous P33 ; Moyen : P33-P66 ; Fort : au-dessus de P66                           | 25%   |
| Accessibilité sociale  | Population desservie, distance/temps vers services essentiels                 | Faible : sous P33 ; Moyen : P33-P66 ; Fort : au-dessus de P66                           | 20%   |
| État et praticabilité  | État de chaussée, jours d'interruption, praticabilité saisonnière             | Bon/toute saison ; Dégradé/interruptions ponctuelles ; Mauvais/interruptions fréquentes | 20%   |
| Criticité de réseau    | Absence d'itinéraire alternatif, rôle de corridor, ouvrages de franchissement | Alternative disponible ; Alternative coûteuse ; Aucun substitut fonctionnel             | 15%   |
| Déficit de maintenance | Entretien requis rapporté au besoin normatif ou au coût de remplacement       | Sous P33 ; P33-P66 ; au-dessus de P66                                                   | 10%   |
| Résilience             | Exposition aux pluies, érosion, inondation et ruptures d'ouvrages             | Faible ; Moyenne ; Forte                                                                | 10%   |

*Source : proposition des auteurs à partir des résultats de l'article. P33 et P66 désignent les 33<sup>e</sup> et 66<sup>e</sup> percentiles de la distribution provinciale de l'indicateur.*

Chaque critère peut recevoir une note de 1 à 3, correspondant respectivement à une priorité faible, moyenne ou forte. Le score de priorité est la somme pondérée des notes. Avec les pondérations proposées, il varie de 1 à 3. À titre de règle de gestion initiale, un score inférieur à 1,67 peut être classé en priorité ordinaire, un score compris entre 1,67 et moins de 2,33 en priorité renforcée, et un score d'au moins 2,33 en priorité critique. Ces bornes résultent du découpage en trois classes égales de l'échelle théorique et non d'une estimation économétrique. Elles doivent donc faire l'objet d'une validation institutionnelle et d'une analyse de sensibilité des poids avant toute utilisation budgétaire.

La grille permet également de séparer les objectifs. Un axe à faible trafic mais sans itinéraire alternatif peut être prioritaire pour des raisons sociales et territoriales, tandis qu'un corridor agricole à trafic élevé peut l'être pour des raisons économiques. Cette distinction évite de pénaliser mécaniquement les routes de désenclavement au profit des seuls axes rentables. Elle permet aussi d'intégrer le cycle de vie : un actif déjà construit mais exposé à une dégradation rapide peut recevoir une priorité de maintenance supérieure à celle d'une nouvelle extension.

### 5.7.3. Implications de politique publique

À l'échelle publique, les résultats plaident pour une programmation qui lie investissement initial, entretien et suivi de la fonctionnalité. Le kilométrage devrait être complété par des indicateurs de praticabilité, de temps de parcours, d'interruptions saisonnières, de trafic et d'accès aux bassins productifs. Une telle architecture d'information permettrait de distinguer les routes dont l'extension répond à un besoin de couverture territoriale de celles dont la priorité tient à la consolidation d'un corridor économique.

L'articulation avec les politiques agricoles est tout aussi importante. La contraction durable de PREN/km suggère qu'une politique routière isolée ne suffit pas à restaurer l'intensité des filières de rente. Les investissements de transport doivent être coordonnés avec les marchés, le stockage, les intrants, le financement et la logistique. Dans cette perspective, la performance routière devient une composante d'un système territorial plutôt qu'un objectif autonome mesuré par le nombre de kilomètres.

## 6. Conclusion

Le présent article a examiné la manière dont l'expansion du réseau routier, son efficacité technique relative corrigée et l'évolution des usages et productions s'articulent à la transformation économique territoriale du Kwango entre 1990 et 2023. Les résultats mettent en évidence une trajectoire dissociée. La longueur du réseau passe de 2 316 à 8 282 km, soit une progression de 257,6 %, tandis que le score VRS-BC diminue de 0,987 à 0,448, soit 54,6

% de recul. Le TMJA en niveau ne diffère pas significativement entre les trois sous-périodes, alors que son intensité par kilomètre décroît. La production vivrière résiste davantage en volume absolu, mais son intensité routière suit une tendance négative ; la production de rente connaît, pour sa part, une contraction beaucoup plus forte et sa part dans les deux agrégats agricoles passe de 55,8 % en 1990 à 11,2 % en 2023. Pris ensemble, ces résultats caractérisent une transformation territoriale partielle et asymétrique : l'augmentation du stock routier n'a pas été accompagnée d'une intensification économique proportionnelle. Ils permettent également de fermer explicitement les propositions de recherche. P1 n'est pas corroborée dans sa formulation favorable, puisque TMJA/LRES, PVRI/LRES et PREN/LRES présentent tous des tendances de long terme négatives. P2 est corroborée au sens descriptif, LRES suivant une tendance positive alors que VRS-BC et les intensités par kilomètre diminuent. P3 est également corroborée descriptivement : vivrier et rente évoluent différemment et la composition agricole se reconfigure fortement. Ces statuts ne doivent pas être interprétés comme des relations causales.

La contribution théorique tient d'abord à la séparation de trois objets qui ne sont pas interchangeables : capacité infrastructurelle, efficacité relative et transformation territoriale. Un territoire peut étendre son réseau sans améliorer simultanément l'intensité de ses usages ; de même, un score DEA relativement élevé ne constitue ni un indice d'état physique des routes ni une mesure complète de leur contribution au développement. Sur le plan managérial, cette distinction déplace l'unité de décision du kilomètre construit vers le portefeuille d'actifs et les services effectivement rendus. La programmation routière devrait ainsi combiner criticité économique, accessibilité sociale, état et praticabilité, rôle de réseau, déficit de maintenance et résilience. La grille de priorisation proposée dans l'article fournit un dispositif illustratif permettant de rendre ces arbitrages explicites, tout en maintenant séparés les objectifs économiques, sociaux et territoriaux. Le VRS-BC peut y servir d'indicateur d'alerte et de comparaison, mais non de règle automatique d'allocation budgétaire.

La portée de ces conclusions est encadrée par plusieurs limites. LRES renseigne sur le linéaire et non sur la qualité de surface, la praticabilité saisonnière, la vitesse effective, les temps de parcours ou l'état des ouvrages de franchissement. La frontière DEA dépend du choix d'un input, LRES, et de trois outputs, TMJA, PVRI et PREN ; une spécification enrichie pourrait donc modifier les positions relatives. Les facteurs environnementaux exogènes ne sont pas incorporés directement dans cette frontière, et la correction Bootstrap réduit le biais d'échantillonnage sans corriger une éventuelle erreur systématique des données historiques. La période couvre en outre des années d'instabilité susceptibles d'avoir affecté la continuité de certaines statistiques. Une partie de l'information trimestrielle ayant été reconstruite à partir de repères annuels, les tests territoriaux ont été ramenés à 34 observations annuelles, avec une puissance limitée dans les groupes de 10, 10 et 14 années. Enfin, cet article ne dispose ni de données sectorielles d'emploi et de valeur ajoutée permettant de mesurer la transformation structurelle complète, ni d'une stratégie d'identification autorisant à attribuer causalement les changements observés à l'efficacité ou à l'extension routière. Les résultats décrivent donc une coévolution territoriale et ne mesurent pas un effet causal de la route.

Une prolongation empirique directement testable consisterait à constituer une base géoréférencée au niveau du tronçon routier. Chaque segment recevrait un identifiant spatial stable et serait renseigné sur sa longueur, son type de revêtement, son état, sa praticabilité par saison, ses interruptions, les ouvrages de franchissement, les dépenses d'investissement et d'entretien, les temps de parcours et le trafic observé. Ces informations seraient reliées par système d'information géographique aux marchés, centres de santé, écoles, bassins de production et localités desservis. Une enquête ménages et exploitations, stratifiée selon la distance au réseau et l'accès effectif aux tronçons traités, mesurerait parallèlement temps et coûts de transport, commercialisation, pertes post-récolte, choix de cultures, revenus, emploi

non agricole et accès aux services. Le suivi devrait comporter au minimum une mesure antérieure et plusieurs mesures postérieures à une réhabilitation ou à une ouverture de route. Lorsque le calendrier des travaux ou les règles d'éligibilité créent une variation suffisamment exogène, cette architecture permettrait d'estimer les effets par différences de différences ou par une autre stratégie quasi expérimentale adaptée au mécanisme d'attribution. Une extension comparative à plusieurs provinces rurales de la RDC permettrait ensuite de tester la validité externe du découplage observé au Kwango. Le passage de données provinciales agrégées à des observations géoréférencées par tronçon et par ménage constituerait ainsi l'étape nécessaire pour distinguer plus solidement extension physique, qualité du service routier et transformation économique.

## Références

- (1). Adler, M. W., Pasidis, I., Levkovich, O., Lembcke, A. C., & Ahrend, R. (2020). Roads, market access and regional economic development. OECD Regional Development Papers, No. 6. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/8b9eca17-en>
- (2). African Union Commission & Organisation for Economic Co-operation and Development. (2025). Africa's development dynamics 2025: Infrastructure, growth and transformation. African Union Commission & OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/c2b40285-en>
- (3). Asher, S., & Novosad, P. (2020). Rural roads and local economic development. American Economic Review, 110(3), 797–823. <https://doi.org/10.1257/aer.20180268>
- (4). Ba, N. F., Basse, B. W., & Mbaye, S. (2026). Effets de l'accès à une route praticable sur le développement rural au Sénégal. Région et Développement, 63, 97–113.
- (5). Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. Management Science, 30(9), 1078–1092. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- (6). Berg, C. N., Blankespoor, B., & Selod, H. (2018). Roads and rural development in Sub-Saharan Africa. The Journal of Development Studies, 54(5), 856–874. <https://doi.org/10.1080/00220388.2018.1430772>
- (7). Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 2(6), 429–444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- (8). Dorosh, P., Wang, H. G., You, L., & Schmidt, E. (2012). Road connectivity, population, and crop production in Sub-Saharan Africa. Agricultural Economics, 43(1), 89–103. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2011.00567.x>
- (9). Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General), 120(3), 253–281. <https://doi.org/10.2307/2343100>
- (10). Gollin, D., & Rogerson, R. (2014). Productivity, transport costs and subsistence agriculture. Journal of Development Economics, 107, 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2013.10.007>
- (11). Herrendorf, B., Rogerson, R., & Valentinyi, Á. (2014). Growth and structural transformation. In P. Aghion & S. N. Durlauf (Eds.), Handbook of Economic Growth (Vol. 2, pp. 855–941). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53540-5.00006-9>
- (12). Kebede, H. A. (2024). Gains from market integration: Welfare effects of new rural roads in Ethiopia. Journal of Development Economics, 168, 103252. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2024.103252>
- (13). Khandker, S. R., Bakht, Z., & Koolwal, G. B. (2009). The poverty impact of rural roads: Evidence from Bangladesh. Economic Development and Cultural Change, 57(4), 685–722. <https://doi.org/10.1086/598765>

- (14). Kiprono, P., & Matsumoto, T. (2018). Roads and farming: The effect of infrastructure improvement on agricultural intensification in South-Western Kenya. *Agrekon*, 57(3–4), 198–220. <https://doi.org/10.1080/03031853.2018.1518149>
- (15). Koulakoumouna, E. (2012). Transport routier et effectivité de l'intégration régionale : enjeux et contraintes pour le développement durable au sein de la CEMAC. *Humanisme et Entreprise*, 309(4), 61–84. <https://doi.org/10.3917/hume.309.0061>
- (16). Limão, N., & Venables, A. J. (2001). Infrastructure, geographical disadvantage, transport costs, and trade. *The World Bank Economic Review*, 15(3), 451–479. <https://doi.org/10.1093/wber/15.3.451>
- (17). Marion, P., Lwamba, E., Floridi, A., Pande, S., Bhattacharyya, M., Young, S., Villar, P. F., & Shisler, S. (2024). The effects of agricultural output market access interventions on agricultural, socio-economic, food security, and nutrition outcomes in low- and middle-income countries: A systematic review. *Campbell Systematic Reviews*, 20(2), e1411. <https://doi.org/10.1002/cl2.1411>
- (18). McMillan, M., Rodrik, D., & Verduzco-Gallo, Í. (2014). Globalization, structural change, and productivity growth, with an update on Africa. *World Development*, 63, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2013.10.012>
- (19). Obare, G. A., Omamo, S. W., & Williams, J. C. (2003). Smallholder production structure and rural roads in Africa: The case of Nakuru District, Kenya. *Agricultural Economics*, 28(3), 245–254. [https://doi.org/10.1016/S0169-5150\(03\)00004-5](https://doi.org/10.1016/S0169-5150(03)00004-5)
- (20). Shamdasani, Y. (2021). Rural road infrastructure & agricultural production: Evidence from India. *Journal of Development Economics*, 152, 102686. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2021.102686>
- (21). Simar, L., & Wilson, P. W. (1998). Sensitivity analysis of efficiency scores: How to bootstrap in nonparametric frontier models. *Management Science*, 44(1), 49–61. <https://doi.org/10.1287/mnsc.44.1.49>
- (22). Simar, L., & Wilson, P. W. (2000). A general methodology for bootstrapping in non-parametric frontier models. *Journal of Applied Statistics*, 27(6), 779–802. <https://doi.org/10.1080/02664760050081951>
- (23). Ulimwengu, J. M., Funes, J., Headey, D. D., & You, L. (2009). Paving the way for development? The impact of transport infrastructure on agricultural production and poverty reduction in the Democratic Republic of Congo (IFPRI Discussion Paper No. 944). International Food Policy Research Institute.

## Annexes

### Annexe 1 : Tests territoriaux

| <i>Variable</i> | <i>H</i> | <i>P</i> | <i>Epsilon2</i> |
|-----------------|----------|----------|-----------------|
| VRS_BC          | 27.0676  | 1e-06    | 0.8086          |
| LRES            | 25.9187  | 2e-06    | 0.7716          |
| TMJA            | 3.5666   | 0.168084 | 0.0505          |
| PVRI            | 19.1251  | 7e-05    | 0.5524          |
| PREN            | 23.3661  | 8e-06    | 0.6892          |
| TMJA_par_km     | 14.9941  | 0.000555 | 0.4192          |
| PVRI_par_km     | 7.151    | 0.028001 | 0.1662          |
| PREN_par_km     | 26.7947  | 2e-06    | 0.7998          |
| Part_rente      | 21.4646  | 2.2e-05  | 0.6279          |

**Annexe 2 : Tendances robustes et intervalles à 95 %**

| Variable    | kendall_tau | P        | theil_sen_slope | ci95_low  | ci95_high  |
|-------------|-------------|----------|-----------------|-----------|------------|
| VRS_BC      | -0.768271   | 0.0      | -0.006275       | -0.013364 | -0.003577  |
| LRES        | 0.669977    | 0.0      | 74.5            | 31.041667 | 124.166667 |
| TMJA_par_km | -0.5281     | 1.1e-05  | -0.000554       | -0.001059 | -0.00036   |
| PVRI_par_km | -0.269162   | 0.025189 | -4.743448       | -8.209331 | -1.056563  |
| PREN_par_km | -0.768271   | 0.0      | -2.392633       | -7.187133 | -1.122391  |
| Part_rente  | -0.532977   | 9e-06    | -0.005697       | -0.013616 | -0.003081  |

**Annexe 3 : Comparaisons par paires avec correction de Holm**

| Variable    | group1    | group2    | U     | p_raw    | p_holm   |
|-------------|-----------|-----------|-------|----------|----------|
| TMJA_par_km | 1990–1999 | 2000–2009 | 74.0  | 0.075552 | 0.075552 |
| TMJA_par_km | 1990–1999 | 2010–2023 | 129.0 | 0.000612 | 0.001837 |
| TMJA_par_km | 2000–2009 | 2010–2023 | 114.0 | 0.010862 | 0.021725 |
| Part_rente  | 1990–1999 | 2000–2009 | 100.0 | 0.000183 | 0.000365 |
| Part_rente  | 1990–1999 | 2010–2023 | 138.0 | 7.7e-05  | 0.000232 |
| Part_rente  | 2000–2009 | 2010–2023 | 101.0 | 0.074116 | 0.074116 |

**Annexe 4 : Journal d'exécution Python**

```
$ python reproduce_article4.py
Python 3.13.5 | platform Linux-6.18.44-x86_64-with-glibc2.41
numpy 2.3.5 pandas 2.2.3 scipy 1.17.0
INPUT BASE_DE_DONNEES_FIN_A_ESTIMER.xlsx
Raw shape: (136, 14) period: 1990T1 - 2023T4
Window F1: rows 1-96, mean VRS=0.950241886
Window F2: rows 9-104, mean VRS=0.942746324
Window F3: rows 17-112, mean VRS=0.916028359
Window F4: rows 25-120, mean VRS=0.912234857
Window F5: rows 33-128, mean VRS=0.878569256
Window F6: rows 41-136, mean VRS=0.871612057
VRS input mean six-window = 0.894076628
VRS exact 1 count = 16
Annual analysis: 34 observations
LRES 1990/2023: 2316.0 8282.000000000002
VRS-BC 1990/2023: 0.9868853276989754 0.4483763879861334
Reproduction checks: PASS
```