



DIAGNOSTIC MULTICRITERE DES DEGRADATIONS PREMATUREES DES CHAUSSEES SOUPLES EN MILIEU URBAIN TROPICAL : INTERACTIONS ENTRE TRAFIC, EAU, PORTANCE ET QUALITE D'EXECUTION — CAS DU BOULEVARD LUMUMBA A KINSHASA, REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO

Doctorant_Chercheur_Ingénieur Magloire KOMENDE KOMENDE ALUNG¹,
Doctorant_Chercheur_Ingénieur Aimé NDEKE MABWATA², Experte Foncière et Immobilière Josaphat
KOMENDE HAPPYORD³, Chercheur Augustin IKURU ELENGE⁴, TRM Nadja KOMENDE
HIKUURU⁵, TRM Felicien MUSITAFU NKUMU⁶, Technicienne Laetitia KIEMA MUKANU⁷, Chercheur
Idriss KASONGO KOMENDE⁸

1. Centre de Recherche en Geophysique/Kinshasa, République Démocratique du Congo ; Ecole Nationale du Cadastre et des Titres Immobiliers/Kinshasa, République Démocratique du Congo ; Ecole Doctorale INBTP-ISAU/Kinshasa, République Démocratique du Congo ; Ministère des Affaires Foncières, République Démocratique du Congo ; Ministère de l'Enseignement Supérieure, Universitaire, Recherche Scientifique et Innovations, République Démocratique du Congo.

2. Centre de Recherches Géologiques et Minières/Kinshasa, République Démocratique du Congo ; Ecole Doctorale INBTP-ISAU/Kinshasa, République Démocratique du Congo ; Ministère de l'Enseignement Supérieure, Universitaire, Recherche Scientifique et Innovations, République Démocratique du Congo.

3. Ecole Nationale du Cadastre et des Titres Immobiliers/Kinshasa, République Démocratique du Congo ; Ministère des Affaires Foncières, République Démocratique du Congo.

4. Institut Géographique du Congo/Kinshasa, République Démocratique du Congo ; Ministère de l'Enseignement Supérieure, Universitaire, Recherche Scientifique et Innovations, République Démocratique du Congo.

5. Centre de Recherche en Geophysique/Kinshasa, République Démocratique du Congo ; Ministère de l'Enseignement Supérieure, Universitaire, Recherche Scientifique et Innovations, République Démocratique du Congo.

6. Centre de Recherche en Geophysique/Kinshasa, République Démocratique du Congo ; Ministère de l'Enseignement Supérieure, Universitaire, Recherche Scientifique et Innovations, République Démocratique du Congo.

7. Centre de Recherche en Geophysique/Kinshasa, République Démocratique du Congo ; Ministère de l'Enseignement Supérieure, Universitaire, Recherche Scientifique et Innovations, République Démocratique du Congo.

8. Centre de Recherche en Geophysique/Kinshasa, République Démocratique du Congo ; Ministère de l'Enseignement Supérieure, Universitaire, Recherche Scientifique et Innovations, République Démocratique du Congo.

Résumé : Les dégradations prématurées des chaussées constituent un problème majeur pour la mobilité urbaine à Kinshasa, particulièrement dans les secteurs périphériques soumis à une forte croissance démographique, à une augmentation du trafic et à des contraintes hydrologiques importantes. Cette étude analyse les mécanismes responsables des dégradations observées sur trois intersections stratégiques du boulevard Lumumba dans le district de la Tshangu : l'entrée Abattoir, correspondant à la route Petro-Congo, l'entrée Mokali et l'entrée Mikondo, correspondant à la route Ndjoku.

La méthodologie repose sur une approche diagnostique combinant recherche documentaire, observation de terrain, analyse des dégradations, examen des caractéristiques structurales des chaussées, données de portance du sol support, inspection des ouvrages d'assainissement et comptage du trafic. Les résultats montrent que les dégradations observées ne résultent pas d'un facteur unique, mais d'une interaction entre insuffisance locale des épaisseurs, portance du sol support, compactage, vieillissement et qualité de l'enrobé, dysfonctionnement du drainage et agressivité du trafic.

À l'entrée Abattoir, la surface dégradée atteint 61,46 m², contre 43,75 m² à Mokali et 15,60 m² à Ndjoku. Les niveaux de portance des plateformes sont respectivement de CBR = 11, 12 et 10, correspondant à la classe S3 de la classification CEBTP. Les trafics journaliers moyens sont respectivement de 10 664, 8 664 et 3 552 véhicules/jour. La proportion de poids lourds atteint 15 % à Mokali, révélant une sollicitation particulièrement importante.

L'analyse met en évidence le rôle transversal de l'eau, dont les effets sont amplifiés par l'obstruction ou le sous-dimensionnement des caniveaux. À Ndjoku, la différence altimétrique d'environ 39 cm entre la chaussée et les caniveaux empêche notamment une évacuation efficace des eaux superficielles.

Dans ce contexte, l'étude recommande une stratégie différenciée associant réhabilitation des chaussées souples, contrôle de la portance et du compactage, vérification des épaisseurs, amélioration de la qualité des matériaux, emploi éventuel de géotextiles pour le renforcement structurel, amélioration du drainage, entretien préventif fondé sur le suivi du trafic et de l'état des chaussées ainsi que le recours ciblé aux chaussées rigides en béton, désormais largement utilisées dans plusieurs projets récents de voirie à Kinshasa. L'étude propose également le concept de chaussée hybride, combinant enrobé sur les sections courantes et béton dans les zones particulièrement sollicitées, notamment les intersections, zones de freinage et secteurs soumis au trafic lourd.

Mots-clés : chaussée souple ; chaussée rigide ; dégradation prématurée ; trafic lourd ; drainage ; CBR ; enrobé bitumineux ; boulevard Lumumba ; Kinshasa ; réhabilitation ; chaussée hybride ; entretien routier.

Abstract: Premature pavement deterioration constitutes a major problem for urban mobility in Kinshasa, particularly in peripheral areas subject to strong population growth, increasing traffic, and significant hydrological constraints. This study analyzes the mechanisms responsible for the deterioration observed at three strategic intersections of Lumumba Boulevard in the Tshangu district: the Abattoir entrance, corresponding to Petro-Congo Road, the Mokali entrance, and the Mikondo entrance, corresponding to Ndjoku Road.

The methodology is based on a diagnostic approach combining documentary research, field observation, deterioration analysis, examination of the structural characteristics of the pavements, bearing-capacity data of the subgrade soil, inspection of drainage structures, and traffic counting. The results show that the observed deterioration does not result from a single factor, but from an interaction between locally insufficient layer thicknesses, subgrade bearing capacity, compaction, aging and quality of the asphalt mix, drainage dysfunction, and traffic aggressiveness.

At the Abattoir entrance, the deteriorated surface reaches 61.46 m², compared with 43.75 m² at Mokali and 15.60 m² at Ndjoku. The bearing-capacity levels of the platforms are respectively CBR = 11, 12, and 10, corresponding to class S3 of the CEBTP classification. The average daily traffic volumes are respectively 10,664, 8,664, and 3,552 vehicles/day. The proportion of heavy goods vehicles reaches 15% at Mokali, revealing particularly high loading.

The analysis highlights the cross-cutting role of water, whose effects are amplified by the obstruction or undersizing of the drainage channels. At Ndjoku, the elevation difference of approximately 39 cm between the pavement and the drainage channels notably prevents effective discharge of surface water.

In this context, the study recommends a differentiated strategy combining rehabilitation of flexible pavements, control of bearing capacity and compaction, verification of layer thicknesses, improvement of material quality, possible use of geotextiles for structural reinforcement, improvement of drainage, preventive maintenance based on monitoring traffic and pavement condition, as well as targeted use of rigid concrete pavements, now widely used in several recent road projects in Kinshasa. The study also proposes the concept of a hybrid pavement, combining asphalt mix on ordinary sections and concrete in particularly heavily loaded areas, particularly intersections, braking zones, and areas subject to heavy traffic.

Keywords: flexible pavement; rigid pavement; premature deterioration; heavy traffic; drainage; CBR; asphalt mix; Lumumba Boulevard; Kinshasa; rehabilitation; hybrid pavement; road maintenance.

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.22262570>

1. Introduction

Les infrastructures routières jouent un rôle essentiel dans le développement économique et territorial des villes. Une chaussée doit assurer, pendant sa durée de service, la circulation des véhicules dans des conditions acceptables de sécurité, de confort et de régularité, tout en résistant aux sollicitations mécaniques du trafic et aux agents environnementaux, notamment l'eau et les variations climatiques (Phanzu, 2015-2016).

Dans le cas des chaussées souples, le fonctionnement de la structure repose sur la capacité des différentes couches à répartir progressivement les charges appliquées par les véhicules jusqu'au sol support. Les couches de surface assurent notamment la protection de la structure contre les infiltrations tandis que les couches de base et de fondation assurent la résistance mécanique et la diffusion des contraintes (Bassene & Gueye, 2007).

Le comportement d'une chaussée est ainsi conditionné par plusieurs paramètres : trafic, nature et portance du sol, épaisseur des couches, qualité des matériaux, conditions climatiques, drainage et qualité de mise en œuvre. Le mémoire étudié rappelle notamment que les chaussées souples sont sensibles aux sollicitations répétées du trafic, aux conditions climatiques et aux conditions de fabrication et de mise en œuvre des matériaux.

À Kinshasa, cette problématique revêt une importance particulière. La croissance urbaine et l'augmentation de la demande de mobilité soumettent les principales artères à des sollicitations croissantes. Le boulevard Lumumba constitue à cet égard un axe stratégique puisqu'il relie plusieurs secteurs de la ville et dessert notamment les communes de Masina et de Kimbanseke. L'étude initiale identifie précisément les intersections Abattoir, Mokali et Mikondo comme des points critiques du réseau.

2. Cadre théorique

2.1. Fonctionnement d'une chaussée souple

Une chaussée souple est constituée d'une couche de surface bitumineuse reposant sur des couches granulaires de base et de fondation. La structure doit permettre de transmettre les charges vers le sol support en réduisant progressivement les contraintes et les déformations.

La couche de surface joue également un rôle essentiel de protection contre les infiltrations d'eau. Une détérioration de cette couche peut donc entraîner une dégradation progressive des couches sous-jacentes (LCPC, 1994).

Le document de référence souligne que la couche de roulement est directement exposée au trafic et au climat et qu'elle participe au maintien de l'intégrité de la structure en limitant les infiltrations.

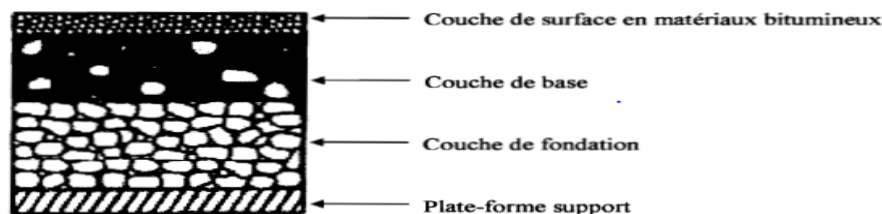


Figure 1. : Schéma conceptuel du fonctionnement d'une chaussée souple (Coupe transversale d'une chaussée souple adapté de Bessahraoui & Bentría (2015-2016))

3. Matériels et méthodes

3.1. Approche méthodologique

L'étude repose sur trois techniques principales :

- la recherche documentaire ;
- l'observation directe ;
- l'analyse de contenu.

L'observation a notamment permis d'examiner les caractéristiques géographiques, topographiques et environnementales du site, tandis que l'analyse documentaire a permis d'exploiter les informations techniques disponibles.

L'approche adoptée peut être représentée comme suit :

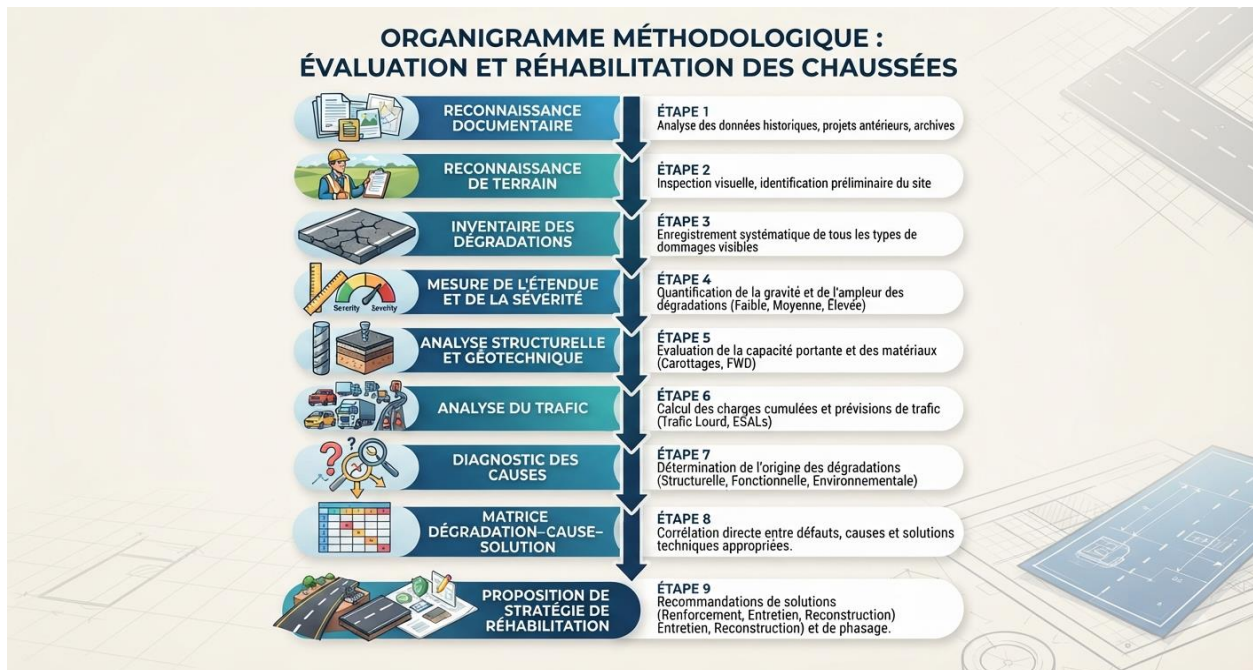


Figure 2. : Organigramme méthodologique de l'étude

3.2. Critères techniques de diagnostic et de choix des solutions de réhabilitation

Le choix des solutions de réhabilitation proposées dans cette étude repose sur une lecture multicritère des conditions réelles de fonctionnement des trois sites étudiés. Il ne s'agit donc pas d'attribuer une solution déterminée à un site sur la seule base du trafic ou de la portance du sol, mais de croiser plusieurs paramètres techniques susceptibles d'influencer la durée de service de la chaussée.

- **Le premier critère** considéré est le niveau de trafic, exprimé en véhicules par jour, complété par la proportion de poids lourds. Cette distinction est importante, car deux sections présentant des trafics journaliers relativement proches peuvent subir des sollicitations mécaniques très différentes lorsque la part des véhicules lourds varie. Dans le cas étudié, l'entrée Mokali présente ainsi environ 8 664 véhicules/jour, dont près de 1 300 poids lourds, soit environ 15 % du trafic total. Cette situation justifie une attention particulière aux phénomènes d'orniérage, de déformation et de fatigue structurale.
- **Le deuxième critère** est la portance du sol support, appréciée à partir de l'indice CBR. Les valeurs obtenues, comprises entre 10 et 12, correspondent à la classe S3 de la classification CEBTP. Ces valeurs ne sont cependant pas interprétées isolément. Une plateforme présentant une portance acceptable peut néanmoins connaître des déformations lorsque cette portance est associée à une saturation en eau, à un drainage insuffisant, à une structure sous-dimensionnée ou à des sollicitations répétées importantes.
- **Le troisième critère** concerne les épaisseurs des différentes couches de la chaussée. La comparaison entre les épaisseurs théoriques et les épaisseurs effectivement observées permet d'identifier les secteurs susceptibles de présenter une capacité structurale insuffisante. Les écarts constatés, notamment à l'entrée Abattoir, constituent ainsi un indicateur important pour orienter le choix entre une réparation superficielle, une réfection localisée ou une reconstruction structurale.
- **Le quatrième critère** est constitué par les conditions hydrauliques. L'obstruction, le sous-dimensionnement ou la mauvaise cote des caniveaux peuvent provoquer une stagnation des eaux et favoriser leur infiltration dans les différentes couches de la chaussée. Dans le cas de Mikondo/Ndjoku, la différence altimétrique d'environ 39 cm observée entre la chaussée et les caniveaux constitue un facteur déterminant dans le choix de l'intervention hydraulique préalable.
- **Le cinquième critère** concerne la nature des sollicitations particulières liées à la géométrie des sites. Les intersections sont soumises à des freinages, accélérations, changements de direction et arrêts fréquents qui génèrent des efforts tangentiels et transversaux plus importants que ceux rencontrés sur une section courante. Ces sollicitations justifient l'étude de solutions renforcées ou hybrides dans les zones particulièrement sollicitées.

- Enfin, le choix entre chaussée souple renforcée, chaussée rigide ou solution hybride doit intégrer simultanément la portance du support, le niveau de trafic, la présence de poids lourds, l'état du drainage, le type de dégradation, les contraintes d'exécution et les exigences d'entretien. La solution retenue doit donc être considérée comme le résultat d'un diagnostic multicritère et non comme une prescription uniforme applicable à l'ensemble du boulevard Lumumba.

Ainsi, le principe de décision adopté dans cette étude peut être résumé comme suit : diagnostiquer la cause dominante → vérifier la portance et le drainage → caractériser les sollicitations du trafic → vérifier la capacité structurale → choisir la technique de réhabilitation adaptée → contrôler sa compatibilité avec les conditions hydrauliques et géotechniques du site.

4. Localisation de la zone d'étude

Le boulevard Lumumba constitue l'un des principaux axes routiers de Kinshasa. L'étude porte sur trois connexions stratégiques :

- *Petro-Congo / entrée Abattoir, dans la commune de Masina ;*
- *Entrée Mokali, dans la commune de Kimbanseke ;*
- *Entrée Ndjoku / Mikondo, également dans la commune de Kimbanseke.*
- La route **Mokali** constitue notamment l'une des principales liaisons entre Kimbanseke et le boulevard Lumumba et présente une longueur d'environ 4 km entre le boulevard et le pont de la rivière Mokali.
- La route **Ndjoku**, appelée route de Mikondo dans le secteur étudié, relie le boulevard Lumumba au quartier Buma sur une distance d'environ 30 km, tandis que la partie étudiée a été revêtue sur environ 3 km à partir du boulevard Lumumba.



Figure 3. Carte remodelisée en 3D de la géolocalisation des sites étudiés

5. Résultats

5.1. Comparaison générale des trois sites

Tableau 1. : Caractéristiques géométriques et structurelles des sites

Paramètre	Abattoir / Petro-Congo	Mokali	Mikondo/ Ndjoku
Largeur de la route	10 m	10 m	8 m
Largeur de chaussée	7 m	7 m	6 m
Accotement	2 × 1,50 m	2 × 1,50 m	2 × 1,50 m
Pente transversale chaussée	2,5 %	2,5 %	2,5 %
Couche de roulement théorique	5 cm	5 cm	5 cm
Couche de base	20 cm	20 cm	20 cm
Couche de fondation	25 cm	25 cm	25 cm
CBR plateforme	11	12	10
Classe CEBTP	S3	S3	S3

Source : données du terrain.

5.2. Comparaison du trafic

Tableau 2. : Trafic journalier observé

Site	Trafic moyen (véh./jour)	Poids lourds (véh./jour)	Proportion PL	Classe CEBTP
Abattoir / Petro-Congo	10 664	745	≈ 7 %	T5
Mokali	8 664	1 300	≈ 15 %	T5
Mikondo / Ndjoku	3 552	71	≈ 2 %	T4

Source : enquête de terrain sur le trafic.

- Les comptages ont été effectués pendant trois périodes journalières : 6 h 30–10 h, 13 h–15 h et 17 h–19 h.
- Le résultat le plus remarquable est la proportion de poids lourds à Mokali, qui atteint environ 15 % du trafic total.



Figure 4. Comparaison graphique du trafic

6. Étendue et sévérité des dégradations

Tableau 3. : Comparaison des dégradations observées

Site	Type de dégradation dominant	Étendue approximative	Superficie affectée	Sévérité
Abattoir	Arrachement, désenrobage, plumage, nids-de-poule, amorce d'orniérage	17,56 m	61,46 m ²	Majeure
Mokali	Arrachement, nids-de-poule, pelades, orniérage	12,5 m	43,75 m ²	Majeure
Mikondo Ndjoku /	Érosion, arrachement, orniérage	1,8–3,4 m	15,60 m ²	Majeure

- À Abattoir, l'étude relève une destruction importante de la structure sur environ 17 m, avec désenrobage, départ de matériaux, plumage et nids-de-poule.
- À Mokali, les dégradations affectent environ 12,5 m et couvrent 43,75 m².
- À Ndjoku, la zone affectée présente une largeur de dégradation comprise entre 1,8 et 3,4 m et une superficie estimée à 15,6 m².

7. Analyse des mécanismes de dégradation

7.1. Insuffisance des épaisseurs

L'étude révèle des différences entre les épaisseurs observées et les épaisseurs de référence. À Abattoir, les différences signalées atteignent 3,5 à 6 cm par endroits, tandis qu'elles sont de l'ordre de 2 à 2,5 cm à Mokali et de 2 à 2,5 cm à Ndjoku.

Cette situation peut conduire à une réduction de la capacité structurale et à une concentration des contraintes dans les secteurs sous-dimensionnés.

7.2. Influence de la portance

Les trois plateformes appartiennent à la classe S3 du système CEBTP, avec des CBR compris entre 10 et 12.

Il ne serait cependant pas scientifiquement correct de conclure que CBR = 10–12 constitue à lui seul la cause de la dégradation. Le résultat doit plutôt être interprété en interaction avec l'eau, le trafic et les caractéristiques des couches.

8. L'eau : le facteur transversal du système de dégradation

L'un des résultats les plus importants de l'étude est le rôle du drainage.

- À Abattoir, les caniveaux sont obstrués par des déchets et la stagnation des eaux crée des conditions favorables à la dégradation.
- À Mokali, les eaux pluviales stagnent directement à l'entrée de la route et participent à la destruction du corps de chaussée.
- Le cas de Mikondo est encore plus significatif. La chaussée se situe environ 39 cm au-dessus du niveau des caniveaux, ce qui empêche l'évacuation efficace des eaux superficielles. Les caniveaux sont également obstrués par des déchets.

Revue-IRS

Revue Internationale de la Recherche Scientifique : [Revue-irs.com](http://www.revue-irs.com)

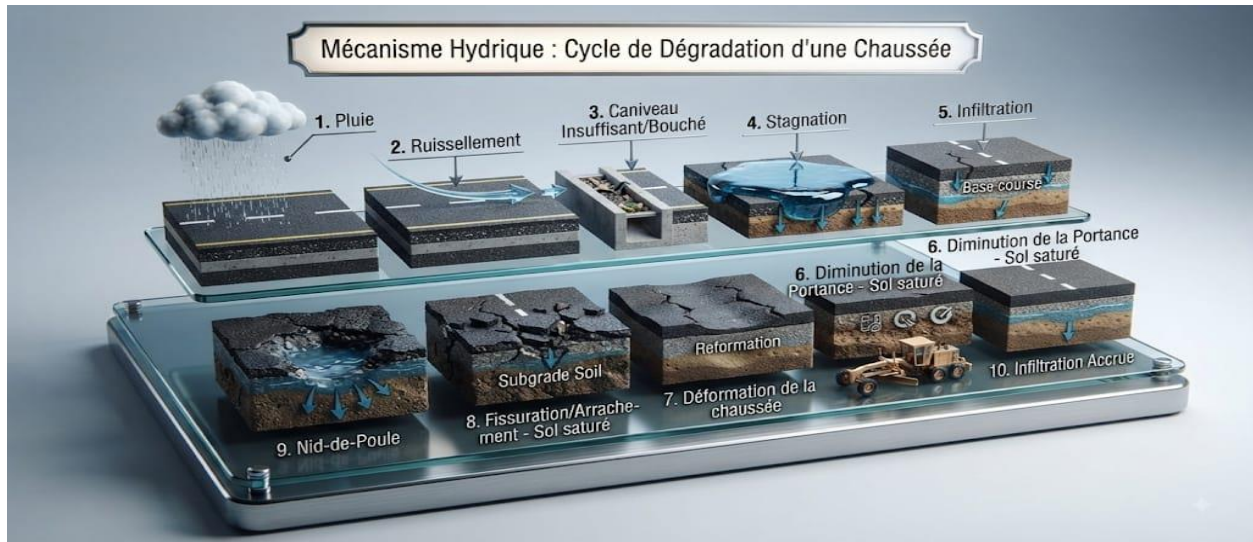


Figure 5. : Schéma conceptuel du mécanisme hydrique

9. Discussion scientifique

Les résultats obtenus permettent de dépasser une interprétation simpliste consistant à attribuer les dégradations au seul trafic.

La littérature technique rappelle que les chaussées souples sont soumises à une fatigue progressive sous l'effet des charges répétées, particulièrement celles des poids lourds. La répétition des sollicitations peut conduire à l'apparition et à l'évolution des fissures et des déformations (SETRA, 1996 ; Yoder & Witczak, 1975).

Cependant, l'eau constitue un facteur aggravant majeur. Elle peut pénétrer dans la structure et modifier les caractéristiques mécaniques du sol support et des matériaux granulaires. Le mémoire rappelle également que l'eau constitue l'un des agents les plus dommageables pour les chaussées, notamment lorsqu'elle pénètre par infiltration ou percolation.

Le cas étudié à Kinshasa montre ainsi une interaction synergique :



Cette formulation est plus pertinente que la recherche d'une cause unique.

Tableau 4. : Synthèse des mécanismes

Facteur	Mécanisme	Conséquence
Trafic lourd	Répétition des charges	Fatigue et orniérage
Freinage/virage	Efforts tangentiels et transversaux	Arrachement et usure
Eau	Infiltration et saturation	Perte de portance
Caniveaux bouchés	Stagnation	Infiltration accrue
Faible portance	Déformation du support	Affaissement
Épaisseur insuffisante	Capacité structurale réduite	Rupture prématurée
Mauvais compactage	Faible densité	Déformation
Vieillessement bitumineux	Oxydation/fragilisation	Fissuration et désagrégation
Mauvaise adhésivité	Décollement granulats-liant	Désenrobage
Entretien tardif	Propagation des défauts	Réhabilitation plus coûteuse

10. Matrice « dégradation – cause – solution »

Tableau 5. : Matrice diagnostique et décisionnelle

Dégradation observée	Cause probable	Facteur aggravant	Solution prioritaire
Nid-de-poule	Arrachement et infiltration	Eau + trafic	Réfection localisée profonde
Désenrobage	Mauvaise adhésivité / vieillissement	Eau	Réfection + traitement de surface
Plumage	Perte de granulats	Vieillessement / trafic	Enduit superficiel
Pelade	Défaut d'adhérence	Eau + mauvaise formulation	Reprise de surface
Orniérage	Fatigue structurale	Poids lourds	Renforcement structurel
Affaissement	Faible portance	Eau stagnante	Traitement du support
Arrachement	Sollicitations tangentielles	Virage/freinage	Réfection structurelle
Dégradation généralisée	Défaut structurel	Eau + trafic	Réhabilitation complète
Défaillance du drainage	Caniveaux bouchés/sous-dimensionnés	Déchets	Curage + redimensionnement
Remontée des fines	Migration des matériaux	Eau	Géotextile / séparation

11. Stratégie de réhabilitation par site

Tableau 6. : Programme de réhabilitation proposé

Site	Priorité	Intervention immédiate	Intervention structurelle	Entretien
Abattoir	Très élevée	Curage des caniveaux	Réfection totale des zones détruites	Enduit superficiel
Mokali	Très élevée	Curage + redimensionnement	Réfection localisée + géotextile	Surveillance périodique
Mikondo	Très élevée	Correction de la cote des caniveaux	Scarification + reconstruction	Contrôle du drainage

- À Abattoir, le mémoire recommande notamment de rétablir l'évacuation des eaux avant la réparation de la chaussée et propose une réfection suivie d'un traitement superficiel.

- À Mokali, la priorité est donnée au redimensionnement et au curage des caniveaux, à l'amélioration des accotements, à la réfection localisée et à l'emploi éventuel d'un géotextile.
- À Mikondo, la correction de la différence de niveau entre chaussée et caniveaux constitue une intervention préalable essentielle avant la reconstruction de la structure.

12. Alternative de réhabilitation : vers le recours aux chaussées rigides à Kinshasa

Les résultats de cette étude conduisent également à s'interroger sur la pertinence d'un changement de type de structure dans certains secteurs particulièrement sollicités. Alors que les sites étudiés sont actuellement constitués principalement de chaussées souples, le recours aux chaussées rigides en béton constitue aujourd'hui une orientation de plus en plus visible dans les projets de voirie urbaine à Kinshasa.

Cette évolution est observable sur plusieurs chantiers récents. Des travaux de construction et de réhabilitation d'avenues telles que Kwilu, Wangata, Kimwenza et Colonel Ebeya ont notamment été réalisés ou engagés en chaussée rigide. L'avenue Kwilu constitue un exemple récent particulièrement intéressant, avec une dalle de béton annoncée à 20 cm d'épaisseur reposant sur une couche de base de 25 cm.

Cette tendance doit toutefois être analysée avec prudence. Le béton n'est pas intrinsèquement une solution à tous les problèmes de dégradation routière. Une chaussée rigide correctement dimensionnée peut présenter une meilleure résistance aux sollicitations répétées et aux fortes charges, mais sa performance reste fortement dépendante de la qualité de la plateforme, de la préparation du support, du drainage, des joints, du dimensionnement et de l'exécution.

12.1. Pourquoi envisager une chaussée rigide sur certains sites ?

La chaussée rigide présente un comportement structurel différent de celui d'une chaussée souple.

Dans une chaussée souple, les charges sont réparties progressivement à travers plusieurs couches granulaires et bitumineuses. Dans une chaussée rigide, la dalle de béton possède une rigidité beaucoup plus importante et participe directement à la répartition des charges sur une surface plus large.

Cette caractéristique peut être particulièrement intéressante dans les secteurs soumis :

- à un trafic lourd important ;
- à des freinages et accélérations répétés ;
- aux sollicitations importantes des intersections ;
- aux arrêts fréquents des véhicules ;
- à des problèmes récurrents d'orniérage ;
- à des sollicitations tangentielles importantes ;
- à des réparations répétitives des chaussées bitumineuses.

Dans le cas présent, l'entrée Mokali mérite une attention particulière, puisque le trafic observé atteint 8 664 véhicules/jour, dont environ 1 300 poids lourds, soit près de 15 % du trafic total.

Ce niveau de sollicitation justifie l'étude comparative d'une solution en béton dans le cadre d'une future réhabilitation lourde.

12.2. Chaussée souple ou chaussée rigide : quelle solution pour Kinshasa ?

Tableau 7. : Comparaison entre chaussée souple et chaussée rigide

Critère	Chaussée souple	Chaussée rigide
Matériau principal	Enrobé bitumineux	Béton de ciment
Comportement	Déformable	Très rigide
Répartition des charges	Progressive dans les couches	Principalement assurée par la dalle
Sensibilité à l'orniérage	Relativement élevée sous trafic lourd	Faible
Sensibilité aux températures	Importante	Plus limitée sur le plan de la déformation
Résistance au trafic lourd	Bonne si correctement dimensionnée	Très bonne si correctement dimensionnée

Entretien courant	Relativement fréquent	Généralement moins fréquent, mais interventions spécialisées
Réparation	Facile et relativement rapide	Plus complexe localement
Temps avant mise en circulation	Généralement court après travaux d'enrobage	Dépend fortement de la cure du béton
Sensibilité aux défauts de drainage	Élevée	Également importante
Sensibilité à la qualité du support	Importante	Importante
Risque de fissuration	Fissures de fatigue, thermiques, réflexion	Fissures de retrait, fatigue, joints
Durée de service potentielle	Bonne	Très bonne si conception et exécution maîtrisées
Adaptation aux intersections fortement sollicitées	Bonne	Très intéressante
Adaptation aux zones de freinage	Moyenne à bonne	Très intéressante
Coût initial	Généralement plus faible	Généralement plus élevé
Coût du cycle de vie	Variable	Potentiellement favorable

- **Interprétation :** le choix ne doit donc pas être fondé uniquement sur le coût initial. Il doit intégrer la durée de service, les interventions d'entretien, les charges à l'essieu, les conditions hydriques et le coût global du cycle de vie.

12.3. Application aux trois sites étudiés

L'intérêt scientifique de cette étude est justement la non recommandation tous azimuts et aveuglement du béton partout. Nous proposons une stratégie différenciée.

Tableau 8. : Choix de la solution par site

Site	Trafic	Problème dominant	Solution privilégiée	Alternative
Abattoir / Petro-Congo	10 664 véh./j	Trafic + drainage + arrachement	Réhabilitation souple renforcée	Chaussée rigide à l'intersection
Mokali	8 664 véh./j ; 1 300 PL	Trafic lourd + eau + déformation	Chaussée rigide à étudier prioritairement	Chaussée souple renforcée
Mikondo / Ndjoku	3 552 véh./j	Drainage + défaut de structure	Chaussée souple réhabilitée	Béton ponctuel aux zones critiques

➤ Justification technique du choix des solutions par site

Le choix des solutions présenté dans le tableau 8 résulte du croisement des paramètres précédemment analysés.

- **À l'entrée Abattoir/Petro-Congo,** le trafic quotidien élevé, associé aux dégradations importantes par arrachement, désenrobage et nids-de-poule, conduit à privilégier une réhabilitation souple renforcée après traitement préalable du drainage. Une solution rigide localisée peut toutefois être envisagée au niveau de l'intersection lorsque les sollicitations de freinage et de cisaillement deviennent prédominantes.
- **À Mokali,** la combinaison d'un trafic de 8 664 véhicules/jour, d'environ 1 300 poids lourds, d'une proportion de poids lourds proche de 15 %, des phénomènes d'orniérage et des problèmes hydrauliques justifie une étude prioritaire d'une structure rigide ou fortement renforcée. Cette proposition demeure conditionnée à la vérification préalable de la plateforme, du drainage et des conditions d'exécution.
- **À Mikondo/Ndjoku,** le niveau de trafic plus faible, mais associé à un dysfonctionnement hydraulique majeur, conduit à privilégier en premier lieu la correction du drainage et la reconstruction des zones structurellement déficientes. Le recours au béton peut être limité aux secteurs ponctuellement critiques.

Dans les trois cas, le principe fondamental demeure que la solution structurale ne peut être considérée comme durable qu'après traitement de la cause hydraulique et vérification de la qualité du support.

Cette approche est plus défendable scientifiquement que l'affirmation selon laquelle « toutes les routes de Kinshasa doivent désormais être en béton ».

12.4. Le cas particulier des intersections

Nous proposons aussi une chaussée composite ou hybride et non une chaussée rigide sur toute la longueur des chaussées.

Le principe serait :



Cette solution pourrait être particulièrement intéressante dans les secteurs où les véhicules :

- *ralentissent ;*
- *freinent ;*
- *accélèrent ;*
- *tournent ;*
- *s'arrêtent fréquemment.*

Ces mouvements génèrent des sollicitations différentes de celles observées sur une section courante.

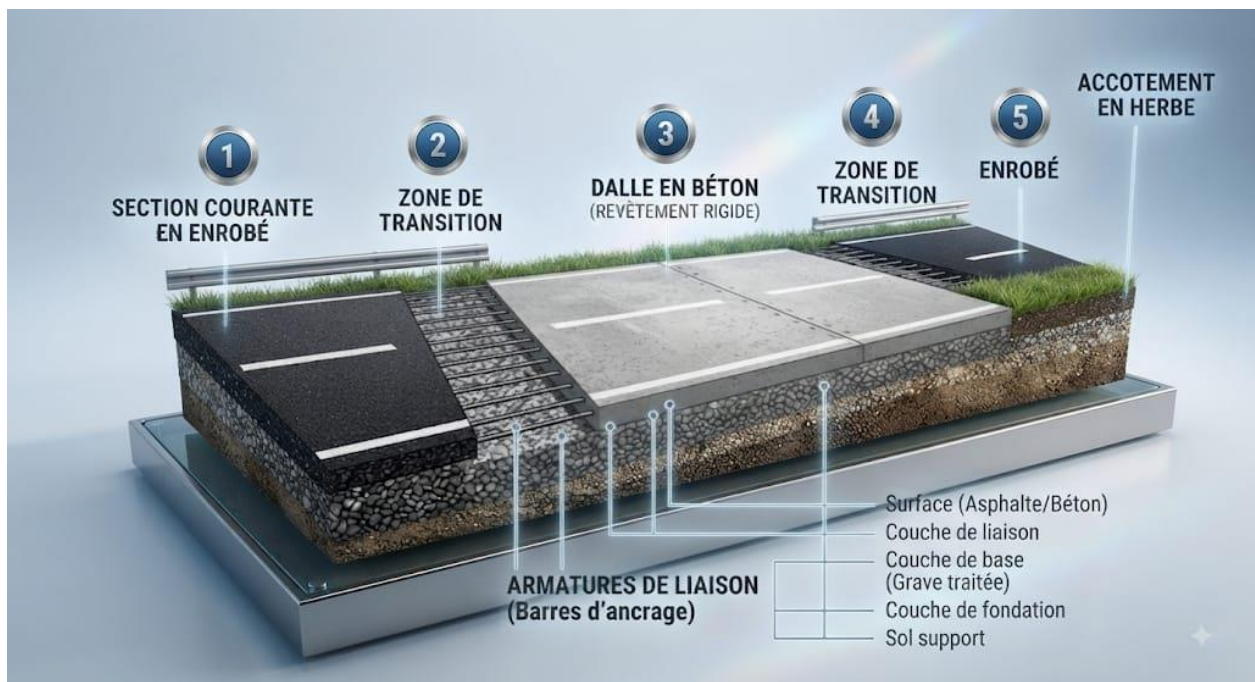


Figure 6. : Concept de chaussée hybride proposé

Cette solution permettrait potentiellement de concentrer le béton dans les secteurs où les sollicitations sont les plus sévères, sans imposer nécessairement une reconstruction complète de l'axe.

12.5. Mais le béton ne dispense pas du drainage

Il serait scientifiquement incorrect d'affirmer :

« *Le béton résout le problème de l'eau.* »

Au contraire, une chaussée rigide nécessite également une plateforme correctement préparée et un système de drainage fonctionnel.

Dans le cas de Mikondo, par exemple, si la chaussée se trouve environ 39 cm au-dessus du niveau des caniveaux et que ceux-ci sont obstrués, remplacer l'enrobé par du béton sans corriger le système hydraulique ne supprimerait pas la cause fondamentale du problème.

Il faut donc retenir le principe :

Chaussée rigide ≠ absence de problème hydraulique.

Le béton améliore le comportement structural de la surface, mais il ne remplace ni la plateforme correctement compactée ni le drainage.

12.6. Nouvelle matrice « dégradation – cause – solution »

Tableau 9. : Matrice intégrée de diagnostic et de choix de réhabilitation

Dégradation	Cause dominante	Facteurs aggravants	Solution souple	Solution rigide
Nids-de-poule	Arrachement/infiltration	Eau + trafic	Réfection localisée	Dalle béton localisée
Orniérage	Déformation plastique	Poids lourds + température	Renforcement	Béton recommandé dans zones critiques
Désenrobage	Perte d'adhérence	Eau + vieillissement	Reprise/enrobé	Dalle béton si dégradation structurelle
Pelade	Mauvaise adhérence	Eau + formulation	Réfection surface	Béton si problème généralisé
Affaissement	Faible portance	Eau	Reconstruction du support	Reconstruction support + dalle
Arrachement en virage	Efforts tangentiels	Freinage + poids lourds	Enrobé renforcé	Béton très pertinent
Fissuration de fatigue	Sollicitation répétée	Trafic lourd	Renforcement	Dalle rigide après reconstruction
Dégradation généralisée	Défaillance structurelle	Eau + trafic	Reconstruction complète	Étude comparative recommandée
Caniveaux bouchés	Déchets	Entretien insuffisant	Curage/redimensionnement	Même exigence
Infiltration	Défaut d'étanchéité	Mauvais drainage	Étanchéité	Joints + drainage

12.7. Validation technique, économique et environnementale des solutions proposées

Les solutions de réhabilitation proposées dans cette étude constituent des orientations techniques issues du diagnostic multicritère. Elles doivent cependant être validées avant toute exécution par une étude détaillée de dimensionnement et par une comparaison technico-économique des variantes.

La validation technique devra notamment porter sur la vérification de la portance de la plateforme, la détermination des épaisseurs structurales nécessaires, la caractérisation des matériaux disponibles, l'analyse des charges de trafic et des poids lourds, ainsi que la vérification du système de drainage. Pour les solutions en béton, cette validation devra également intégrer les caractéristiques mécaniques du béton, les conditions de cure, la conception et l'espacement des joints, les conditions d'adhérence et de transfert des charges, ainsi que la qualité de la couche support.

Pour les solutions hybrides, la validation devra porter sur la compatibilité mécanique entre les sections bitumineuses et les dalles en béton. Une attention particulière devra être accordée aux zones de transition, qui peuvent constituer des secteurs sensibles en raison des différences de rigidité et de comportement sous les charges

répétées. La conception devra donc éviter les transitions brusques et assurer une continuité structurale et hydraulique entre les différentes parties de la chaussée.

Sur le plan économique, la comparaison ne doit pas être limitée au coût initial de construction. Une analyse en coût du cycle de vie doit prendre en compte le coût de construction, les opérations d'entretien courant, les réparations périodiques, les coûts liés aux interruptions de circulation ainsi que la durée de service attendue. Cette approche est particulièrement pertinente dans le contexte de Kinshasa, où une solution initialement moins coûteuse peut devenir économiquement défavorable si elle nécessite des réparations fréquentes.

En l'absence, dans les données de la présente étude, de devis quantitatifs détaillés et de prix unitaires normalisés pour chaque variante, il n'est pas scientifiquement justifié d'attribuer un coût absolu à la chaussée souple, à la chaussée rigide ou à la chaussée hybride. L'analyse économique doit donc être considérée ici comme une orientation méthodologique qui devra être complétée par une étude de prix avant la décision d'investissement.

La durabilité doit également être appréciée de manière globale. Une chaussée hybride peut présenter un intérêt lorsque les zones les plus fortement sollicitées sont traitées en béton tandis que les sections courantes conservent une structure souple. Cette configuration permet potentiellement de concentrer les matériaux et les interventions de renforcement sur les secteurs où les sollicitations mécaniques sont les plus importantes. Toutefois, son efficacité dépend de la qualité de conception des transitions, du drainage, de la préparation du support, de l'exécution et de l'entretien.

La validation finale de la solution devra ainsi suivre une démarche en cinq étapes :

1. *Diagnostic géotechnique et hydraulique détaillé ;*
2. *Caractérisation du trafic et des charges lourdes ;*
3. *Dimensionnement des différentes variantes ;*
4. *Comparaison des coûts sur le cycle de vie ;*
5. *Analyse de la durabilité et sélection de la variante optimale.*

La solution hybride proposée dans cette étude doit donc être considérée comme une hypothèse technique à valider par des calculs de dimensionnement, des essais complémentaires et, idéalement, par le suivi d'une section expérimentale. Cette démarche permettrait de transformer la proposition conceptuelle en solution techniquement et économiquement démontrée.

Tableau 10. Matrice de validation technico-économique des solutions proposées

Critère de validation	Chaussée souple renforcée	Chaussée rigide	Chaussée hybride
Trafic faible à modéré	Très favorable	Peu nécessaire	Possible
Trafic lourd	Favorable sous dimensionnement adapté	Très favorable	Très favorable
Forte proportion de poids lourds	À renforcer	Très favorable	Très favorable
Orniérage récurrent	Moyennement favorable	Favorable	Très favorable dans les zones critiques
Intersections et freinage	Favorable après renforcement	Très favorable	Très favorable
Portance insuffisante	Traitement du support indispensable	Traitement du support indispensable	Traitement du support indispensable
Drainage défaillant	Correction obligatoire	Correction obligatoire	Correction obligatoire
Coût initial	Généralement plus faible	Généralement plus élevé	Intermédiaire à déterminer
Entretien	Relativement fréquent	Moins fréquent mais spécialisé	Variable selon conception
Complexité d'exécution	Faible à moyenne	Moyenne à élevée	Élevée

Durabilité potentielle	Bonne si bien dimensionnée	Très bonne si bien conçue	Potentiellement très bonne
Besoin de validation complémentaire	Oui	Oui	Oui, particulièrement aux transitions
Adaptation aux sites étudiés	Oui, selon le diagnostic	Oui, surtout zones fortement sollicitées	Oui, notamment aux intersections

Source : élaboration des auteurs à partir des résultats du diagnostic.

13. Discussion élargie : durabilité, coût du cycle de vie et pertinence de la chaussée hybride à Kinshasa

La comparaison entre chaussée souple, chaussée rigide et chaussée hybride ne peut être fondée uniquement sur la résistance mécanique initiale ou sur le coût de construction. La durabilité d'une infrastructure routière dépend d'un ensemble de facteurs comprenant la qualité du support, le drainage, les matériaux, le dimensionnement, la qualité d'exécution, les charges de trafic et la maintenance.

Dans cette perspective, la chaussée hybride présente un intérêt particulier pour les infrastructures urbaines comportant des zones de sollicitations très différentes. Le principe consiste à conserver une structure souple sur les sections courantes et à renforcer ou remplacer par du béton les secteurs soumis aux sollicitations les plus sévères, notamment les intersections, les zones de freinage, les zones d'arrêt et les secteurs fortement fréquentés par les poids lourds.

L'avantage potentiel de cette stratégie réside dans la concentration du renforcement structural là où il est techniquement le plus nécessaire. Elle peut ainsi éviter de reconstruire intégralement un axe routier lorsque les dégradations sont principalement localisées. Cependant, cette approche présente également des exigences particulières : conception correcte des transitions, maîtrise des joints, drainage continu, compatibilité des niveaux altimétriques et contrôle rigoureux de l'exécution.

Du point de vue économique, la solution hybride ne doit pas être déclarée systématiquement moins coûteuse que les solutions conventionnelles. Son intérêt doit être démontré au moyen d'une analyse en coût du cycle de vie intégrant au minimum le coût initial, les coûts d'entretien, les coûts de réhabilitation, la durée de service et les coûts indirects associés aux perturbations du trafic.

Ainsi, la présente étude ne prétend pas démontrer que la chaussée hybride est systématiquement la solution économiquement optimale. Elle met plutôt en évidence son potentiel et propose une méthode permettant de la comparer objectivement aux solutions entièrement souples ou entièrement rigides.

La validation définitive nécessiterait une étude de dimensionnement détaillée, un devis quantitatif et estimatif pour chaque variante, une analyse en coût du cycle de vie ainsi qu'un suivi de performance après mise en service. Ces investigations constituent une perspective importante pour les futurs travaux consacrés aux infrastructures routières de Kinshasa.

14. Nouvelle perspective scientifique proposée

Nous proposons une solution plus ambitieuse :

« Vers une stratégie de chaussées adaptées aux sollicitations urbaines de Kinshasa »

Au lieu d'opposer systématiquement :

- **Chaussée souple VS chaussée rigide**

Nous pouvons proposer :

- **Chaussée adaptée à la sollicitation**

Avec trois niveaux :

- **Type I — Chaussée souple**

Pour :

- *trafic faible à modéré ;*
- *sections courantes ;*
- *sols convenablement portants ;*
- *drainage maîtrisé.*

➤ **Type II — Chaussée souple renforcée**

Pour :

- *trafic important ;*
- *poids lourds ;*
- *intersections modérément sollicitées ;*
- *possibilité de renforcement structurel.*

➤ **Type III — Chaussée rigide**

Pour :

- *trafic lourd ;*
- *intersections ;*
- *arrêts et stations ;*
- *zones de freinage ;*
- *zones fortement sollicitées ;*
- *secteurs où les déformations récurrentes des chaussées souples deviennent économiquement pénalisantes.*

15. Conclusion

L'analyse du boulevard Lumumba aux entrées Abattoir, Mokali et Mikondo montre que les dégradations prématurées des chaussées résultent d'une combinaison de facteurs structurels, hydrauliques, mécaniques et liés à la qualité d'exécution.

Les observations mettent en évidence des défauts d'épaisseur, des problèmes de compactage, des faiblesses de fondation, des phénomènes de vieillissement et de désenrobage ainsi que des dysfonctionnements du drainage.

Les données de trafic montrent par ailleurs que les trois sites ne sont pas soumis aux mêmes niveaux de sollicitation. Petro-Congo présente le trafic journalier le plus élevé, tandis que Mokali se distingue par la proportion la plus importante de poids lourds.

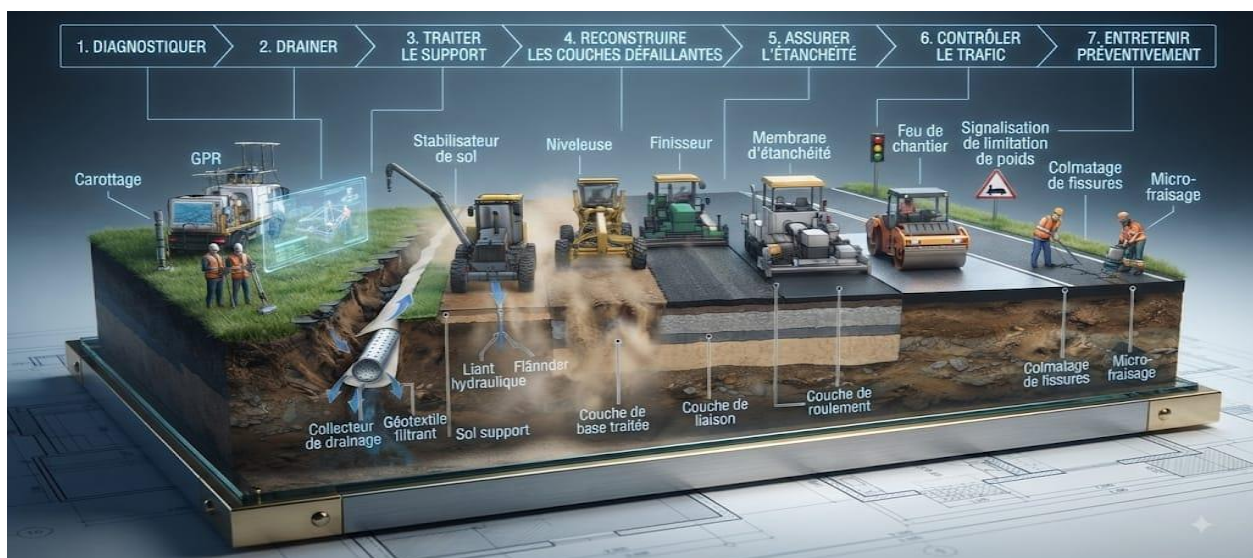
Le résultat scientifique majeur de cette étude est toutefois ailleurs : le trafic devient particulièrement destructeur lorsque la structure routière est associée à un drainage défaillant et à un support insuffisamment performant.

L'eau apparaît ainsi comme un facteur transversal capable d'amplifier les faiblesses préexistantes de la chaussée.

Le cas de Mikondo est particulièrement révélateur puisque la différence de niveau d'environ 39 cm entre la chaussée et les caniveaux empêche l'évacuation efficace des eaux superficielles.

Ainsi, la stratégie de réhabilitation doit abandonner l'approche consistant à « remettre de l'enrobé » sans diagnostic préalable.

La solution durable doit suivre une séquence logique :



Cette approche permettrait d'améliorer la durée de vie des infrastructures routières et de réduire les dépenses répétitives liées aux réparations ponctuelles.

La tendance récente vers les chaussées en béton dans plusieurs projets de voirie de la capitale confirme la pertinence de cette solution.

Toutefois, le recours au béton ne doit pas être considéré comme une solution automatique. La durabilité d'une chaussée rigide dépend, tout comme celle d'une chaussée souple, de la qualité du sol support, du drainage, du dimensionnement, des matériaux et de l'exécution.

Pour les trois sites étudiés, une stratégie différenciée apparaît plus pertinente : réhabilitation souple renforcée à certains endroits, chaussée rigide dans les secteurs soumis à de fortes sollicitations, et éventuellement solution hybride associant chaussée souple et dalles en béton aux intersections.

Les solutions proposées ne doivent toutefois pas être considérées comme des prescriptions définitives indépendamment d'une étude de dimensionnement détaillée. Leur validation devra intégrer les paramètres de trafic, de charges lourdes, de portance, d'épaisseur des couches, de drainage, de matériaux et de conditions d'exécution. Une comparaison technico-économique fondée sur le coût du cycle de vie devra également être réalisée avant toute généralisation de la chaussée rigide ou hybride.

Dans cette perspective, la chaussée hybride apparaît moins comme une solution universelle que comme une stratégie d'adaptation aux sollicitations. Son intérêt réside dans la possibilité de réserver le béton aux secteurs présentant les sollicitations mécaniques les plus sévères, tout en conservant une chaussée souple sur les sections courantes. Cette hypothèse devra néanmoins être confirmée par des études de dimensionnement, des analyses économiques et un suivi à long terme des performances des sections réhabilitées.

Ces éléments renforcent la portée scientifique de l'étude : le choix d'une technique routière à Kinshasa doit être fondé sur une approche multicritère intégrant simultanément la structure, le trafic, le sol, l'eau, le coût et la durabilité.

Cette dernière approche pourrait constituer l'une des principales perspectives de recherche de l'article :

« À Kinshasa, la question n'est peut-être plus de choisir entre béton et bitume, mais de déterminer où, quand et pourquoi utiliser chacun des deux systèmes. »

REFERENCES

- [1] BALBA, D. (2006). Évaluation en laboratoire des différents systèmes anti-remontées de fissures pour le resurfage des chaussées souples. Thèse, Université de Québec.
- [2] BASSENE, J. & GUEYE, M. (2007). Réhabilitation et entretien des chaussées flexibles par le recyclage à chaud des matériaux bitumineux in situ. École Supérieure Polytechnique, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.
- [3] BCEOM-CEBTP (1972). Manuel sur les routes dans les zones tropicales et désertiques. Tome 3 : Entretien et exploitation de la route. Paris.
- [4] BESSAHRAOUI, S. & BENTRIA, S. (2015–2016). Les fissures des chaussées souples. Mémoire, Université Kasdi Merbah–Ouargla, Algérie. Le mémoire source cite notamment ce travail pour la description des structures de chaussées souples et des phénomènes de fissuration.
- [5] CEBTP. Guide de dimensionnement des chaussées dans les pays tropicaux. Centre Expérimental de Recherches et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics.
- [6] CISSE, M. & TOURE, A. H. (2003). Contribution à la mise en œuvre d'une formulation optimale de béton bitumineux : application aux concassés de basalte de Diack. Projet de fin d'études, École Supérieure Polytechnique.
- [7] CROTTAZ, R. & PIGOIS, M. L. (1978). Construction de la superstructure routière. Tome I : conception générale, dimensionnement, matériaux pierreux et stabilisations. Laboratoire de recherche des voies de circulation, École Polytechnique Fédérale de Lausanne.

- [8] CTTTP (1995). L'entretien routier : guide pratique. Centre de Techniques et de Planification des Travaux Publics.
- [9] DIOM, S. Notes de cours de routes.
- [10] DIOP, B. M. (2004). Analyse critique de la stratégie d'entretien du réseau routier revêtu au Sénégal. Projet de fin d'études, École Supérieure Polytechnique, juillet 2004.
- [11] DIOUF, O. & GUEYE, K. (2005). Étude du comportement et de dégradation des chaussées en béton bitumineux : cas des dentelles de rive. Projet de fin d'études, École Supérieure Polytechnique.
- [12] GUEYE, C. & SOW, M. D. (1980). Conception des voies urbaines revêtues au Sénégal. Mémoire de fin d'études, ENSUT, Dakar.
- [13] LCPC (1994). Conception et dimensionnement des structures de chaussées. Guide technique LCPC-SETRA.
- [14] LCPC. Catalogue des dégradations de surface des chaussées. Méthode d'essai n°52.
- [15] LCPC. Exécution et analyse des carottages de chaussées. Méthode d'essai n°43.
- [16] M KOMENDE KOMENDE ALUNG. (2018). Recherche sur les dégradations cycliques précoces des chaussées souples aux intersections sur le boulevard Lumumba, district de la Tshangu, Kinshasa. Travail de fin d'études, INBTP, Kinshasa.
- [17] MTP (2003). Guide de gestion de l'entretien des chemins communaux. Volume II.
- [18] MUZYUMBA, P. (2017–2018). Cours de Routes. INBTP, Kinshasa.
- [19] Notes de cours et sources institutionnelles utilisées dans l'étude
- [20] PHANZU, E. (2015–2016). Cours de Routes. INBTP, Kinshasa.
- [21] SETRA (1996). L'entretien courant des chaussées : guide pratique. Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes.
- [22] SETRA (2004). Retraitement des chaussées et recyclage des matériaux bitumineux de chaussées. Guide technique.
- [23] STAC (2007). État de la surface des chaussées aéronautiques : catalogue des dégradations. Avril 2007.
- [24] STBA (1999). Techniques anti-remontées des fissures : guide d'emploi en chaussées aéronautiques. Avril 1999.
- [25] YODER, E. J. & WITCZAK, M. W. Principles of Pavement Design. Wiley.