Afrique SCIENCE *12(4) (2016) 155 - 172*
ISSN 1813-548X, http://www.afriquescience.info

Intégration de l'analyse économique dans la gestion des routes en Afrique subsaharienne

Bienvenu Thierry MBOG TOWADA* et Gabriel J. ASSAF

Département de Génie de la Construction, Université du Québec, École de Technologie Supérieure, 1100, Notre-Dame Ouest, Montréal, Québec, Canada H3C 1K3

* Correspondance, courriel : *thierrymbog@yahoo.fr*

Résumé

D'après la Banque Mondiale, les pays d'Afrique subsaharienne sont à la traîne par rapport à ceux du monde en développement en ce qui concerne l'analyse économique dans la gestion des infrastructures routières. Ce constat nous amène dans cet article à intégrer une analyse économique dans la gestion des routes dans ces pays. Le but recherché est de permettre aux gestionnaires de bien comprendre les enjeux, d'établir les solutions les plus appropriées et de faire les interventions optimales. Tout ceci dans le but de maximiser le retour sur l'investissement en vue d'augmenter les gains en matière de croissance économique. Pour illustrer l'approche proposée, une étude de projet est effectuée. Cette étude vise à comparer plusieurs options d'intervention retenue sur un tronçon de près de 120 km de la route RN2 au Sénégal selon une approche qui repose sur une double analyse : structurale et économique en s'appuyant sur l'outil HDM-4 de l'AIPCR (Association Mondiale des Routes) pour le choix de la solution dite optimale.

Mots-clés : *croissance économique, analyse économique, réhabilitation des routes, Afrique subsaharienne.*

Abstract

Integration of economic analysis in the management of roads in Sub-Saharan Africa

According to the World Bank, sub-Saharan African (SSA) countries are lagging behind the developing world in terms of economic analysis in the management of road infrastructure. This paper presents an integration of economic analysis in the management of roads in SSA. The objective is to help managers to understand this issue, establish the most appropriate solutions and make optimal interventions. This is in order to maximize the return on investment for increasing the gains in economic growth. To illustrate the proposed approach, a project study is performed. This study aims to compare several intervention options chosen on RN2 road in Senegal over distance of 120 km with an approach based on a dual analysis : structural and economic analysis based on the tool HDM-4 PIARC (World Road Association) to choose the optimal solution.

Keywords : *economic growth, economic analysis, rehabilitation of roads, sub-Saharan Africa.*

1. Introduction

1-1. Problématique

La géographie économique difficile de l'Afrique subsaharienne représente un défi majeur pour le développement des routes dans la région, car la plupart de ces pays n'intègrent pas l'analyse économique dans la gestion de leurs infrastructures routières. Cette situation amène les gestionnaires de la route à choisir des solutions qui s'avèrent très couteuses pour l'administration et les usagers de la route et qui ont un impact négatif sur la croissance économique. C'est dans ce contexte que cet article propose comme objectif, une intégration de l'analyse économique dans chaque projet afin de permettre aux gestionnaires de choisir la solution à long terme la moins coûteuse qui permettra d'atteindre sa durée de vie attendue. Celle-ci permettra la construction de nouvelles routes, leur entretien ainsi que la réhabilitation des infrastructures existantes ou des nouvelles fraichement aménagées, le tout à des prix raisonnables afin d'augmenter les gains en matière de croissance économique.

1-2. État de l'art

1-2-1. Revue de la littérature

Peu d'études et d'articles font état de l'analyse économique dans la gestion des routes en Afrique subsaharienne d'où la nécessité d'en faire l'intégration dans cet article. L'analyse économique a pour philosophie d'être un outil d'aide à la décision, d'avoir les résultats et non décisions et d'être un processus analytique rigoureux et crédible [1]. Contrairement au pays d'Afrique subsaharienne, les pays développés intègrent l'analyse économique dans la gestion des infrastructures routières, ce qui leurs procurent les bénéfices suivant [2] :

- ✓ Une meilleure information pour les décisions;
- ✓ Les stratégies de réhabilitation améliorées;
- ✓ Une intégration des coûts d'exploitation des véhicules;
- ✓ Un soutien pour argumenter les options;
- ✓ La réduction au minimum des coûts à long terme;
- ✓ L'augmentation au maximum des bénéfices à long terme;
- ✓ Le choix de la meilleure solution pour un projet routier.

Les analyses économiques les plus fréquentes sont l'analyse des retombées économiques, avantages-coûts et bénéfices-coûts. Ces analyses permettent aux gestionnaires de bien comprendre les enjeux et de prendre les décisions financières dans l'intérêt du projet. Sans aller en profondeur dans chacune de ces analyses, voici les définitions des trois principales analyses économiques. L'analyse des retombées économiques consiste à mesurer l'impact économique de cette dépense sur la création d'emplois, la valeur ajoutée au prix de base, la fiscalité et la parafiscalité [1]. L'analyse avantages-coûts (AAC) est une technique visant à mesurer la valeur d'un projet, d'un programme, d'une politique ou d'une réglementation du point de vue de l'ensemble de la société. Il prend en compte le bien-être des individus pour calculer le bénéfice net qu'en retire la société et sert à déterminer si le projet est viable du point de vue de la société et s'il doit être financé [1]. L'analyse des bénéfices et des coûts et l'analyse de rentabilité financière visent à comparer, sur une base monétaire commune, les projets ou les solutions possibles d'un projet, en mesurant les bénéfices et les coûts économiques occasionnés par chacun d'entre eux, en vue d'établir celui qui sera le plus rentable économiquement [1].

1-2-2. La situation du réseau routier en Afrique subsaharienne

Le réseau routier en Afrique subsaharienne est peu dense que ceux d'autres régions en développement et occupe environ 4,2 km/km^2 de la superficie disponible [3]. Cependant, étant donné le revenu et la population de la région et donc sa capacité à supporter les coûts d'entretien, la densité du réseau routier commence à apparaitre plutôt élevée. Selon les résultats du diagnostic national des infrastructures routières en Afrique subsaharienne, 16 % seulement des 1.8 millions de kilomètres de routes étaient revêtues en 2007 [4]. Dans plusieurs pays (Madagascar, Malawi, Mozambique, Niger), la valeur de l'actif routier dépasse 30 % du produit intérieur brut (PIB), ce qui donne une idée de l'ampleur du problème de l'entretien et de réhabilitation [5]. Face à ce phénomène, il est important de construire une méthodologie adaptée susceptible d'intégrer l'analyse économique dans la gestion des routes en Afrique subsaharienne afin de déboucher sur des résultats originaux.

2. Méthodologie

2-1. Méthodologie d'intégration de l'analyse économique dans la gestion des routes en Afrique subsaharienne

Pour réhabiliter une chaussée en assurant un faible coût de travaux tout au long du cycle de vie de la route, il faut effectuer, avant le début des travaux, une analyse économique et trouver les solutions appropriées. Cette méthodologie s'articule comme suit :

I. évaluer les défauts de la route à réhabiliter et sectionner la route en zones homogènes de trafic, topographie, état de la route et profil en travers type;
II. choisir et définir les différentes options de réhabilitation de la route;
III. ressortir le prix unitaire du km de route de chaque option à partir des prix unitaire de l'estimation des travaux;
IV. effectuer à l'aide de l'outil HDM-4, une analyse économique, une analyse de sensibilité avec la méthode essai-erreur et définir les scénarios examinés ici qui font varier les paramètres suivants, pris individuellement :
    - Coûts d'investissement des travaux (+ / -25 %);
    - Croissance du trafic normal (+ / -70 %);
    - TMJA du trafic normal post-travaux (+ / -25 %);
V. dégager les interventions qui seront retenues en choisissant la solution qui a le plus grand bénéfice actualisé (VPN) et le plus grand taux de rendement interne (TRI) supérieur au taux d'actualisation.

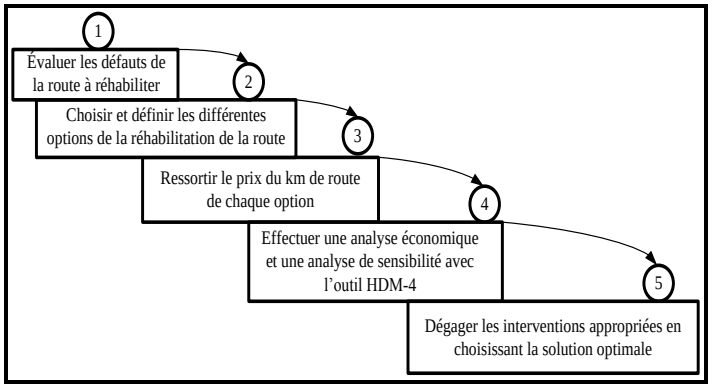

Figure 1 : *Arborescence structurée pour l'étude économique d'une réhabilitation*

3. Résultats et discussion

3-1. Étude des projets

L'analyse économique devrait être utilisée pour la conception de n'importe quel projet de construction ou de réhabilitation. L'exemple suivant fait allusion à deux études expérimentales qui ont été effectuées dans deux pays d'Afrique subsaharienne à savoir le Sénégal en Afrique de l'ouest et le Cameroun en Afrique centrale. Pour réaliser ces études, nous avons utilisé le logiciel HDM-4 [6] pour permettre d'évaluer les choix d'investissement et aider les gestionnaires à prévoir les bénéfices économiques des investissements concernant ces infrastructures et comparer les bénéfices de chaque option. Pour justifier le choix de la méthodologie de réhabilitation des chaussées, une comparaison a été effectuée entre diverses options retenues pour ce projet de réhabilitation à l'option de base (option de non intervention majeure). Dans le cadre de ce travail, les différentes étapes du concept de l'analyse du cycle de vie des projets en utilisant le logiciel HDM-4 se résument dans le ***Tableau 1*** suivant qui présente les différents modèles utilisés. HDM-4 un outil flexible qui permet de modéliser la détérioration des chaussées dans le temps selon les interventions qui y sont appliquées, d'évaluer la viabilité économique de diverses alternatives de réhabilitation et les stratégies d'entretien des chaussées à moyen et long termes [7].

Il a été développé par la Banque Mondiale et diverses autres organisations sous l'égide de l'Association Internationale Permanente des Congrès de la Route (AIPCR) par l'équipe de l'Université de Birmingham. Il a permis d'utiliser les modèles empiriques basés sur des expériences réelles réalisées sur la route RN2 au Sénégal et la RN8 au Cameroun pour simuler l'évolution du comportement des chaussées selon diverses options de réhabilitation. Il a aussi permis d'effectuer une analyse de sensibilité pour voir l'effet de l'écart entre les données fournies au système ainsi que des hypothèses retenues, par rapport aux données réelles. De mesurer la robustesse des recommandations qui demeurent sujettes aux estimations des paramètres d'entrées significatifs, et cela par rapport à chacun des paramètres, tels le coût d'investissement des travaux, la croissance du trafic normal des véhicules et le trafic moyen journalier annuel (TJMA) post-travaux. Le ***Tableau 1*** donne le processus de l'analyse du cycle de vie des projets en HDM-4.

Tableau 1 : *Processus de l'analyse du cycle de vie des projets en HDM-4*

INPUTS	MODÈLES	OUTPUTS
Type de véhicule, volume, taux d'accroissement, chargement, paramètres physiques, terrain, précipitation, géométrie de la chaussée, coûts unitaires	Début du cycle d'analyse	
Type de chaussée, capacité portante, âge, condition, ECAS	Détérioration de la route	-Fissures, arrachement, nids de poules, ornières (chaussée); propriétés des matériaux, uni (IRI)
Géométrie de la route et IRI, vitesse de véhicule, paramètres de congestion, coûts unitaires	Effets aux usagers de la route	-Carburant, huile, pneu, entretien, coûts fixes, vitesse, temps de voyage, coûts aux usagers routiers
Travaux routiers et stratégies	Effets des travaux	-Fissures, arrachement, nids de poule, ornière, chaussée, qualité de travaux, coûts à l'administration
Géométrie de la route, texture, caractéristiques de véhicules	Effets socio-environnementaux	-Niveaux des émissions, bilan énergétique, nombre d'accidents
Développement, accident, bénéfices et coûts exogènes, environnement	Analyse économique	-Coûts et bénéfices y compris les bénéfices exogènes
	Fin du cycle d'analyse	-Coûts totaux des composants; VPN et TRI par section

3-1-1. Étude de la route RN2 au Sénégal

3-1-1-1. Données du projet

Dans le cadre de la mise en œuvre d'un nouveau programme d'assistance étrangère, le gouvernement des États-Unis d'Amérique a créé le Millennium Challenge Corporation (MCC), le 23 janvier 2004. La mission du MCC consiste à réduire la pauvreté en appuyant la croissance économique durable et transformative dans les pays en voie de développement. Le 16 septembre 2009, le MCC et le gouvernement du Sénégal ont signé un accord de subvention de cinq (5) ans d'un montant de 540 millions de dollars US, pour financer un programme conçu pour réduire la pauvreté à travers des interventions ciblées portant sur l'agriculture, le transport et les infrastructures sociales. C'est ainsi que pour l'exécution de ce compact, le Millennium Challenge Account - Sénégal (MCA-Sénégal) a été créé pour mettre en œuvre les travaux de réhabilitation de la route RN2 entre Richard Toll et N'Dioum d'une linaire total de 120 km. Les principaux acteurs de ce projet sont :

- Le Millennium Challenge Account - Sénégal (MCA-Sénégal) est le Maître d'Ouvrage;
- L'Agence des Travaux et de Gestion des Routes (AGEROUTE) agit comme Assistant du Maître d'Ouvrage;
- Le Consultant est identifié comme le Bureau d'Études CIRA - Ingénieurs Conseils;
- L'entreprise qui exécute les travaux et le groupement CSE / SOSETER;
- Le financement est assuré par le Millennium Challenge Corporation (MCC).

3-1-1-2. Option retenue pour l'appel d'offres par le bureau d'études

L'option proposée par le bureau d'études est l'option 1. Elle consiste à un élargissement de la chaussée existante par un décaissement de 40 cm de matériaux puis un apport de 15 cm de nouveaux matériaux de caractéristique d'une couche de fondation, la mise en œuvre d'une couche de base de 20 cm de latérite-ciment sur la largeur de la plateforme et la mise en œuvre d'un revêtement en béton bitumineux de 5 cm. Dans cette option, le bureau d'études a utilisé la méthode CEBTP [8] combinaison des indices de qualité avec le trafic, pour déterminer une structure de renforcement. Les vérifications ont été faites par le logiciel Alizé [9] pour s'assurer que les contraintes ainsi que les déformations enregistrées sont inférieures aux limites admissibles. Un entretien périodique est prévu au moins tous les 10 ans dépendamment de la dégradation de la chaussée.

3-1-1-3. Option résultant de l'application de l'approche proposée dans cet article

Dans cet article trois options ont été proposées en dehors de l'option de base (option de non intervention majeure) pour l'application de l'approche proposée à savoir l'option 2, 3 et 4. Rappelons que l'option 1 est celle du bureau d'études laquelle fut détaillée à la section précédente. En ce qui concerne l'option de base, elle consiste à faire un entretien courant durant toute la durée de vie de la chaussée en réalisant les réparations mineures telles que la réparation des rives, le scellement des fissures et le rapiéçage des nids de poules sur la chaussée. L'option 2 quant à elle consiste à pulvériser l'enrobé sur une épaisseur de l'ordre de 35 cm, valoriser les matériaux retirés sur la route avec un ajout de 2,5 % à 3 % de ciment sur 30 cm avec ou sans correction granulométrique pour réduire la teneur des fines au besoin par l'apport de la pierre nette. Ceci aura pour conséquence de stabiliser 30 cm de couche de base afin d'augmenter la résistance structurale de la route. Le CBR amélioré à 95 % OPM doit être supérieur ou égal à 160 pour la couche de base et le module entre 1000 et 2000 Mpa max [10]. Un nouveau revêtement de 5 cm de béton bitumineux est posé à la fin. Un entretien périodique est effectué tous les 10 ans dès l'apparition de dégradation sur la surface de la chaussée. L'option 3 consiste à maintenir la structure existante comme fondation, puis de mettre une couche de 20 cm de béton de ciment (dalles courtes goujonnées) comme revêtement. Selon [11] du centre de recherche routière

en Belgique, cette opération peut jusqu'à tripler la durée de vie de la route à cause des lois de comportement de béton et son entretien sera réduit selon les observations rapportées. Enfin l'option 4, consiste à enlever 5 cm d'enrobés au maximum, le recycler, le rajeunir et le remettre sur une autre route de classe secondaire. Il s'agira sur la route principale de réparer les trous, de corriger le profil et de faire un rechargement d'enrobé neuf de 5 cm. Un entretien périodique qui va consister à procéder au renouvellement du revêtement en béton bitumineux selon une épaisseur qui dépendra du trafic ou tous les 10 ans dès l'apparition de dégradations prononcées sur la surface de la chaussée.

3-1-1-4. Données d'identification du projet avant la réhabilitation

Le ***Tableau 2*** ci-dessous fournit les données d'identification du projet avant la réhabilitation, à savoir par exemple que la longueur est de 120 km, la largeur est de 4 à 6 m, le nombre de voies est de 2 et l'IRI moyen est de 2,9 m/km. Cet IRI a été mesuré avec un analyseur du profil en long (APL) et étalonné par huit sections de 200 m à la mire et au niveau. L'exactitude et la répétabilité sur l'APL sont de moins de 10 %.

Tableau 2 : *Données d'identification du projet avant la réhabilitation (RN2)*

Identification du projet	RN2
Longueur du projet	120 km
Largeur de la chaussée sur tout le projet	4 à 6 m
Nombre de voies	2,00
Nombre de trottoirs	2 x 1,00 m
TJMA (2009), véhicule par jour	876
Sens du trafic	2 sens
Vitesse limite	80 km / h
Climat de type sahélien	9 à 10 mois (Octobre-Juillet) saison sèche
	2 à 3 mois (fin Juillet-début Octobre) saison pluvieuse
Pluviométrie moyenne annuelle	265 mm
Pluviométrie maximale journalière	47 mm
IRI moyen	2.9
Épaisseur des couches de la chaussée existante	Fondation : 400 mm
	Base : 200 mm
	Revêtement : 50 mm
Capacité de portance du sol, CBR	Chaussée existant : CBR 40
	Sol de plateforme : CBR 21

3-1-1-5. Données d'identification du projet après la réhabilitation

Le ***Tableau 3***, fournit quelques données du projet après la réhabilitation, par exemple que la largeur moyenne en section courante est de 7,20 m et celle en agglomération est de 11 m et l'IRI moyen est de 1,5 m/km. L'IRI a été mesuré avec un analyseur du profil en long (APL) et étalonné par huit sections de 200 m à la mire et au niveau. L'exactitude et la répétabilité sur l'APL sont de moins de 10 %.

Tableau 3 : *Données d'identification du projet après la réhabilitation (RN2)*

Caractéristique de la nouvelle route à aménager et à réhabiliter	RN2
Vitesse de référence	80 km / h et (60 km / h en agglomération)
Pente minimale des talus en remblais	3 / 2 (3 horizontale, 2 verticale)
Pente minimale des talus en déblais	1 / 2 (1 horizontale, 2 verticale)
Charge maximale à l'essieu	13 t (tonnes)
Mise hors d'eau	obligatoire
Largeur de la chaussée en section courante et en agglomération	2 x 3,60 m = 7,20 m
Largeur des accotements	Section courante : 2 x 1,50 m = 3 m
	En agglomération : 2 x 2,00 m = 4 m
Largeur de la chaussée dans l'agglomération de N'Dioum	4 x 2,75 m = 11 m
Largeur des accotements dans l'agglomération de N'Dioum	2 x 1,75 m = 3,5 m
IRI post-travaux	1,5 m/km
Longueur de la chaussée	Section courante : 110,5 km
	En agglomération : 6,45 km
Longueur de la chaussée dans l'agglomération de N'Dioum	3,05 km
Taux de croissance	Trafic normal : 3,5 % - 4,55 %
	Trafic induit : 30 % (15 % grâce au projet routier RN2 et 15 % grâce à d'autres projets dans la zone du projet.
Période d'analyse du projet	20 ans
Durée des travaux de réhabilitation du projet	24 mois
Date du début des travaux de réhabilitation du projet	13 Janvier 2013
Date de mise en œuvre du projet	3 Janvier 2015

3-1-1-6. Les paramètres de l'analyse de sensibilité

Une analyse de sensibilité a été réalisée pour examiner la robustesse des conclusions de l'étude : le coût d'investissement des travaux, la croissance du trafic normal des véhicules et le trafic moyen journalier annuel (TJMA) post-travaux. Pour le choix des paramètres, la méthode utilisée a été la méthode essai-erreur qui est caractérisée par des essais divers qui sont continués jusqu'au succès de la recherche. Les scénarios examinés ici font varier les paramètres suivants, pris individuellement :

- Coûts d'investissement des travaux (+ / - 25 %);
- Croissance du trafic normal (+ / - 70 %);
- TMJA du trafic normal post-travaux (+ / - 25 %).

3-1-1-7. Les différents défauts et les causes de détériorations du projet de la RN2

Notre projet a été divisé en 11 sections dépendamment des dégradations et des profils en travers types de chaque section. Le ***Tableau 4*** tabule les différentes sections, leurs dégradations ainsi que leurs profils en travers type.

Les profils en travers types PT1, PT2 et PT3 correspondent aux cas ci-après :

- ✓ PT1 : Profil en travers à deux voies en rase campagne (chaussée : 2 x 3,60 m et accotements : 2 x 1,50 m) ;
- ✓ PT2 : Profil en travers à deux voies en agglomération (chaussée : 2 x 3,60 m et accotements : 2 x 2,00 m) ;
- ✓ PT3 : Profil en travers en 4 voies en agglomération (Chaussée : 4 x 2,75 m et accotements : 2 x 1,75 m).

Tableau 4 : *Les différentes sections de la route, leurs dégradations et leurs profils en travers type*

PKi	PKf	Profil en travers type	section	Dégradations
0 + 000	29 + 350	PT1	1	Bourrelets, affaissement, flaches, fissures longitudinales, faïençages fins à mailles larges sans arrachements, faïençages, fissures transversales, âge (plumage ponctuel), épaufrures de rive.
29 + 350	30 + 550	PT2	2	Affaissement, fissures longitudinales, faïençages, pelade, âge (plumage ponctuel), épaufrures de rive, fissures transversales, désenrobage, peignage, plumage.
30 + 550	48 + 750	PT1	3	Orniérage, bourrelets, affaissement, flaches, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, désenrobage, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.
48 + 750	50 + 200	PT2	4	Orniérage, bourrelets, affaissement, flaches, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, désenrobage, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.
50 + 200	62 + 550	PT1	5	Orniérage, bourrelets, affaissement, flaches, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, désenrobage, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.
62 + 550	64 + 750	PT2	6	Bourrelets, affaissement, flaches, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.
64 + 750	89 + 050	PT1	7	Bourrelets, affaissement, flaches, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.
89 + 050	90 + 650	PT2	8	Bourrelets, affaissement, flaches, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.
90 + 650	111 + 700	PT1	9	Affaissement, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, désenrobage, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.
111 + 700	114 + 750	PT3	10	Affaissement, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, désenrobage, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.
114 + 750	120 + 000	PT1	11	Affaissement, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, désenrobage, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.

3-1-1-8. Les hypothèses prises en compte lors de notre simulation sur HDM-4

Un appel d'offre pour effectuer les travaux selon l'option 1 proposée par le bureau d'étude a permis de sélectionner un entrepreneur général. Les niveaux de prix pratiqués au Sénégal et spécifiquement dans la zone du projet ont également permis au consultant d'arrêter les prix unitaires qui seront utilisés dans le cadre de l'estimation des travaux. Les coûts de la réhabilitation proposée ont été estimés à partir des quantités de l'avant métré détaillé des travaux sortis du logiciel de conception du projet (Piste) et des plans présentés dans le dossier des pièces graphiques du dossier d'appel d'offres (APD). Les différents aménagements des autres options retenues dans cet article ont été évalués d'abord quantitativement, ensuite nous avons appliqué les prix unitaire de l'entrepreneur retenu pour le projet y compris pour le béton pour aboutir à un coût global pour l'aménagement de chaque option :

- ✓ Option 1 (option du bureau d'étude) : le prix du km de route est de 601 682 $;
- ✓ Option 2 (option de pulvo-stabilisation / correction granulométrique et ressurfaçage) : le prix du km de route est de 592 170 $;
- ✓ Option 3 (option béton de ciment de 20 cm) : le prix du km de route est de 718 952 $;
- ✓ Option 4 (option resurfaçage direct en enrobé). Épaisseur : 5 cm : le prix du km de route est de 464 446 $.

3-1-2. Étude de la route RN8 au Cameroun

3-1-2-1. Données du projet

Le présent projet vise à améliorer le niveau de service de la Route Nationale (RN8) entre Kumba et Mamfe. Cette route constitue un prolongement du corridor multinational Bamenda-Mamfe-Ekok-frontière du Nigeria en cours d'exécution sur financement de la Banque. Les travaux routiers prévus dans le cadre du projet portent sur un linéaire de route de 150,87 km. Le coût total du projet est estimé à 124,11 millions de dollars US La contribution du FAD (Fond Africain de Développement) est estimée à 54,07 millions de dollars US. Les autres cofinanciers sont la Banque de Développement de l'Afrique Centrale (BDEAC) (36,19 millions de dollars US) et la République du Cameroun (33,85 millions de dollars US). Les principaux acteurs de ce projet sont :

- Le Ministère des travaux public du Cameroun est le Maître d'Ouvrage;
- Le Consultant est le Bureau d'Études CIMA International - Ingénieurs Conseils;
- L'entreprise qui exécute les travaux est CCCC (China Communications Construction Company);
- Le financement est assuré par la FAD, la BDEAC et la République du Cameroun.

3-1-2-2. Option retenue pour l'appel d'offres par le bureau d'études

L'option proposée par le bureau d'études est l'option 1. Elle consiste à une reconstitution d'une nouvelle couche de fondation obtenue par recyclage de la chaussée existante sur une profondeur de 20 cm, mise en place d'une couche de base en grave concassée de 15 cm d'épaisseur et mise en œuvre d'un revêtement en béton bitumineux de 5 cm. Un entretien périodique est prévu au moins tous les 10 ans dépendamment de la dégradation de la chaussée.

3-1-2-3. Option résultant de l'application de l'approche proposée dans cet article

Dans cet article deux options ont été proposées en dehors de l'option de base (option de non intervention majeure) pour l'application de l'approche proposée à savoir l'option 2 et 3. Rappelons que l'option 1 est celle du bureau d'études laquelle fut détaillée à la section précédente. En ce qui concerne l'option de base, elle consiste à

faire un entretien courant durant toute la durée de vie de la chaussée en réalisant les réparations mineures telles que la réparation des rives, le scellement des fissures et le rapiéçage des nids de poules sur la chaussée. L'option 2 consiste à enlever 5 cm d'enrobés au maximum, le recycler, le rajeunir et le remettre sur une autre route de classe secondaire. Il s'agira sur la route principale de réparer les trous, de corriger le profil et de faire un rechargement d'enrobé neuf de 5 cm. Un entretien périodique qui va consister à procéder au renouvellement du revêtement en béton bitumineux selon une épaisseur qui dépendra du trafic ou tous les 10 ans dès l'apparition de dégradations prononcées sur la surface de la chaussée. L'option 3 consiste à maintenir la structure existante comme fondation, puis de mettre une couche de 20 cm de béton de ciment (dalles courtes goujonnées) comme revêtement. Selon [11] du centre de recherche routière en Belgique, cette opération peut jusqu'à tripler la durée de vie de la route à cause des lois de comportement de béton et son entretien sera réduit selon les observations rapportées.

3-1-2-4. Données d'identification du projet avant la réhabilitation

Le ***Tableau 5*** ci-dessous fournit les données d'identification du projet avant la réhabilitation, à savoir par exemple que la longueur est de 150,87 km, la largeur est de 7 m, le nombre de voies est de 2 et l'IRI moyen est de 3 m/km. Cet IRI a été mesuré avec un analyseur du profil en long (APL) et étalonné par huit sections de 200 m à la mire et au niveau. L'exactitude et la répétabilité sur l'APL sont de moins de 10 %.

Tableau 5 : *Données d'identification du projet avant la réhabilitation (RN8)*

Identification du projet	RN8
Longueur du projet	150,87 km
Largeur de la chaussée sur tout le projet	7 m
Nombre de voies	2,00
Nombre de trottoirs	2 x 1,50 m
TJMA (2011), Véhicule par jour	1310
Sens du trafic	2 sens
Vitesse limite	80 km / h
Climat de type équatorial	4 mois (Novembre-Février) saison sèche
	8 mois (Mars-Octobre) saison pluvieuse
Pluviométrie moyenne annuelle	Varie entre 2298 et 3400 mm
IRI moyen	3 m / km
Épaisseur des couches de la chaussée existante	Fondation : 400 mm
	Base : 200 mm
	Revêtement : 50 mm

3-1-2-5. Données d'identification du projet après la réhabilitation

Le ***Tableau 6*** ci-dessous fournit les données d'identification du projet avant la réhabilitation, à savoir par exemple que la longueur est de 150,87 km, la largeur est de 7 m, le nombre de voies est de 2 et l'IRI moyen est de 1,5 m/km. Cet IRI a été mesuré avec un analyseur du profil en long (APL) et étalonné par huit sections de 200 m à la mire et au niveau. L'exactitude et la répétabilité sur l'APL sont de moins de 10 %.

Tableau 6 : *Données d'identification du projet après la réhabilitation (RN8)*

Caractéristique de la nouvelle route à aménager et à réhabiliter	RN8
Vitesse de référence	80 km / h
Pente minimale des talus en remblais	3 / 2 (3 horizontale, 2 verticale)
Pente minimale des talus en déblais	1 / 2 (1 horizontale, 2 verticale)
Charge maximale à l'essieu	13 t (tonnes)
Mise hors d'eau	obligatoire
Largeur de la chaussée en section courante et en agglomération	2 x 3,50 m = 7,00 m
Largeur des accotements	Section courante : 2 x 1,50 m = 3 m
	En agglomération : 2 x 2,00 m = 4 m
IRI post-travaux	1,5 m / km
Longueur de la chaussée	150,87 km
Taux de croissance	Trafic normal : 3,5 % - 4,55 %
	Trafic induit : 33 % (18 % grâce au projet routier RN8 et 15 % grâce à
Période d'analyse du projet	20 ans
Durée des travaux de réhabilitation du projet	36 mois
Date du début des travaux de réhabilitation du projet	10 Juillet 2013
Date de mise en œuvre du projet	10 Juillet 2016

3-1-2-6. Les paramètres de l'analyse de sensibilité

Une analyse de sensibilité a été réalisée pour examiner la robustesse des conclusions de l'étude : le coût d'investissement des travaux, la croissance du trafic normal des véhicules et le trafic moyen journalier annuel (TJMA) post-travaux. Pour le choix des paramètres, la méthode utilisée a été la méthode essai-erreur qui est caractérisée par des essais divers qui sont continués jusqu'au succès de la recherche. Les scénarios examinés ici font varier les paramètres suivants, pris individuellement :

- Coûts d'investissement des travaux (+ / - 25 %);
- Croissance du trafic normal (+ / - 70 %);
- TMJA du trafic normal post-travaux (+ / - 25 %).

3-1-2-7. Les différents défauts et les causes de détériorations du projet de la RN8

Notre projet a été divisé en 3 sections dépendamment des dégradations et des profils en travers types de chaque section. Le ***Tableau 7*** tabule les différentes sections, leurs dégradations ainsi que leurs profils en travers type.

Tableau 7 : *Les différentes sections de la route, leurs dégradations et leurs profils en travers type*

PKi	PKf	Profil en travers type	section	Dégradations
0 + 000	54 + 440	PT1	1	Orniérage, bourrelets, affaissement, flaches, fissures longitudinales, faïençages fins à mailles larges sans arrachements, faïençages, réparations, fissures transversales, âge (plumage ponctuel), épaufrures de rive, dénivelé des accotements.
54 + 440	101 + 320	PT1	2	Nid de poule, affaissement, fissures longitudinales, faïençages, pelade, âge (plumage ponctuel), épaufrures de rive, dénivelé des accotements, fissures transversales, désenrobage, peignage, plumage.
101 + 320	150 + 870	PT1	3	Age (plumage ponctuel), orniérage, bourrelets, affaissement, flaches, fissures longitudinales, faïençages, réparations, fissures transversales, nid de poule, désenrobage, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives, dénivelé des accotements.

PT1 : Profil en travers à deux voies (chaussée : 2 x 3,50 m et accotements : 2 x 1,50 m).

3-1-2-8. Les hypothèses prises en compte lors de notre simulation sur HDM-4

Un appel d'offre pour effectuer les travaux selon l'option 1 proposée par le bureau d'études a permis de sélectionner un entrepreneur général. Les niveaux de prix pratiqués au Cameroun et spécifiquement dans la zone du projet ont également permis au consultant d'arrêter les prix unitaires qui seront utilisés dans le cadre de l'estimation des travaux. Les coûts de la réhabilitation proposée ont été estimés à partir des quantités de l'avant métré détaillé des travaux sortis du logiciel de conception du projet (Piste) et des plans présentés dans le dossier des pièces graphiques du dossier d'appel d'offres (APD). Les différents aménagements des autres options retenues dans cet article ont été évalués d'abord quantitativement, ensuite nous avons appliqué les prix unitaire de l'entrepreneur retenu pour le projet y compris pour le béton pour aboutir à un coût global pour l'aménagement de chaque option :

- ✓ Option 1 (option du bureau d'étude) : le prix du km de route est de 822 629 $;
- ✓ Option 2 (option resurfaçage direct en enrobé). Épaisseur 5 cm : le prix du km de route est de 606 180 $;
- ✓ Option 3 (option béton de ciment de 20 cm) : le prix du km de route est de 889 212 $.

3-2. Résultats de l'étude

3-2-1. Présentation et interprétation des résultats de l'étude de la route RN2 au Sénégal

La première évaluation des résultats porte sur l'analyse économique donc l'objectif principale est de minimiser les coûts totaux de transport c'est-à-dire maximiser le bénéfice actualisé (BA). Ensuite, il sera question de l'interprétation des résultats de l'analyse de sensibilité.

3-2-1-1. L'analyse économique

Dans le cadre de cette étude, l'interprétation des résultats de chacune des options a permis de faire la comparaison avec l'option de base. Celle-ci est illustrée dans les ***Tableaux 8, 9, 10 et 11***. Notons que les coûts sont en millions de dollars US.

Tableau 8 : *Option 1 comparée à l'option de base (RN2)*

	Surcoûts à l'administration		Économie du CEV motorisé.	Économie coût du temps véhicule motorisé.	Bénéfice net VPN
	Investissement	Fonctionnement			
Non actualisé	73,29	-0,09	50,00	3,57	-19,63
Actualisé	69,96	1.41	15,07	1,24	-55,07

En ce qui concerne le ***Tableau 8***, Si on avait choisi l'option 1 pour la réhabilitation de ce projet en 2013, la route devrait être réhabilitée pour une durée de 20 ans et tous les 10 ans, on devrait faire un entretien périodique pour la remettre en état. Cela demanderait à l'administration routière de faire un investissement actualisé de l'ordre de 70 millions de dollars US pour réaliser une économie d'exploitation de véhicule (CEV) de l'ordre de 15 millions de dollars US et un bénéfice net actualisé (VPN) de l'ordre de -55 millions de dollars US par rapport à l'option de base.

Tableau 9 : *Option 2 comparée à l'option de base (RN2)*

	Surcoûts à l'administration		Économie du CEV motorisé.	Économie coût du temps véhicule motorisé.	Bénéfice net VPN
	Investissement	Fonctionnement			
Non actualisé	71,06	-0,09	52,23	3,53	-15,21
Actualisé	67,83	1,41	15,53	1,22	-52,49

Dans le ***Tableau 9***, si on avait choisi l'option 2 pour la réhabilitation de ce projet en 2013, la route devrait être réhabilitée pour une durée de 20 ans et tous les 10 ans, on devrait faire un entretien périodique pour la remettre en état. Cela demanderait à l'administration routière de faire un investissement actualisé de l'ordre de 68 millions de dollars US pour réaliser une économie d'exploitation de véhicule (CEV) de l'ordre de 15 millions et demi de dollars US et un bénéfice net actualisé (VPN) de l'ordre de -52,5 millions de dollars US par rapport à l'option de base.

Tableau 10 : *Option 3 comparée à l'option de base (RN2)*

	Surcoûts à l'administration		Économie du CEV motorisé.	Économie coût du temps véhicule motorisé.	Bénéfice net VPN
	Investissement	Fonctionnement			
Non actualisé	86,27	-3,11	269,23	48,98	230,04
Actualisé	82,35	-1,19	96,84	16,24	31,93

Dans le ***Tableau 10***, si on avait choisi l'option 3 pour la réhabilitation de ce projet en 2013, la route devrait être réhabilitée pour une durée de 20 ans et pendant toute cette durée, nous n'aurions pas besoin de faire un entretien de la route. Cela demanderait à l'administration routière de faire un investissement actualisé de

l'ordre de 82 millions de dollars US pour réaliser une économie d'exploitation de véhicule (CEV) de l'ordre de 97 millions de dollars US et un bénéfice net actualisé (VPN) de l'ordre de 32 millions de dollars US par rapport à l'option de base

Tableau 11 : *Option 4 comparée à l'option de base (RN2)*

	Surcoûts à l'administration		Économie du CEV motorisé.	Économie coût du temps véhicule motorisé.	Bénéfice net VPN
	Investissement	Fonctionnement			
Non actualisé	55,73	0,25	50,75	3,27	-1,96
Actualisé	53,20	1,50	15,15	1,13	-38,42

Dans le ***Tableau 11***, si on avait choisi l'option 4 pour l'aménagement et la réhabilitation de ce projet en 2013, la route devrait être réhabilitée pour une durée de 20 ans et tous les 10 ans, on devrait faire un entretien périodique pour la remettre en état. Cela demanderait à l'administration routière de faire un investissement actualisé de l'ordre de 53 millions de dollars US pour réaliser une économie d'exploitation de véhicule (CEV) de l'ordre de 15 millions de dollars US et un bénéfice net actualisé (VPN) de l'ordre de -38 millions de dollars US par rapport à l'option de base. Le rapport de l'analyse économique synthèse a été utilisé pour remplir les ***Tableaux 12, 13 et 14*** qui constituent la base pour interpréter les résultats d'une analyse de sensibilité. Notons que les coûts du bénéfice actualisés sont en millions de dollars US.

Tableau 12 : *Comparaison du Bénéfice actualisé (BA) et du TRI par croissance du trafic (RN2)*

Option d'aménagement et de réhabilitation	Indicateur	Bas	Probable	Haut
Option 1	BA	-59,67	-55,07	-48,46
	TRI	-5,1	-2,2	0,6
Option 2	BA	-57,35	-52,49	-45,36
	TRI	-4,7	-1,7	1,2
Option 3	BA	6,41	31,93	67,82
	TRI	11,0	14,4	17,8
Option 4	BA	-43,06	-38,42	-31,7
	TRI	-3,2	-0,3	2,7

Tableau 13 : *Comparaison du Bénéfice actualisé (BA) et du TRI par coût d'investissement (RN2)*

Option d'aménagement et de réhabilitation	Indicateur	Bas	Probable	Haut
Option 1	BA	-37,58	-55,07	-72,56
	TRI	-0,2	-2,2	-3,8
Option 2	BA	-35,53	-52,49	-69,45
	TRI	0,4	-1,7	-3,3
Option 3	BA	52,51	31,93	11,34
	TRI	18,8	14,4	11,3
Option 4	BA	-25,12	-38,42	-51,72
	TRI	1,9	-0,3	-1,9

Tableau 14 : *Comparaison du Bénéfice actualisé (BA) et du TRI par TJMA (RN2)*

Option d'aménagement et de réhabilitation	Indicateur	Bas	Probable	Haut
Option 1	BA	-59,94	-55,07	-50,42
	TRI	-4,4	-2,2	-0,5
Option 2	BA	-57,18	-52,49	-47,55
	TRI	-4,0	-1,7	0,1
Option 3	BA	3,03	31,93	61,37
	TRI	10,5	14,4	17,8
Option 4	BA	-42,91	-38,42	-33,73
	TRI	-2,5	-0,3	1,6

Dans ces ***Tableaux***, le scénario probable correspond au scénario de base et en comparant les diverses options entre elles, tous les scénarios confirment que c'est l'option 3 qui est la plus rentable avec un bénéfice actualisé (VPN) positif et un taux de rentabilité interne (TRI) positif et supérieur au taux d'actualisation de 10 %. Par contre tous les scénarios de l'option 1, 2 et 4 confirment que notre projet n'est pas rentable avec des bénéfices actualisés (VPN) négatifs et des taux de rentabilité interne (TRI) soit négatifs, soit inférieurs au taux d'actualisation de 10 %.

3-2-2. Présentation et interprétation des résultats de l'étude de la route RN8 au Cameroun

3-2-2-1. L'analyse économique

Dans le cadre de cette étude, l'interprétation des résultats de chacune des options a permis de faire la comparaison avec l'option de base. Cette comparaison est illustrée dans les ***Tableaux 15, 16 et 17.*** Notons que les coûts sont en millions de dollars US.

Dans le ***Tableau 15***, si on avait choisi l'option 1 pour la réhabilitation de ce projet en 2013, la route devrait être réhabilitée pour une durée de 20 ans et tous les 10 ans, on devrait faire un entretien périodique pour la remettre en état. Cela demanderait à l'administration routière de faire un investissement actualisé de l'ordre de 115 millions de dollars US pour réaliser une économie d'exploitation de véhicule (CEV) de l'ordre de 33 millions de dollars US et un bénéfice net actualisé (VPN) de l'ordre de -84 millions de dollars US par rapport à l'option de base.

Tableau 15 : *Option 1 comparée à l'option de base (RN8)*

	Surcoûts à l'administration		Économie du CEV motorisé.	Économie coût du temps véhicule motorisé.	Bénéfice net VPN
	Investissement	Fonctionnement			
Non actualisé	124,11	4,00	109,66	6,37	-12,08
Actualisé	115,34	3,40	33,23	1,86	-83,65

Dans le ***Tableau 16***, si on avait choisi l'option 2 pour la réhabilitation de ce projet en 2013, la route devrait être réhabilitée pour une durée de 20 ans et tous les 10 ans, on devrait faire un entretien périodique pour la remettre en état. Cela demanderait à l'administration routière de faire un investissement actualisé de l'ordre

de 85 millions de dollars US pour réaliser une économie d'exploitation de véhicule (CEV) de l'ordre de 31 millions et demi de dollars US et un bénéfice net actualisé (VPN) de l'ordre de -56 millions de dollars US par rapport à l'option de base.

Tableau 16 : *Option 2 comparée à l'option de base (RN8)*

	Surcoûts à l'administration		Économie du CEV motorisé.	Économie coût du temps véhicule motorisé.	Bénéfice net VPN
	Investissement	Fonctionnement			
Non actualisé	91,45	4,00	98,54	6,35	9,44
Actualisé	84,99	3,40	30,57	1,87	-55,96

Tableau 17 : *Option 3 comparée à l'option de base (RN8)*

	Surcoûts à l'administration		Économie du CEV motorisé.	Économie coût du temps véhicule motorisé	Bénéfice net VPN
	Investissement	Fonctionnement			
Non actualisé	134,16	-1,54	447,94	56,04	371,72
Actualisé	124,68	-0,57	150,69	19,42	46,01

Dans le ***Tableau 17***, si on avait choisi l'option 3 pour la réhabilitation de ce projet en 2013, la route devrait être réhabilitée pour une durée de 20 ans et pendant toute cette durée, nous n'aurions pas besoin de faire un entretien de la route. Cela demanderait à l'administration routière de faire un investissement actualisé de l'ordre de 125 millions de dollars US pour réaliser une économie d'exploitation de véhicule (CEV) de l'ordre de 151 millions de dollars US et un bénéfice net actualisé (VPN) de l'ordre de 46 millions de dollars US par rapport à l'option de base. Le rapport de l'analyse économique synthèse a été utilisé pour remplir les ***Tableaux 18, 19 et 20*** qui constituent la base pour interpréter les résultats d'une analyse de sensibilité. Notons que les coûts du bénéfice actualisés sont en millions de dollars US.

Tableau 18 : *Comparaison du Bénéfice actualisé (BA) et du TRI par croissance du trafic (RN8)*

Option d'aménagement et de réhabilitation	Indicateur	Bas	Probable	Haut
Option 1	BA	-93,57	-83,65	-71,79
	TRI	-3,8	-0,8	1,9
Option 2	BA	-64,55	-55,96	-45,86
	TRI	-2,2	0,8	3,3
Option 3	BA	3,18	46,00	111,53
	TRI	10,3	13,9	17,6

Tableau 19 : *Comparaison du Bénéfice actualisé (BA) et du TRI par coût d'investissement (RN8)*

Option d'aménagement et de réhabilitation	Indicateur	Bas	Probable	Haut
Option 1	BA	-54,81	-83,65	-112,48
	TRI	1,5	-0,8	-2,4
Option 2	BA	-34,71	-55,96	-77,21
	TRI	3,1	0,8	-0,9
Option 3	BA	77,18	46,00	14,84
	TRI	17,9	13,9	11,1

Tableau 20 : *Comparaison du Bénéfice actualisé (BA) et du TRI par TJMA (RN8)*

Option d'aménagement et de réhabilitation	Indicateur	Bas	Probable	Haut
Option 1	BA	-93,65	-83,65	-74,66
	TRI	-3,2	-0,8	0,9
Option 2	BA	-64,81	-55,96	-47,91
	TRI	-1,7	0,8	2,5
Option 3	BA	0,124	46,00	95,26
	TRI	10,0	13,9	17,3

Dans ces ***Tableaux***, le scénario probable correspond au scénario de base et en comparant les diverses options entre elles, tous les scénarios confirment que c'est l'option 3 qui est la plus rentable avec un bénéfice actualisé (VPN) positif et un taux de rentabilité interne (TRI) positif et supérieur ou égal au taux d'actualisation de 10 %. Par contre tous les scénarios de l'option 1 et 2 confirment que notre projet n'est pas rentable avec un bénéfice actualisé (VPN) négatif et des taux de rentabilité interne (TRI) soit négatifs, soit inférieurs au taux d'actualisation de 10 %.

4. Conclusion

L'Afrique subsaharienne accuse un déficit énorme en matière d'infrastructures routières; Pour que ces infrastructures puissent soutenir la croissance économique, l'intégration régionale et contribuer au développement économique et social du continent, il faudrait une réelle volonté politique en termes d'entretien et de réhabilitation des chaussées. Celle-ci s'illustrerait par l'intégration de l'analyse économique à chaque projet afin de comparer les bénéfices de chaque option du projet et de choisir la technique de réhabilitation des chaussées qui tiendra compte de la solution optimale. En effet dans cet article, grâce à l'étude des projets effectués sur la route RN2 au Sénégal et sur la route RN8 au Cameroun à l'aide de l'outil HDM-4 pour comparer les options d'intervention retenues, il ressort de cela que : Sur la RN2, l'option 3 est la plus rentable et permet de dégager un gain d'environ 32 millions de dollars US et un TRI de 14,4 %. Pour la RN8, le constat est le même, l'option 3 est la plus rentable et permet de dégager un gain d'environ 46 millions de dollars US et un TRI de 13,9 %. Ces différents gains financiers permettront aux pays concernés d'investir dans plusieurs éléments stratégiques de leurs plans de développement, ce qui augmentera les gains en matière de croissance économique. En se basant sur les résultats de notre étude de projets, il est alors

préconisé lors des réhabilitations des chaussées en Afrique subsaharienne en vue d'avoir une solution moins couteuse et durable, d'utiliser la route en béton. Celle-ci contribue à l'amélioration des conditions de déplacement et rend des services à l'ensemble de la société en termes de mobilité, de sécurité et de confort. De plus, grâce à l'absence d'entretien, elle est économique.

Références

[1] - CATHERINE LAPLANTE, « Analyse économique : projet d'infrastructure en transport approche méthodologique et concepts de base ». *ADEC*, (2010).
[2] - ASSAF J. GABRIEL, « Conception et réhabilitation des chaussées : note de cour MGC 840. École de Technologie Supérieure», (2010) 220 p.
[3] - PAMPOU KOUBIKANA, *Développement D'un Catalogue De Conception Des Chaussées Pour Les Pays Sub-Sahariens*. École de technologie supérieure, (2013).
[4] - KUMAR AJAY et FANNY BARRETT, « Stuck in traffic: Urban transport in Africa ». *AICD Background Paper,* Vol. 1, (2008).
[5] - BOSKER MAARTEN and HARRY GARRETSEN, "Economic Geography and Economic Development in Sub-Saharan Africa." *The World Bank Economic Review* 26, no. 3 (2012) 443 - 485.
[6] - G. R. KERALI HENRY, J. B. ODOKI et ERIC E. STANNARD, «Vue d'ensemble de HDM-4 », (2005).
[7] - T. WATANATADA, W. D. PATERSON, A. BHANDARI, C. G. HARRAL, A. M. DHARESHWAR et K. TSUNOKAWA, «The highway design and maintenance standards model. Vol. 1 and 2», (1997).
[8] - DIONE ADAMA, « Dimensionnement routier au Sénégal, quelles perspectives?», (2011).
[9] - DUHAMEL DENIS, ARMELLE CHABOT, PHILIPPE TAMAGNY et LARBI HARFOUCHE, « Logiciel de modélisation viscoélastique des chaussées bitumineuses ». *BULLETIN DES LABORATOIRES DES PONTS ET CHAUSSÉES,* Vol. 258, (2005) 259 p.
[10] - CEBTP, *Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux*, (1984).
[11] - RENS LUC, « La route en béton une solution économique et de qualité ». *FEBELCEM*, (2013).