

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

Bienvenu Thierry Mbog Towada¹
Gabriel J. Assaf²

*Université du Québec, École de Technologie Supérieure, 1100, Notre-Dame Ouest, Montréal,
Québec, Canada H3C 1K3*

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 présenter une intégration de l'analyse économique dans la gestion des routes en Afrique subsaharienne. 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 optimums. 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 des projets 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 et celle dénommée RN8 au Cameroun de près de 151 km 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: 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 study of multiple projects is performed. This study aims to compare several intervention options chosen on RN2 road in Senegal over distance of 120 km, and RN8 road in Cameroon over distance of 151 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 Candidat au Ph.D au département de génie de la construction, Université du Québec, École de Technologie Supérieure, 1100, Notre-Dame Ouest, Montréal, Québec, Canada H3C 1K3, Téléphone : +1514-566-3077, E-mail : thierryrbog@yahoo.fr

² Professeur au département de génie de la construction, Université du Québec, École de Technologie Supérieure, 1100, Notre-Dame Ouest, Montréal, Québec, Canada H3C 1K3, Téléphone : +1514-836-8924, E-mail : gabriel.assaf@etsmtl.ca

1. Introduction

La géographie économique difficile de l'Afrique subsaharienne représente un défi majeur pour le développement des routes dans la région, car la plus part de ces pays n'intègre 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 coûteuses pour l'administration et les usagers de la route et qui ont un impact négatif sur la croissance économique de ces pays. L'objectif de cet article est de proposer une intégration de l'analyse économique dans chaque projet, afin de permettre aux gestionnaires de choisir la solution à long terme la moins coûteuse et qui permettra d'atteindre sa durée de vie attendue tout en respectant les critères technique, environnemental et sociétal. Celle-ci permettra la construction de nouvelles routes, leurs entretien ainsi que la réhabilitation des infrastructures existantes ou des nouvelles fraîchement aménagées le tout, à des prix raisonnables afin d'augmenter les gains en matière de croissance économique (Foster, Briceño-Garmendia et Cecilia, 2010).

2. État de l'art

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 (Catherine, 2010). Contrairement au pays d'Afrique subsaharienne, les pays développés intègrent l'analyse économique dans la gestion des infrastructures routières, ce qui leur procurent les bénéfices suivants (Assaf, 2010) :

- ✓ 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 (Catherine, 2010). 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 (Catherine, 2010). 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 (Catherine, 2010).

2.1 La situation du réseau routier en Afrique subsaharienne

Le réseau routier en Afrique subsaharienne est peu dense et occupe environ 4,2 km/km² de la superficie disponible (Pambou, 2013). 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 (Kumar et Barrett, 2008). Il est à noter que l'Afrique subsaharienne n'intègre pas

l'analyse économique dans la gestion de leurs infrastructures routière. Cette situation entraîne des choix très coûteux pour l'administration et les usagers de la route et ont un impact négatif sur la croissance économique de ces pays (Foster et Benitez, 2011). 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.

2.2 Méthodologie d'intégration de l'analyse économique dans la gestion des routes en Afrique subsaharienne

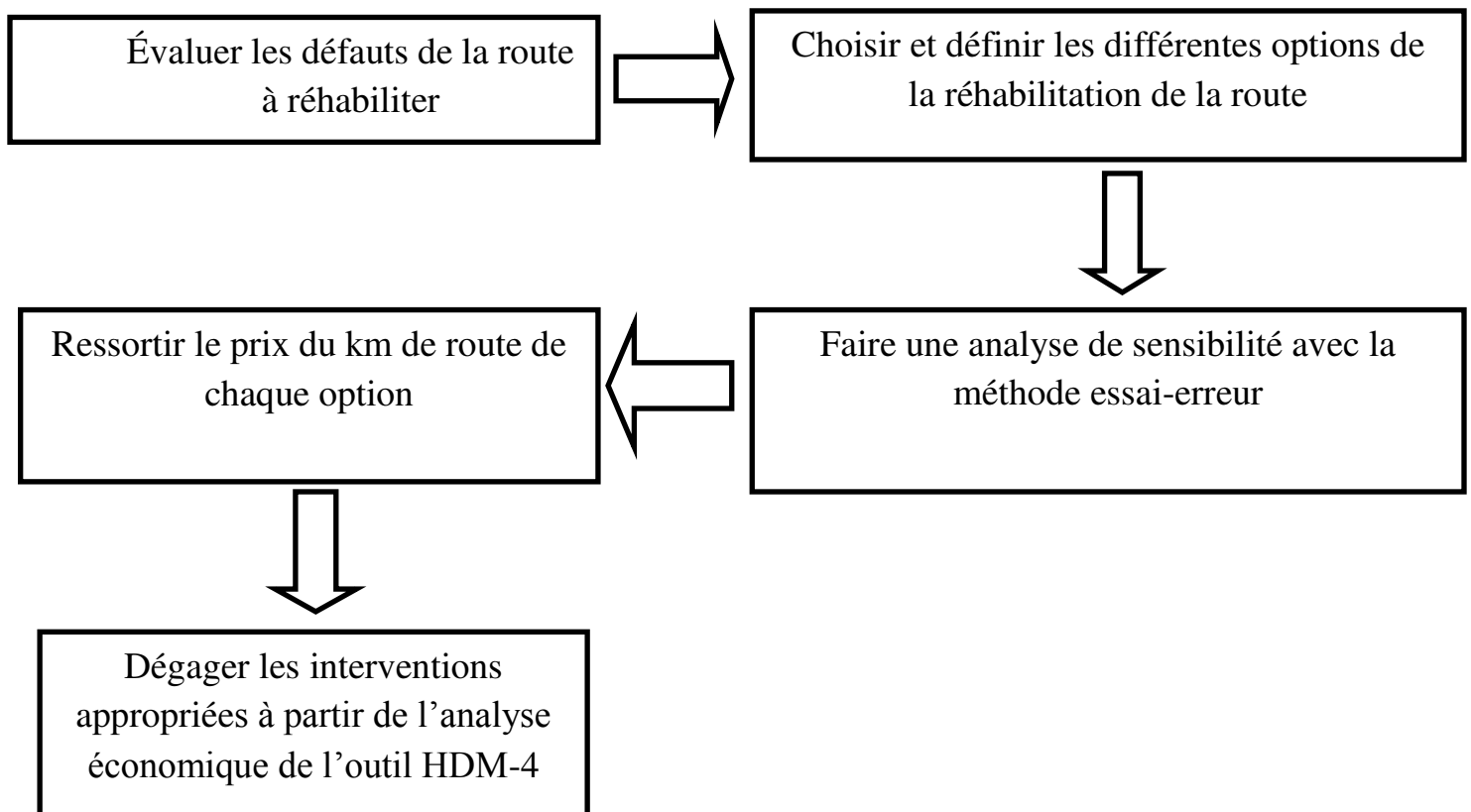
Pour réhabiliter une chaussée en assurant un faible coût de travaux tout au long du cycle de vie de la route, il faut faire avant le début des travaux une analyse économique et trouver les solutions appropriées. Cette méthodologie s'articule comme suit:

- 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. Faire 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%)
- IV. Ressortir le prix unitaire du km de route de chaque option à partir des prix unitaire de l'estimation des travaux.
- V. Dégager les interventions qui seront retenues après avoir confirmé l'analyse économique avec l'outil HDM-4 de l'AIPCR (Association Mondiale des routes) en support pour le choix de la solution

optimale c'est-à-dire, la solution qui a le plus grand bénéfice actualisé (VPN et le plus grand taux de rendement interne (TRI) supérieure au taux d'actualisation.

Le schéma ci-dessous représente les étapes d'une étude de réhabilitation d'une chaussée flexible en Afrique Subsaharienne en mettant l'accent sur l'analyse économique afin de choisir l'intervention la plus appropriée.

Étapes d'une étude de réhabilitation



3. 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 (Kerali, Odoki et Stannard, 2005) pour permettre d'évaluer les choix d'investissement et aider les gestionnaires à prévoir les bénéfices économiques, techniques, sociaux et environnementaux 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 (Watanatada et al., 1987). 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 Étude 1

3.1.1 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'un linéaire 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).

3.1.2 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 (Dione, 2011) combinaison des indices de qualités avec le trafic pour déterminer une structure de renforcement. Les vérifications ont été faites par le logiciel Alizé (Duhamel et al., 2005) 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.

3.1.3 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 3.1.2. 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 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 (CEBTP, 1984). 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 goudonnées) comme revêtement. Selon Luc Rens (Rens, 2013) 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.

3.1.4 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. Cette 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

3.1.5 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 200m 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	13t (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	13 janvier 2015

3.1.6 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 (TMJA) 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%)
-

3.1.7 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.

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	<p>Bourrelets, affaissement, flaches, fissures</p> <p>longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.</p>
64+750	89+050	PT1	7	<p>Bourrelets, affaissement, flaches, fissures</p> <p>longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.</p>
89+050	90+650	PT2	8	<p>Bourrelets, affaissement, flaches, fissures</p> <p>longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.</p>
90+650	111+700	PT1	9	<p>Affaissement, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, désenrobage, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.</p>
111+700	114+750	PT3	10	<p>Affaissement, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, désenrobage, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.</p>

114+750	120+000	PT1	11	Affaissement, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, désenrobage, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.
---------	---------	-----	----	---

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).

3.1.8 Les hypothèses prises en compte lors de notre simulation sur HDM-4

Un appel d'offres 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): le prix du km de route est de 718 952 \$

Option 4 (option surfaçage direct): le prix du km de route est de 464 446 \$

3.2 Étude 2

3.2.1 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.

3.2.2 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.

3.2.3 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 3.2.2.

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 goudonnées) comme revêtement. Selon Luc Rens (Rens, 2013) 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.

3.2.4 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. Cette IRI a été mesuré avec un analyseur du profil en long (APL) et étalonné par huit sections de 200m 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
	Fondation : 400 mm
Épaisseur des couches de la chaussée existante	Base : 200 mm
	Revêtement : 50 mm

3.2.5 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. Cette IRI a été mesuré avec un analyseur du profil en long (APL) et étalonné par huit sections de 200m 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	13t (tonnes)
Mise hors d'eau	obligatoire
Largeur de la chaussée en section courante et en agglomération	2 x 3,50 m = 7,00 m
	Section courante : 2 x 1,50 m = 3 m
Largeur des accotements	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 d'autres projets dans la zone du projet).
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

3.2.6 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 (TMJA) 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%)

3.2.7 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).

3.2.8 Les hypothèses prises en compte lors de notre simulation sur HDM-4

Un appel d'offres 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 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 surfacage direct): le prix du km de route est de 606 180 \$

Option 3 (option béton de ciment): le prix du km de route est de 889 212 \$

4. Résultats de l'étude

4.1 Présentation et interprétation des résultats

La première évaluation des résultats porte sur l'analyse multi critère au point de vue économique donc l'objectif principal sera 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 économique et de l'analyse de sensibilité.

4.2 Résultats de l'étude 1

4.2.1 L'analyse multi critère

L'analyse multi critère par rapport au poids relatif des critères utilisés pour ce projet est donnée dans le tableau 8.

Unité monétaire : Dollar US (millions)

Taux d'actualisation : 10%

Critère de base : Coûts aux usagers (RUC)

Tableau 8. Analyse multi critère et poids relatif (RN2)

Critères utilisés	Poids relatif
Coûts aux usagers (RUC)	1
Bénéfice Net actualisé (VPN)	6
Analyse des accidents	6
Confort des usagers	5
Saturation du trafic	4
Pollution	6
Efficacité énergétique	4
Avantage socio/économique	6
Aspects politiques	4

Option de projet	Coûts totaux actualisés administration (RAC)	Coûts invest. Actualisés administration (CAP)	Valeur du vecteur AMC	Bénéfice actualisé (VPN=B+E-C)	Rapport BA/Coût (VPN/RAC)	Rapport 3A/Coût inv (VPN/CAP)	Taux de rentabilité interne (TRI)
Option de base	1,190	0,000	2,233	0,000	0,000	0,000	0,000
Option 1	72,559	69,962	2,230	-55,066	-0,759	-0,787	-2,2
Option 2	70,428	67,830	2,294	-52,490	-0,745	-0,774	-1,7
Option 3	82,353	82,353	2,667	31,926	0,388	0,388	14,4
Option 4	55,888	53,200	2,265	-38,418	-0,687	-0,722	-0,3

Explication des colonnes de ce tableau :

RAC : Coûts totaux actualisés administration.

CAP : Coûts investissements actualisés administration.

C : Surcouts administration, $C = CAP + (- \text{Entretien})$.

Entretien : Réduction des coûts d'entretien courant.

B : Économies coûts usagers.

E : Avantage exogène.

VPN : Bénéfice actualisé, $VPN=B+E-C$.

VPN/RAC : Indicateur de rentabilité relatif.

VPN/CAP : Indicateur de rentabilité d'investissement relatif.

CEV : Coût d'exploitation des véhicules.

TRI : Taux de rendement interne.

D'après les tableaux de l'analyse multi critère, il est indiqué que les critères prioritaires pour ce projet sont ceux dont le poids relatif est élevé ce qui permet de mettre l'accent sur le volet technique, économique, environnemental et social. En outre c'est l'option 3 qui est la plus rentable avec un bénéfice actualisé de l'ordre de 32 millions de dollars US et un taux de rentabilité interne de 14,4%.

4.2.2 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 9, 10, 11 et 12. Notons que les coûts sont en millions de dollars US.

Tableau 9. Option 1 comparée à l'option de base (RN2)

	Surcoûts à l'administration		Économie du	Économie coût du	Bénéfice net
	Investissement	Fonctionnement	CEV motorisé.	temps véhicule motorisé.	VPN
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 9, 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 afin de remettre en état la route. 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. Cela occasionnera une perte d'environ 5 dollars aux usagers de la route en CEV pour chaque dollar investi par l'administration.

Tableau 10. Option 2 comparée à l'option de base (RN2)

	Surcoûts à l'administration		Économie du	Économie coût du	Bénéfice net
	Investissement	Fonctionnement	CEV motorisé.	temps véhicule motorisé.	VPN
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 10, 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 afin de remettre en état la route. 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 millions et demi de dollars US par rapport à l'option de base. Cela occasionnera une perte d'environ 4 dollars aux usagers de la route en CEV pour chaque dollar investi par l'administration.

Tableau 11. Option 3 comparée à l'option de base (RN2)

	Surcoûts à l'administration		Économie du	Économie coût du	Bénéfice net
	Investissement	Fonctionnement	CEV motorisé.	temps véhicule motorisé.	VPN
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 11, 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'aurons 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. Cela permettra aux usagers de la route de bénéficier pour chaque dollar investi par l'administration de la route, une économie d'un montant de 1.2 dollar en CEV.

Tableau 12. Option 4 comparée à l'option de base (RN2)

	Surcoûts à l'administration		Économie du	Économie coût du	Bénéfice net
	Investissement	Fonctionnement	CEV motorisé.	temps véhicule motorisé.	VPN
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 12, 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 afin de remettre en état la route. 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. Cela occasionnera une perte d'environ 3,5 dollars aux usagers de la route en CEV pour chaque dollar investi par l'administration.

Le rapport de l'analyse économique synthèse a été utilisé pour remplir les tableaux 13, 14 et 15 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 13. Comparaison du Bénéfice actualisé (BA) et du TRI par croissance du trafic (RN2)

Option l'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 14. Comparaison du Bénéfice actualisé (BA) et du TRI par coût d'investissement (RN2)

Option l'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 15. Comparaison du Bénéfice actualisé (BA) et du TRI par TJMA (RN2)

Option l'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%.

4.3 Résultats de l'étude 2

4.3.1 L'analyse multi critère

L'analyse multi critère par rapport au poids relatif des critères utilisés pour ce projet est donnée dans le tableau 16.

Unité monétaire : Dollar US (millions)

Taux d'actualisation : 10%

Critère de base : Coûts aux usagers (RUC)

Tableau 16. Analyse multi critère et poids relatif (RN8)

Critères utilisés	Poids relatif
Coûts aux usagers (RUC)	1
Bénéfice Net actualisé (VPN)	6
Analyse des accidents	6
Confort des usagers	5
Saturation du trafic	4
Pollution	6
Efficacité énergétique	4
Avantage socio/économique	6
Aspects politiques	4

Option de projet	Coûts totaux actualisés administration (RAC)	Coûts invest. Actualisés administration (CAP)	Valeur du vecteur AMC	Bénéfice actualisé (VPN=B+E-C)	Rapport BA/Coût (VPN/RAC)	Rapport 3A/Coût inv (VPN/CAP)	Taux de rentabilité interne (TRI)
Option de base	0,569	0,000	0,807	0,000	0,000	0,000	0,000
Option 1	119,311	115,340	0,800	-88,647	-0,701	-0,725	-0,8
Option 2	88,963	84,992	0,815	-55,959	-0,629	-0,658	0,8
Option 3	124,676	124,676	1,238	46,007	0,369	0,369	13,9

D'après les tableaux de l'analyse multi critère, il est indiqué que les critères prioritaires pour ce projet sont ceux dont le poids relatif est élevé ce qui permet de mettre l'accent sur le volet technique, économique, environnemental et social. En outre c'est l'option 3 qui est la plus rentable avec un bénéfice actualisé de l'ordre de 46 millions de dollars US et un taux de rentabilité interne de 13,9%.

4.3.2 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 17, 18 et 19. Notons que les coûts sont en millions de dollars US.

Tableau 17. Option 1 comparée à l'option de base (RN8)

	Surcoûts à l'administration		Économie du	Économie coût du	Bénéfice net
	Investissement	Fonctionnement	CEV motorisé.	temps véhicule motorisé.	VPN
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 17, 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 afin de remettre en état la route. 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. Cela occasionnera une perte d'environ 3 dollars aux usagers de la route en CEV pour chaque dollar investi par l'administration.

Tableau 18. Option 2 comparée à l'option de base (RN8)

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

Dans le tableau 18, 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 afin de remettre en état la route. 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. Cela occasionnera une perte d'environ 3 dollars aux usagers de la route en CEV pour chaque dollar investi par l'administration.

Tableau 19. 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 19, 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'aurons 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. Cela permettra aux usagers de la route de bénéficier pour chaque dollar investi par l'administration de la route, une économie d'un montant de 1.2 dollar en CEV.

Le rapport de l'analyse économique synthèse a été utilisé pour remplir les tableaux 20, 21 et 22 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 20. Comparaison du Bénéfice actualisé (BA) et du TRI par croissance du trafic (RN8)

Option l'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 21. Comparaison du Bénéfice actualisé (BA) et du TRI par coût d'investissement (RN8)

Option l'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 22. Comparaison du Bénéfice actualisé (BA) et du TRI par TJMA (RN8)

Option l'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%.

5. Conclusion et perspective

L'Afrique subsaharienne accuse un déficit énorme en matière d'infrastructure routière; 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'illustre 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. Dans cet article, grâce à l'étude des projets effectuée 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 pour ces pays. En se basant sur les résultats de notre étude des projets, il est alors préconisé lors des réhabilitations des chaussées en Afrique subsaharienne en vue d'avoir une solution moins coûteuse 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.

6. Bibliographie

Assaf, Gabriel J. 2010. « Conception et réhabilitation des chaussées: note de cour MGC 840. École de Technologie Supérieure. ». In., p. 220 p.

Catherine, Laplante. 2010. « Analyse économique : projet d'infrastructure en transport
Approche méthodologique et concepts de base ». *ADEC*.

CEBTP. 1984. *Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux*.

Dione, Adama. 2011. « Dimensionnement routier au Sénégal, quelles perspectives? ».

Duhamel, Denis, Armelle Chabot, Philippe Tamagny et Larbi Harfouche. 2005. « Logiciel de modélisation viscoélastique des chaussées bitumineuses ». *Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées*, vol. 258, p. 259.

Foster, Vivien, et Daniel Benitez. 2011. « Congo, Democratic Republic of-The Democratic Republic of Congo's infrastructure: a continental perspective ». *World Bank Policy Research Working Paper*, n° 5602.

Foster, Vivien, Briceño-Garmendia et Cecilia. 2010. *Africa's infrastructure: a time for transformation*. World Bank Publications.

Kerali, Henry GR, JB Odoki et Eric E Stannard. 2005. « Vue d'ensemble de HDM-4 ».

Kumar, Ajay, et Fanny Barrett. 2008. « Stuck in traffic: Urban transport in Africa ». *AICD Background Paper*, vol. 1.

Pambou, Koubikana. 2013. *Développement d'un catalogue de conception des chaussées pour les pays Sub-Sahariens*. École de technologie supérieure.

Rens, Luc. 2013. « La route en béton une solution économique et de qualité ». In *FEBELCEM*.

Watanatada, T, WD Paterson, A Bhandari, CG Harral, AM Dhareshwar et K Tsunokawa. 1987. « The highway design and maintenance standards model. volumes 1 and 2 ».