

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL

Un Peuple - Un But - Une Foi



MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET DES ÉTABLISSEMENTS CLASSES

PROJET D'APPUI AU PLAN NATIONAL D'ADAPTATION DU SÉNÉGAL

PNA-FEM

PLAN NATIONAL D'ADAPTATION DU SÉNÉGAL

ÉTUDE DE VULNÉRABILITÉ DU SECTEUR DES INFRASTRUCTURES ROUTIÈRES FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET OPTIONS D'ADAPTATION



2023





PNA-FEM

PLAN NATIONAL D'ADAPTATION DU SENEGAL

Sigles et abréviations

AATR	Agence Autonome des Travaux Routiers
AGEROUTE	Agence des travaux et de gestion des routes au Sénégal
ANACIM	Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie
AR4	IPCC Fourth Assessment report
BAD	Banque Africaine de Développement
BB	Béton bitumineux
BD	Base de données
BDR	Banque de données routières
BM	Banque mondiale
BRT	Bus rapide de transport
CC	Changements climatiques
CCNUCC	Convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique
CDE	Consortium d'entreprises
CEREQ	Centre Expérimental de Recherches et d'Études pour l'Équipement
CETUD	Conseil Exécutif des Transports Urbains de Dakar
CSE	Centre de Suivi Écologique
CSE	Compagnie sahélienne d'entreprises
FERA	Fonds d'entretien routier annuel
FHWA	Federal Highway Administration
GC	Grave concassée
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (Société allemande pour la coopération internationale)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LPST	Lettre de politique sectorielle des transports
MCG	Modèle climatique global
MCGs	Global Climate Models
MCR	Modèle climatique régional
MITTD	Ministère des infrastructures des transports terrestres et du désenclavement
OA	Ouvrage d'art
OAA	Ouvrages d'art et d'assainissement
OMM	Organisation Météorologique Mondiale
PAGOTRANS	Programme d'Appui à la Gouvernance dans le Secteur des Transports au Sénégal
PAST	Programme d'Ajustement Sectoriel des Transports
PK	Point kilométrique
PNA	Plan national d'adaptation
PNA-FEM	Plan National d'Adaptation – Fonds pour l'Environnement Mondial
POH	Petit ouvrage hydraulique
RCP	Representative Concentration Pathway
RCPs	Representative Concentration Pathways
RN	Route nationale
SNTR	Stratégie Nationale de Transport Rural
TMJA	Trafic moyen journalier annuel
UNECA	United Nations Economic Commission for Africa
UNEP	United Nations Environment Programme (Programme des Nations Unies pour l'Environnement)
US DOT	United States Department of transportation
USAID	United States Agency for International Development

Table des matières

Sigles et abréviations	1
Table des matières	2
Liste des illustrations	3
Résumé	5
Introduction	6
1. Risques climatiques et vulnérabilité actuelle et future	8
1.1. Situation actuelle.....	8
1.1.1. Perceptions sur les CC : précipitations et températures	8
1.1.1.1. <i>Perceptions des usagers de la route et des agents techniques sur l'évolution de la pluviométrie</i> 8	
1.1.1.2. <i>Perceptions des usagers de la route et des agents techniques sur l'évolution de la température</i> 8	
1.1.2. Analyse de la vulnérabilité actuelle	9
1.1.2.1. <i>Exposition, sensibilité, impacts potentiels et vulnérabilité actuelle des infrastructures routières aux pluies extrêmes</i>	11
1.1.2.2. <i>Analyse des indices de température</i>	16
1.1.3. Impacts de la pluie et des températures sur les usagers de la route	19
1.1.3.1. <i>Impacts de la pluviométrie</i>	19
1.1.3.2. <i>Impacts de la température</i>	20
1.1.4. Caractérisation des événements climatiques et de leurs impacts par les agents techniques 20	
1.1.4.1. <i>Principales composantes des infrastructures routières</i>	21
1.1.4.2. <i>Principaux événements climatiques qui impactent les infrastructures routières</i>	21
1.1.4.3. <i>Matrice d'exposition aux événements climatiques</i>	21
1.1.4.4. <i>Les impacts des aléas climatiques sur les infrastructures routières</i>	22
1.1.4.5. <i>Autres facteurs ou facteurs aggravant les impacts des risques climatiques</i>	23
1.1.5. Exemples d'événements climatiques à fort impact sur les infrastructures routières	26
1.2. Analyse de la vulnérabilité future	29
1.2.1. Analyse de la vulnérabilité future aux pluies extrêmes	29
1.2.2. Analyse de la vulnérabilité future aux températures élevées	31
2. Identification des options d'adaptation	35
2.1. Comportement des usagers en cas d'occurrence d'un événement climatique extrême. 35	
2.2. Les options d'adaptation retenues des échanges avec les services techniques	35
2.3. Quelques exemples d'options appliquées pour faire face aux risques climatiques	37
2.4. Priorisation des options d'adaptation	45
Conclusion	48
Annexe : Bibliographie	49

Liste des illustrations

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractérisation des indices climatiques	10
Tableau 2 : Valeurs moyennes des pluies extrêmes (R99P) par région entre 1981 et 2010.....	11
Tableau 3 : Notation des pluies extrêmes.....	11
Tableau 4 : Appréciation sur une échelle de 1 à 5 des indicateurs de sensibilité pour l'analyse de la vulnérabilité par rapport aux précipitations extrêmes	12
Tableau 5 : Impacts potentiels sur les infrastructures routières à l'échelle régionale	15
Tableau 6 : Indices capacité d'adaptation notés de manière inversée de 4 (faible) à 1 (très élevé).....	15
Tableau 7 : Nombre moyen de jours à température supérieure ou égale à 35°C entre 1981 et 2010	16
Tableau 8: Niveaux de notation des nombres de jours à température supérieure ou égale à 35°C.....	17
Tableau 9 : Classification du trafic journalier des véhicules transportant des marchandises ou poids lourds.....	18
Tableau 10 : Impacts potentiels des températures élevées sur les infrastructures routières	18
Tableau 11 : Principales composantes des infrastructures routières relevées par les spécialistes.....	21
Tableau 12 : Matrice d'exposition des types d'infrastructures aux événements climatiques notés de 1 à 5	22
Tableau 13 : Principaux impacts des aléas climatiques sur les routes revêtues	22
Tableau 14 : Principaux impacts des risques climatiques sur les routes non revêtues	22
Tableau 15 : Principaux impacts des risques climatiques sur les ouvrages d'art et d'assainissement (OAA).....	23
Tableau 16 : Impacts notés sur la route tels que décrits par le rapport de l'Ageroute	26
Tableau 17 : Tronçons affectés par les dégâts liés à la crue fluviale.....	28
Tableau 18 : Niveau du trafic routier	29
Tableau 19 : Distance en km, en mn et temps de trajet.....	29
Tableau 20 : Risques climatiques et impacts à Dakar	29
Tableau 21 : Ecart des pluies extrêmes entre les périodes 1981-2010 et 2031-2060, 2071-2100	30
Tableau 22 : L'impact potentiel des pluies extrêmes sur les infrastructures routières des différentes régions.....	31
Tableau 23 : Écarts des nombres de jours à températures maximales \geq à 35°C.....	31
Tableau 24 : Niveaux d'impact potentiel des températures maximales \geq à 35°C sur les infrastructures routières.....	32
Tableau 25 : Options au niveau des routes revêtues.....	35
Tableau 26 : Options pour les routes non revêtues	36
Tableau 27 : Options pour les ouvrages d'art et d'assainissement.....	36
Tableau 28 : Options retenues dans le cadre de la réhabilitation de la route Thilogne -Ourosogui.....	37
Tableau 29 : Options retenues dans le cadre d'un ouvrage traversant un cours d'eau, inondé en hivernage et ayant subi un état de dégradation avancé.....	38
Tableau 30 : Mesures pour la traversée du Baobolong	39
Tableau 31 : Activités prévues pour le tronçon (Baobolong)	40
Tableau 32 : Articles de l'entretien routier avec projet et sans projet	40
Tableau 33 : Périodes de retour de la crue considérées pour les ouvrages.....	45
Tableau 34 : Côtes maximales retenues pour les marées.....	45
Tableau 35 : Données trafic 2002	45
Tableau 36 : Options priorisées pour les routes revêtues.....	46
Tableau 37 : Options priorisées pour les routes non revêtues.....	47
Tableau 38 : Options priorisées pour les ouvrages d'art et d'assainissement	47

Liste des figures

Figure 1 : Perceptions des usagers de la route et des agents techniques sur l'évolution de la pluviométrie	8
Figure 2 : Perceptions des usagers de la route et des agents techniques sur l'évolution de la température	9
Figure 3 : Étapes de l'analyse de vulnérabilité (adelphi/EURAC 2014 cité par GIZ, 2015)	10
Figure 4 : Impacts des risques climatiques sur les usagers de la route.....	20
Figure 5 : Impacts signalés par les usagers de la route.....	20
Figure 6 : Les événements climatiques identifiés par les agents techniques	21
Figure 7 : Schéma d'ouvrage	39
Figure 8 : Profil de section de remblai de protection (zone d'eau).....	44
Figure 9 : Profil de section (scarification chaussée).....	44
Figure 10 : Profil de protection en perré.....	44
Figure 11 : Niveau de marée Pointe Sangomar.....	45

Liste des cartes

Carte 1 : Réseau routier du Sénégal.....	6
Carte 2 : Exposition actuelle des infrastructures routières aux pluies extrêmes.....	12
Carte 3 : Sensibilité, à l'échelle régionale, des infrastructures routières.....	14
Carte 4 : Appréciation globale de la sensibilité des infrastructures routières à l'échelle régionale.....	15
Carte 5 : Vulnérabilité actuelle des infrastructures routières aux pluies extrêmes.....	16
Carte 6 : Exposition actuelle, à l'échelle régionale, des infrastructures routières aux températures élevées.....	17
Carte 7 : Sensibilité, à l'échelle régionale, des infrastructures routières.....	18
Carte 8 : Vulnérabilité actuelle, à l'échelle régionale, des infrastructures routières aux températures élevées.....	19
Carte 9 : Exposition future aux pluies extrêmes.....	30
Carte 10 : Vulnérabilité future aux pluies extrêmes.....	31
Carte 11 : Exposition future des infrastructures routières aux températures élevées.....	32
Carte 12 : Vulnérabilité future des infrastructures routières aux températures maximales \geq à 35°C avec le scénario du RCP 4.5.....	33
Carte 13 : Vulnérabilité future des infrastructures routières aux températures maximales \geq à 35°C avec le scénario du RCP 8.5.....	34
Carte 14 : Route Joal-Samba Dia-Djiffère.....	41

Liste des photos

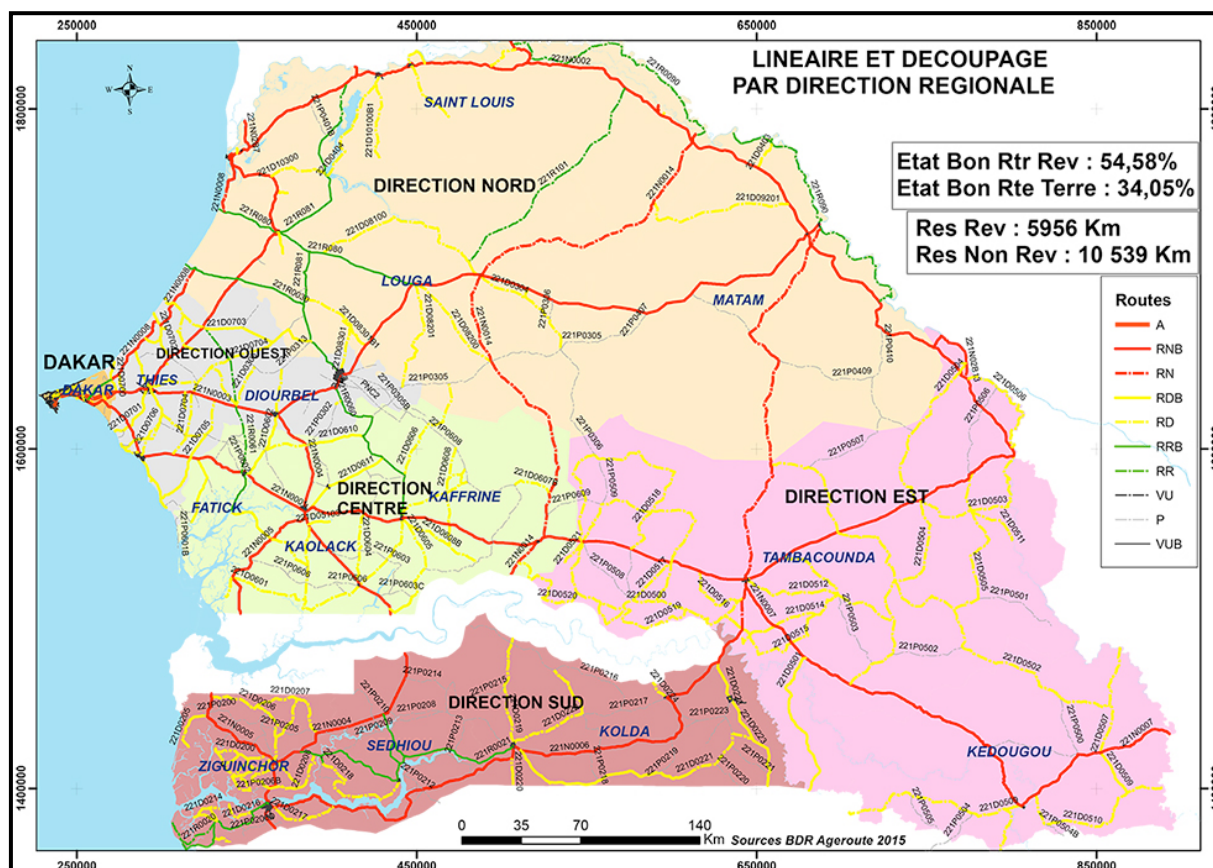
Photo 1 : Regards bouchés à Colobane.....	24
Photo 2 : Regards bouchés à Colobane avec des eaux usées, couvercle vandalisé et mise en place de pneus pour signaler sa présence.....	24
Photo 3 : Regards bouchés à Colobane avec des eaux usées, couvercle vandalisé et mise en place de pneus pour signaler sa présence.....	25
Photo 4 : Ruptures de routes.....	28
Photo 5 : Sections de route au niveau de l'axe Joal-Samba Dia-Djiffère.....	42

Résumé

Cette étude analyse la vulnérabilité des infrastructures routières à la variabilité et aux changements climatiques et les options d'adaptation. Pour ce faire, une recherche documentaire a d'abord permis de comprendre globalement les méthodologies qui ont été appliquées dans certains pays (en l'occurrence les pays développés) pour analyser la vulnérabilité des infrastructures routières. Ensuite la deuxième étape a été la collecte des données de terrain. Cette phase a d'abord concerné les données climatiques et a ensuite porté sur des enquêtes de terrain. Concernant les données climatiques, leur collecte a été réalisée de manière journalière par un consultant recruté à cet effet. Toutefois, pour l'analyse de la vulnérabilité des infrastructures routières nous avons retenu, conformément à la méthodologie suggérée par l'OMM, deux paramètres climatiques à savoir les précipitations et les températures. Le traitement de ces paramètres climatiques a été réalisé à partir du logiciel RCLimDex. Sur six (6) indices identifiés comme pouvant avoir des impacts sur les infrastructures routières, c'est l'indice sur les pluies extrêmes (R 99P) et l'indice du nombre de jours où les températures maximales excèdent 35°C qui ont été retenus. Les analyses climatiques ont porté d'abord sur la période passée, celle de 1981 à 2010 et sur les périodes moyenne et lointaine, à savoir 2031-2060 et 2071-2100. Pour ces deux dernières périodes, ce sont les RCPs 4.5 et 8.5 qui ont été pris en compte. Pour compléter cette analyse climatique, des enquêtes de terrain ont été réalisées. Ces entretiens ont été conduits en se basant d'abord sur un questionnaire soumis aux usagers de la route, dont les représentants sont les transporteurs, trouvés au niveau des gares routières. Ensuite, pour affiner l'analyse, un questionnaire a été également soumis aux agents techniques des structures comme l'Ageroute et des maîtres d'œuvre comme Eiffage, CDE, CSE, mais aussi des représentants du Ministère des infrastructures routières et du désenclavement. Les réponses obtenues ont permis l'établissement d'une matrice d'exposition aux risques selon une pondération qui varie pour chaque effet d'un risque sur un type d'infrastructure donné, de 1 (impact très faible) à 5 (impact très élevé). Les résultats ont permis de savoir que du point de vue des infrastructures, ce sont globalement les routes non revêtues qui sont les plus vulnérables aux risques climatiques et du point de vue des risques climatiques, ce sont les fortes précipitations qui dégradent le plus les infrastructures routières. Du côté des transporteurs on souligne surtout la dégradation des organes des véhicules notamment les moteurs qui peuvent s'abimer, l'usure précoce des pneus avec la chaleur extrême ou le contraste thermique, les déviations des usagers en cas de route inondée. Les facteurs aggravant les impacts des risques climatiques ont été également identifiés mais de manière globale. Enfin, plusieurs options d'adaptation ont été signalées dont certaines ont été proposées pour mieux faire face à la variabilité et aux changements climatiques.

Introduction

D'après les données de l'AGEROUTE, le Sénégal dispose d'un réseau routier revêtu de 5956 km contre 10 539 km pour le réseau non revêtu (carte 1). Ce réseau était en 2002 de 4559 et 9075 km, d'où une progression, par rapport à la situation actuelle, de 30,6 et 16. La disponibilité en réseau routier permet un niveau de service estimé à 83 % en 2020 pour les routes revêtues en bon/ moyen état et à 57 % pour les routes non revêtues en bon/ moyen état, pour la même année (Données site internet AGEROUTE).



Carte 1 : Réseau routier du Sénégal

Le secteur des transports terrestres représente « un des leviers essentiels pour l'amélioration des conditions de production des richesses, de circulation des personnes et des biens et de renforcement de l'intégration régionale ». Les infrastructures routières assurent plus de 90% des déplacements des personnes et des biens au Sénégal et constituent l'un des patrimoines les plus importants de l'État avec une valeur estimée à plus de 2000 milliards de FCFA. La contribution des services de transport au Produit Intérieur brut est évaluée à 2,1 % en 2018. Un réseau routier fiable peut contribuer à promouvoir l'économie et assurer à chaque habitant de la région, l'accès aux opportunités économiques et aux services. Toutefois, les infrastructures routières sont particulièrement vulnérables au changement climatique : la plupart des prévisions indiquent qu'en Afrique, la hausse des températures, la fréquence des événements pluviométriques extrêmes et les inondations qui s'ensuivent finiront par avoir raison d'un réseau routier déjà soumis à une pression extrême. Alors qu'il envisage d'investir massivement dans les infrastructures, le Sénégal a une occasion unique d'anticiper les conséquences de l'évolution du climat par la rénovation des routes existantes et l'adaptation des nouvelles routes.

Des liaisons routières de qualité peuvent largement contribuer à étendre l'accès aux emplois, aux marchés, aux services sociaux de base. Pour les populations rurales en particulier, une route est en général un axe vital qui relie les villages isolés aux débouchés économiques et aux services. Le Sénégal devrait bénéficier d'investissements massifs dans ses infrastructures routières au cours des

¹ <http://www.ageroute.sn/presentation-2/>

prochaines années, dans le cadre d'une vaste initiative d'expansion et d'amélioration de son réseau de transport. Ainsi, pour que les dépenses routières produisent les meilleurs résultats possibles et aient des retombées durables sur le développement, il est essentiel que la lettre de politique sectorielle et les plans d'investissement tiennent compte des conséquences actuelles et futures des changements climatiques. En effet, les actifs routiers sont particulièrement vulnérables aux facteurs de stress climatiques tels que la hausse des températures, l'augmentation des précipitations et les inondations. La quasi-totalité des modèles indiquent que les phénomènes météorologiques extrêmes exerceront une pression considérable sur le réseau routier africain. Les dommages et le vieillissement prématurés des routes, causés par les changements climatiques nécessiteront d'accroître sensiblement la fréquence et l'ampleur des travaux d'entretien et de remise en état des routes (Banque mondiale, 2016). Ceci est important et a une forte implication sur l'importance des ressources à mobiliser pour l'entretien si on n'anticipe pas.

La pertinence de cette étude se trouve dans les réponses à trouver à ces interpellations afin de préparer le secteur des transports routiers à faire face aux impacts du dérèglement climatique. L'analyse de la vulnérabilité est réalisée en abordant globalement : i) la perception de l'évolution des variables climatiques les plus couramment utilisées pour mesurer les changements climatiques, ii) l'identification des risques, le recensement des impacts notés au niveau des différents types d'infrastructures mais aussi au niveau des usagers de la route et ii) les options d'adaptation proposées.



1. Risques climatiques et vulnérabilité actuelle et future

1.1. Situation actuelle

1.1.1. Perceptions sur les CC : précipitations et températures

Les études scientifiques ont révélé que les principaux éléments climatiques qui impactent les infrastructures routières sont essentiellement les précipitations et les températures. C'est pour cela que nous avons jugé nécessaire d'avoir les perceptions des usagers de la route et des agents des services techniques sur l'évolution de ces deux paramètres climatiques. Pour rappel : « Les températures et précipitations quotidiennes sont deux des variables climatiques les plus courantes et les plus importantes pour l'analyse des changements climatiques. »²

Les enquêtes réalisées auprès des acteurs révèlent un changement des paramètres climatiques. Le paramètre le plus cité a été les précipitations.

1.1.1.1. Perceptions des usagers de la route et des agents techniques sur l'évolution de la pluviométrie

Les échanges avec les acteurs ont fait ressortir les éléments suivants (figure 1) : une réduction des quantités de pluie par rapport à celles que le pays recevait avant les sécheresses (80 % des interviewés). Ensuite la remarque la plus importante a été le démarrage tardif de l'hivernage (60 % des interviewés). 40 % ont noté l'apparition de plus de pluie et des orages plus intenses. D'autres points ont été soulevés par les acteurs comme : le fait que le démarrage soit irrégulier, l'existence de pauses pluviométriques à l'intérieur de l'hivernage, le démarrage précoce de l'hivernage, sa fin précoce, des inondations plus fréquentes et plus de pluies.

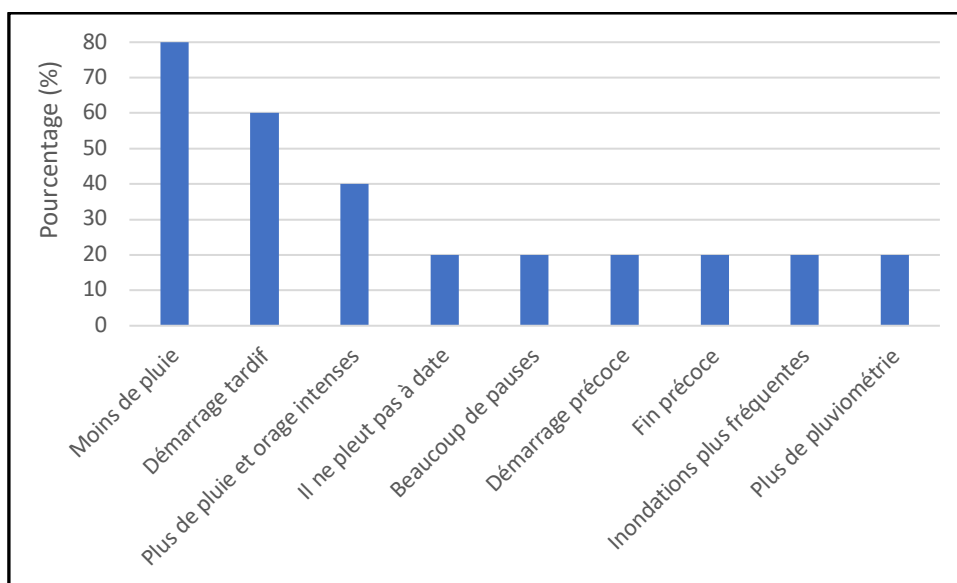


Figure 1 : Perceptions des usagers de la route et des agents techniques sur l'évolution de la pluviométrie

1.1.1.2. Perceptions des usagers de la route et des agents techniques sur l'évolution de la température

De l'avis des enquêtés (60 %), la sensation de fraîcheur est devenue plus importante alors que le même taux soutient qu'il fait plus chaud (figure 2). 40 % des interviewés ont noté un rallongement de la période de fraîcheur. 20 % jugent que la chaleur est devenue plus intense au moment où le même taux n'observe pas de changement sur l'évolution des températures, c'est-à-dire que la situation est normale.

² Nations Unies, Convention-cadre sur les changements climatiques, 2012, p. 62.

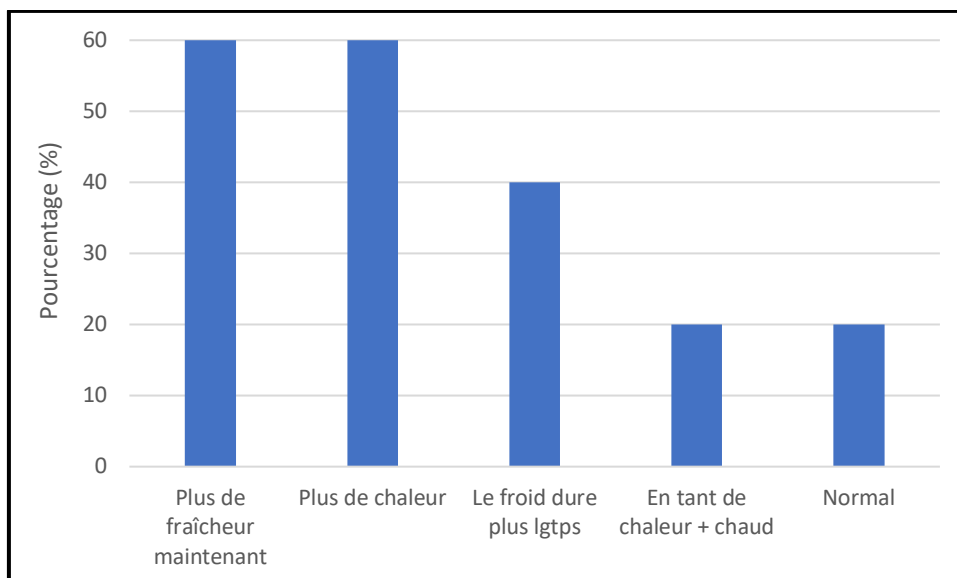


Figure 2 : Perceptions des usagers de la route et des agents techniques sur l'évolution de la température

1.1.2. Analyse de la vulnérabilité actuelle

La Commission Économique pour l'Europe sous la tutelle des Nations Unies et avec le concours de l'OMM a identifié six (6) indices qui permettent d'analyser globalement les impacts de la variabilité climatique actuelle et des changements climatiques sur les infrastructures de transport (tableau 2). Parmi ces six indices, 4 permettent de faire ressortir les impacts sur les infrastructures routières. Ce sont :

- l'indice de durée des périodes de chaleur (WSDI) ;
- l'indice faisant ressortir les journées très chaudes (VHD) ;
- l'indice des jours de pluie intense avec une quantité dépassant 20 mm (R 20 mm) et ;
- l'indice calculant la quantité maximale de précipitations sur une période de 5 jours calculés sur une base annuelle (R x 5 jours).

Ces indices ont été identifiés parmi les 27 indices retenus par les experts des Nations Unies pour évaluer la variabilité et le changement climatique au niveau de tous les secteurs existants³. Toutefois, dans cette étude nous avons remplacé le 4^e indice par la fréquence des pluies extrêmes (R99P) ou le 99^e percentile, qui fait partie aussi des 27 indices identifiés par les Nations Unies. C'est cet indice qui a été finalement retenu du fait que les données climatiques de certaines stations étaient parfois incomplètes. Ce pour ces mêmes raisons qu'il a été finalement retenu pour l'analyse des températures, l'indice des jours très chauds ou journées à températures élevées.

Le tableau 2 détaille les caractéristiques des indices retenus par l'OMM pour faire ressortir la vulnérabilité des infrastructures de transport (terrestres, fluviale et maritime) par rapport à la variabilité et aux changements climatiques.

³ Indices rappelés dans les documents publiés par les auteurs suivants : WMO (2009), Nations Unies, Convention-cadre sur les changements climatiques (2012), UNECE et WMO (2020).

Tableau 1 : Caractérisation des indices climatiques

Indice climatique	Définition	Mode de transport
WSDI, indice de durée des vagues de chaleur	Nombre de jours sur une plage d'au moins six jours où TX > 90e percentile	Réseaux routiers, ferroviaires, ports et aéroports
VHD, jours d'été	Nombre de jours où TX (température journalière maximale) > 30 °C	Réseaux routiers, ferroviaires, ports et aéroports
ID, jours de givre	Nombre de jours où TX < 0 °C	Réseaux routiers, ferroviaires, ports et aéroports
R20mm, jours de très fortes précipitations	Nombre de jours où RR ≥ 20 mm	Réseaux routiers, ferroviaires, ports et aéroports
R*5 jours, précipitations maximales sur cinq jours	Volume maximal de précipitations sur une période de cinq jours	Réseaux routiers, ferroviaires, ports et aéroports et navigation fluviale
CDD, jours consécutifs de temps sec	Durée maximale d'une période de sécheresse (RR < 1 mm)	Voies navigables

Source : Climate Change Impacts and Adaptation for Transport Networks and Nodes publié par UNECE et WMO (2020).

Pour l'analyse des données pluviométriques journalières c'est la période 1981-2010 qui a été retenue comme période de référence pour évaluer l'évolution actuelle du climat. En effet, « Les études d'évaluation du climat utilisent normalement les données climatiques sur une période de 30 ans (1960-1990) pour déterminer le climat de référence et font appel à des prévisions au-delà de 1990 pour simuler l'évolution du climat. » (Nations Unies, Convention-cadre sur les changements climatiques, 2012, p. 63).

La méthodologie d'analyse de vulnérabilité est celle de l'AR4 du GIEC (2007), (figure 3). Il sera de manière successive analysé, l'exposition actuelle et future des infrastructures routières aux pluies extrêmes et aux températures élevées, la sensibilité et la capacité d'adaptation seront appréciées de la même manière pour les deux situations actuelle et future, l'impact potentiel actuel et futur et la vulnérabilité actuelle et future.

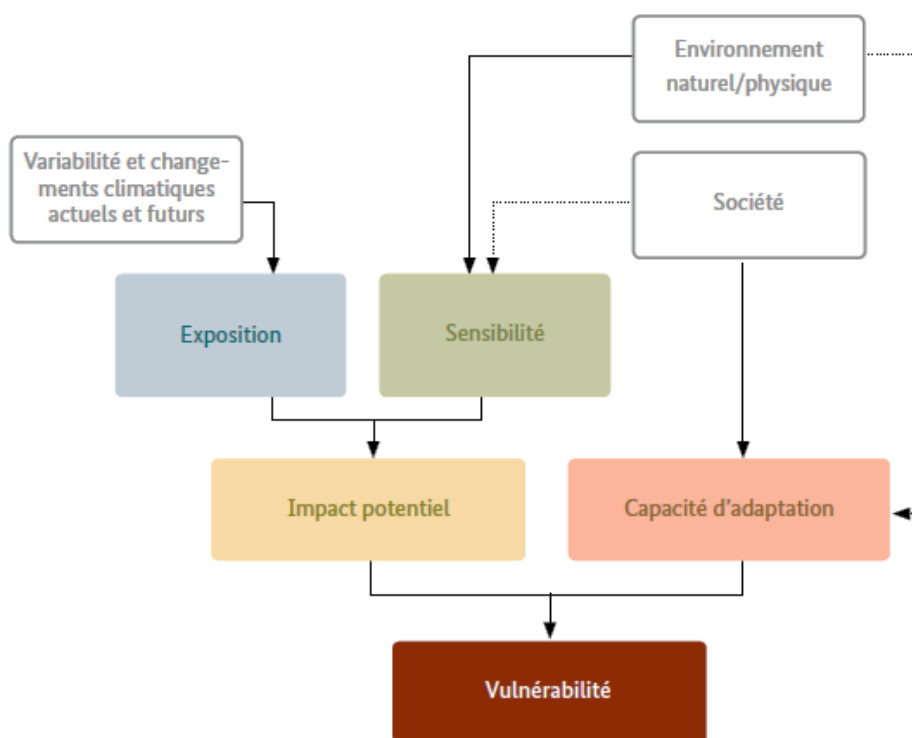


Figure 3 : Étapes de l'analyse de vulnérabilité (adelphi/EURAC 2014 cité par GIZ, 2015)

La méthodologie d'agrégation des points qui a été adoptée pour chaque étape est décrite à la page 139 du Guide de référence sur la vulnérabilité Concept et lignes directrices pour la conduite d'analyses de vulnérabilité standardisées, (GIZ, 2015).

1.1.2.1. Exposition, sensibilité, impacts potentiels et vulnérabilité actuelle des infrastructures routières aux pluies extrêmes

- Exposition aux pluies extrêmes (R99P)

Les valeurs de pluie extrême moyennes dépassent 50 mm à Ziguinchor, Kédougou et Kolda (Tableau 3). Elles oscillent entre 30 et 40 mm au niveau de la zone centre et moins de 30 mm pour la zone nord avec les stations de Saint-Louis et Louga.

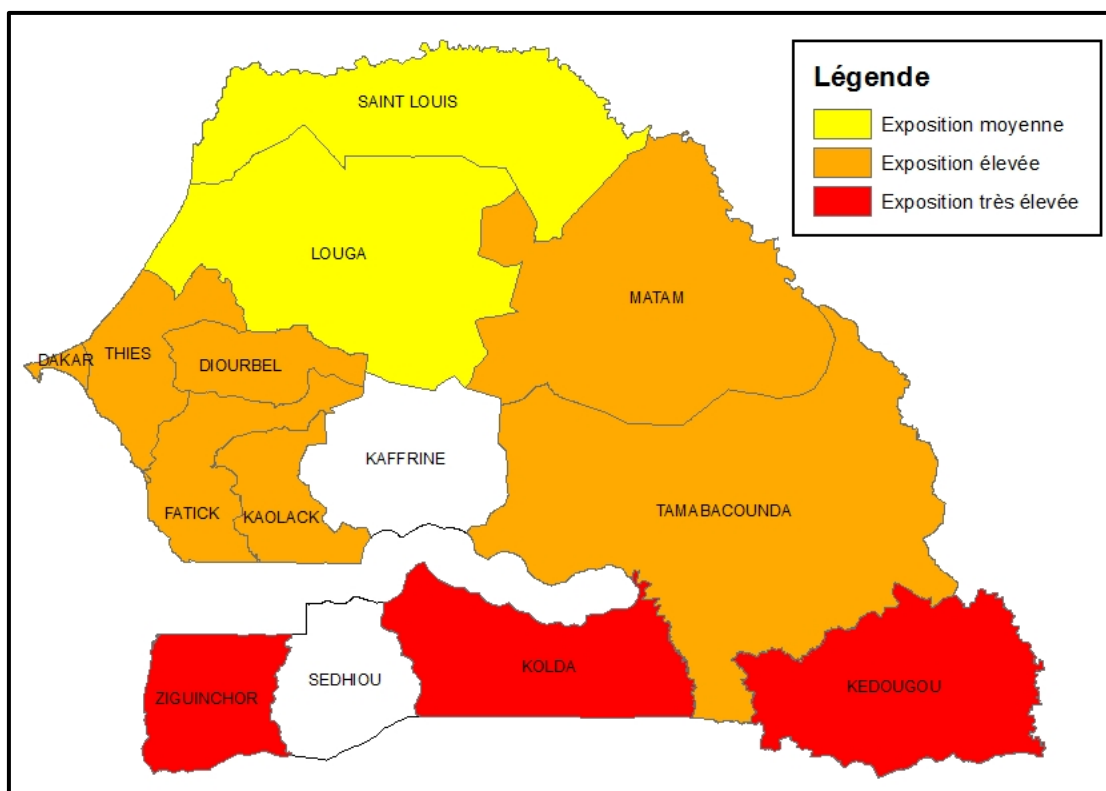
Tableau 2 : Valeurs moyennes des pluies extrêmes (R99P) par région entre 1981 et 2010

Station	R 99 p
Saint-Louis	23,1
Louga	26,8
Matam	31,6
Dakar	31,7
Thiès	35,6
Diourbel	34,8
Fatick	40,1
Kaolack	39
Tambacounda	41
Kolda	50,5
Kédougou	50,1
Ziguinchor	60,7

La classification des quantités obtenues au niveau des pluies extrêmes permet d'identifier 4 types d'exposition des infrastructures routières (tableau 4). Les régions Sud, en l'occurrence Ziguinchor, Kolda et Kédougou affichent une exposition actuelle très élevée de leurs infrastructures routières aux pluies extrêmes (carte 2). À Matam, Dakar, Thiès, Diourbel, Fatick, Kaolack et Tambacounda les infrastructures routières sont exposées de manière élevée aux pluies extrêmes. Saint-Louis et Louga affichent une exposition moyenne de leurs infrastructures routières aux pluies extrêmes.

Tableau 3 : Notation des pluies extrêmes

Quantité (mm)	Score	Niveau d'exposition
1 à 15 mm	1	Faible
15 à 30 mm	2	Moyen
30 à 45 mm	3	Élevé
Plus de 45 mm	4	Très élevé



Carte 2 : Exposition actuelle des infrastructures routières aux pluies extrêmes

- **Analyse de la sensibilité des infrastructures routières**

Pour l'analyse de sensibilité, nous avons considéré 4 indicateurs que sont la présence ou non d'un fleuve au niveau de la région d'implantation de l'infrastructure routière, la présence d'une zone estuarienne ou de bolongs, les expériences de submersion ou de ruptures de la route ou des ouvrages d'art comme les ponts recensés à travers les échanges avec les services techniques comme l'Ageroute, et l'état de la route (tableau 5). L'indicateur expériences de ruptures de routes ou d'ouvrages d'art et l'indicateur de présence de zones inondées (remplacé ici par la présence de zones estuariennes comme les bolongs) ont été considérés comme des indicateurs pertinents dans l'analyse de vulnérabilité de l'étude du Gulf Coast Study Phase 2 (Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: The Gulf Coast Study, Phase 2 (Task 3.1: Screening for Vulnerability)⁴.

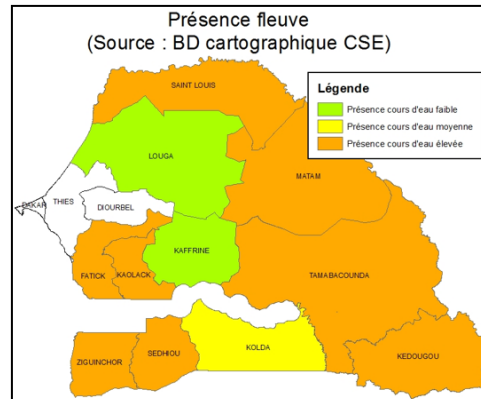
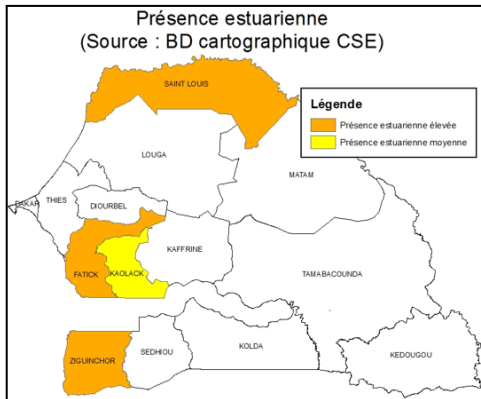
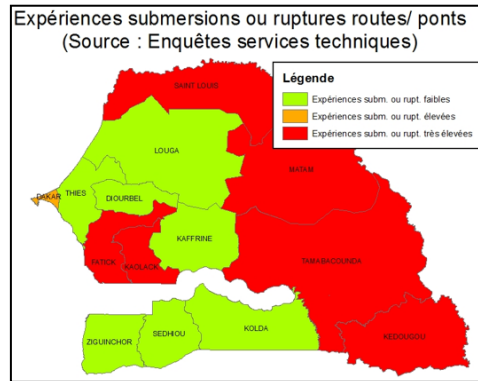
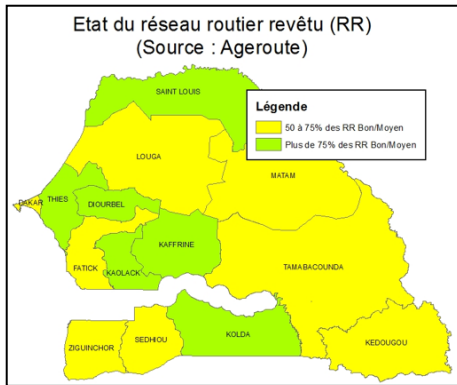
Tableau 4 : Appréciation sur une échelle de 1 à 5 des indicateurs de sensibilité pour l'analyse de la vulnérabilité par rapport aux précipitations extrêmes

Station	Score présence fleuve (Base de données cartographique du Centre de Suivi Ecologique)	Score présence estuarienne ou de bolongs (Base de données cartographique du Centre de Suivi Ecologique)	Expériences ruptures routes, ou submersion ponts (Données enquêtes services techniques)	État de la route (Données récentes Ageroute)	Total	Score
Saint-Louis	3	3	4	1	11	4
Louga	1		1	2	4	2
Matam	3		4	2	9	3
Dakar			3	2	5	2
Thiès			1	1	2	1
Diourbel			1	1	2	1
Fatick	3	3	4	2	12	4
Kaolack	3	2	4	1	10	4

⁴ Cette étude a été déroulée aux États Unis. Elle constitue actuellement une référence dans le cadre de l'analyse de la vulnérabilité des infrastructures de transport aux changements climatiques.

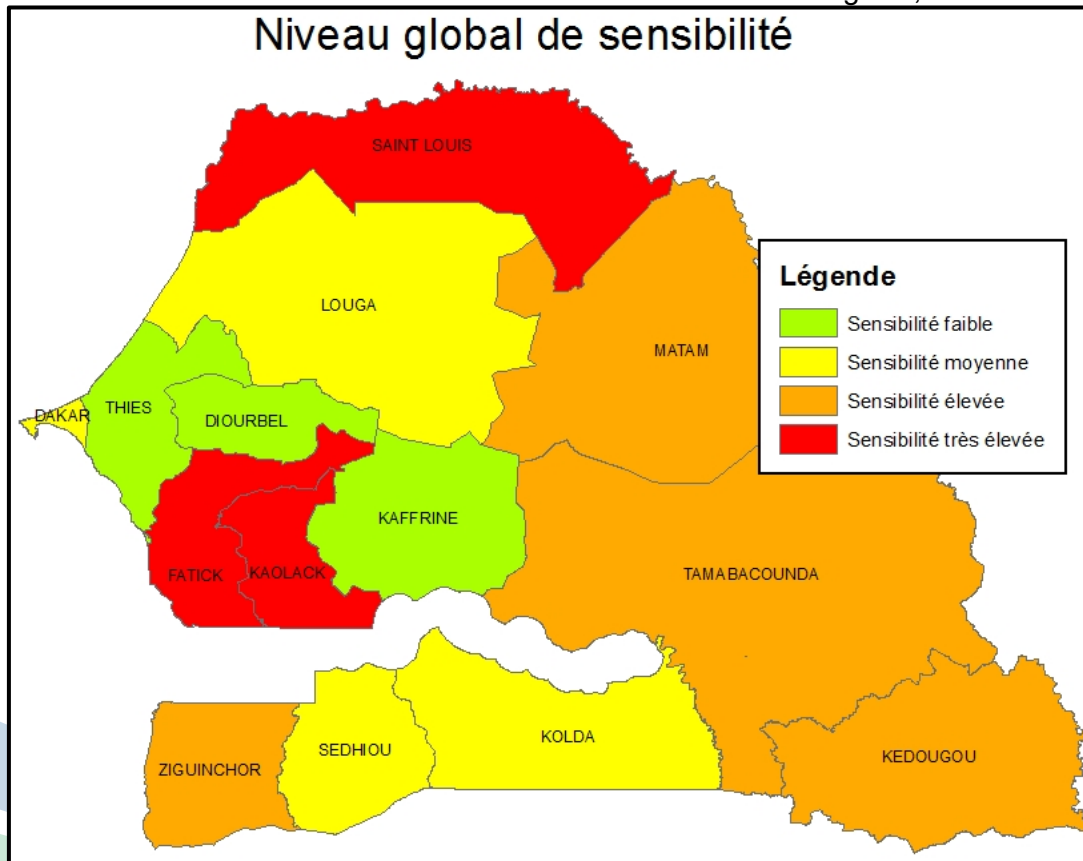
Station	Score présence fleuve (Base de données cartographique du Centre de Suivi Ecologique)	Score présence estuarienne ou de bolongs (Base de données cartographique du Centre de Suivi Ecologique)	Expériences ruptures routes, ponts ou submersion (Données enquêtes services techniques)	État de la route (Données récentes Ageroute)	Total	Score
Kaffrine	1		1	1	3	1
Tambacounda	3		4	2	9	3
Kolda	2		1	1	4	2
Kédougou	3		4	2	9	3
Sédhiou	3		1	2	6	2
Ziguinchor	3	3	1	2	9	3

- Indicateur état du réseau routier revêtu : les régions où plus de 75 % du réseau routier classé Bon/ Moyen sont Saint-Louis, Thiès, Diourbel, Kaolack, Kaffrine et Kolda (carte 3). Elles sont notées avec un score de niveau de dégradation faible soit 1. Le reste des régions connaît 50 à 75 % du réseau classé Bon/Moyen. Elles sont notées avec un score de niveau de dégradation moyen soit 2.
- Indicateur expériences submersion temporaire, ruptures routes ou ouvrages d'art : durant les enquêtes de terrain des cas de ruptures de routes, ponts ont été soulevés par les agents des services techniques. Dans les régions où ces situations ont été notées nous avons donné un score de 4 (sensibilité très élevée). C'est le cas à Saint-Louis, Matam, Fatick, Kaolack, Tambacounda et Kédougou.
- Indicateur présence estuarienne : les régions où les effets du marnage se font sentir présentent des risques élevés d'inondation des infrastructures qui le plus souvent les enjambent. À Saint-Louis, Fatick et Ziguinchor nous avons considéré un niveau de sensibilité élevé des infrastructures comme dans le cas de la route Tobor-Ziguinchor. Pour Kaolack, nous avons donné une note de 2, correspondant à une sensibilité moyenne.
- Indicateur présence fleuve : la présence d'un fleuve dans une zone d'implantation d'un ouvrage routier ou d'art comporte un risque d'inondation pour ces ouvrages notamment en période de forte pluie et/ou de crue. Dans les régions traversées par les cours d'eau comme les fleuves Sénégal, Sine-Saloum, Gambie et Casamance, nous avons considéré que le niveau de sensibilité pour les infrastructures routières était élevé avec une note correspondant à 3. À Kolda, la sensibilité a été considérée comme moyenne (notée 2) et faible à Louga et Kaffrine (notée 1).



Carte 3 : Sensibilité, à l'échelle régionale, des infrastructures routières

Globalement les régions de Saint-Louis, Fatick et Kaolack présentent un niveau de sensibilité très élevé de leurs infrastructures routières (carte 4). Matam, Tambacounda, Kédougou et Ziguinchor affichent un niveau de sensibilité élevé. Louga, Sédhiou et Kolda présentent un niveau moyen de sensibilité de leurs infrastructures routières. Dans le reste des régions, la sensibilité semble faible.



- Analyse de l'impact potentiel

Le croisement des scores obtenus au niveau de l'exposition et de la sensibilité donne les résultats suivants : les impacts potentiels sur les infrastructures routières sont très élevés à Fatick, Kaolack, Kédougou et Ziguinchor (tableau 6). Ils sont élevés à Saint-Louis, Matam, Dakar, Tambacounda et Kolda et moyens pour le reste des régions.

Tableau 5 : Impacts potentiels sur les infrastructures routières à l'échelle régionale

Stations	Impact potentiel	Station	Impact potentiel
Saint-Louis		Kaolack	
Louga		Kaffrine	
Matam		Tambacounda	
Dakar		Kolda	
Thiès		Kédougou	
Diourbel		Sédhiou	
Fatick		Ziguinchor	

- Analyse de la capacité d'adaptation

Du point de vue des infrastructures routières, nous allons considérer dans la capacité d'adaptation les efforts déployés par l'État pour entretenir les infrastructures routières du réseau classé⁵. Les routes sont prises en charge en fonction de leur niveau de dégradation. L'État du Sénégal confie cette tâche à des entreprises privées sous forme de contrat triennuel⁶. Partant de ces éléments, un score de 4 points coïncidant avec un faible niveau d'entretien des infrastructures routières est donné pour chaque région (tableau 7). Cette note va avec les niveaux de prise en charge des infrastructures routières par l'État du Sénégal, qui, d'après les informations relevées sur le terrain à travers les échanges avec les acteurs, sont encore insuffisants compte tenu des montants alloués chaque année⁷.

Tableau 6 : Indices capacité d'adaptation notés de manière inversée de 4 (faible) à 1 (très élevé)

Niveau d'entretien	Indice attribué de capacité d'adaptation
Entretien faible	4
Entretien moyen	3
Entretien élevé	2
Entretien très élevé	1

- Résultats analyse de vulnérabilité actuelle des infrastructures routières aux pluies extrêmes

La prise en compte de l'exposition, de la sensibilité, de l'impact potentiel et de la capacité d'adaptation a permis d'arriver aux constats suivants (carte 5) :

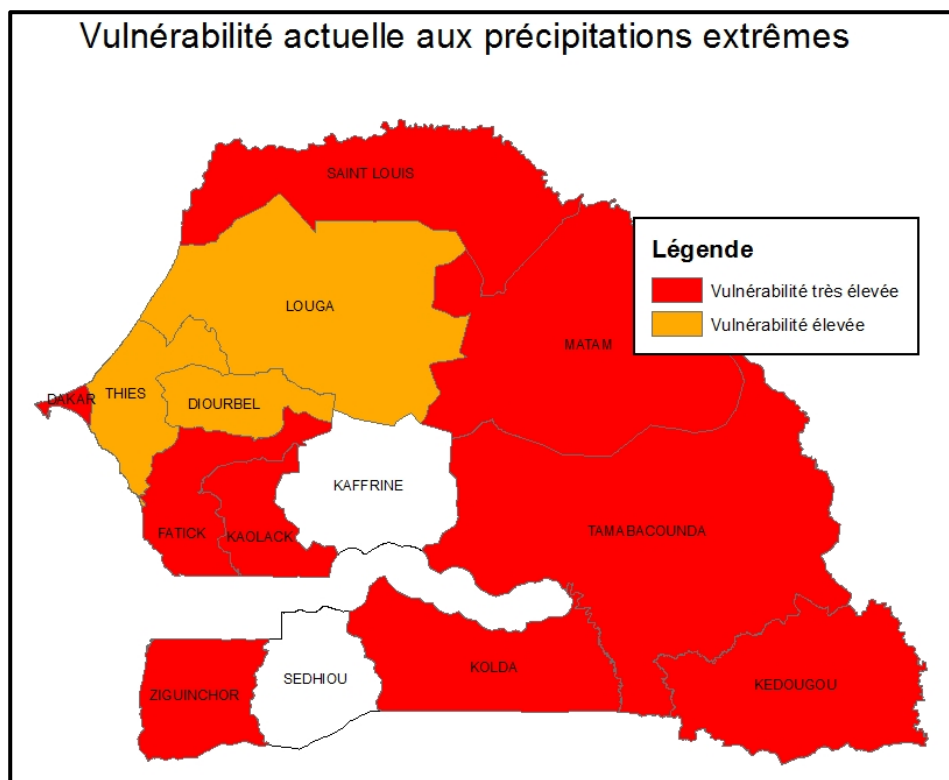
- dans les régions de Saint-Louis, Matam, Dakar, Fatick, Kaolack, Tambacounda, Kédougou, Ziguinchor et Kolda la Vulnérabilité actuelle des infrastructures routières est très élevée ;

⁵ Quatre niveaux d'entretien sont notés en fonction des niveaux de dégradation des routes : le renforcement, la réhabilitation, l'entretien périodique et l'entretien courant. Pour plus d'informations consulter Ageroute (2015) : *Catalogue de structures de chaussées neuves et Guide de dimensionnement des chaussées au Sénégal, Version 2 provisoire*, 202 p.

⁶ « Le Gouvernement du Sénégal met en place tous les trois ans, à travers le ministère des travaux publics et l'Ageroute, un Plan Triennal Glissant (PTG). Ce PTG est établi par un économiste des transports sur la base des campagnes d'inspections et d'auscultation du réseau (dégradations, sondages, déflexions, uni, etc.) et permet de définir une programmation : des travaux d'entretien périodique et courant, financés par le Fonds d'Entretien Routier Annuel (FERA) ; des travaux de renforcement et de réhabilitation, financés par le BCI ou des bailleurs de fonds. » (Ageroute, 2015, p. 163)

⁷ Le budget alloué par l'État du Sénégal pour entretenir les routes tourne chaque année autour de 50 milliards de francs CFA. D'après les enquêtes ce fonds est insuffisant pour prendre en charge de manière effective l'entretien des routes. C'est cette situation qui justifie d'ailleurs le fait que les niveaux de dégradation des routes semblent continuer, ce qui réduit leur durée de vie. Pour davantage d'informations sur ces aspects, consulter l'ouvrage de Dr Mohamed LAYE publié en 2022 à L'Harmattan Sénégal, intitulé « Atteindre la performance dans les grands projets d'infrastructures publiques : Le cas des travaux routiers au Sénégal ».

- à Louga, Thiès et Diourbel, la vulnérabilité des infrastructures routières est élevée.
- les régions de Kaffrine et Sédhiou comportent des données climatiques lacunaires c'est pour cela que leur niveau de vulnérabilité n'a pu être déterminé.



Carte 5 : Vulnérabilité actuelle des infrastructures routières aux pluies extrêmes

1.1.2.2. Analyse des indices de température

- **Analyse de l'Exposition des infrastructures routières aux températures élevées**

L'indice dénombrant les journées chaudes avec une température maximale supérieure ou égale à 35°C a été employé dans beaucoup de documents d'analyse de la vulnérabilité des infrastructures routières notamment le Vic Road en Australie mais aussi aux Etats-Unis par le Federal High Way Administration FHWA (FHWA, 2012) et en 2014 dans l'étude du Gulf Coast Study Phase 2 (Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: The Gulf Coast Study, Phase 2 (Task 3.1: Screening for Vulnerability)). C'est un indice qui est également utilisé par la Météorologie Australienne pour faire ressortir les journées chaudes avec des températures supérieures à 35 °C.

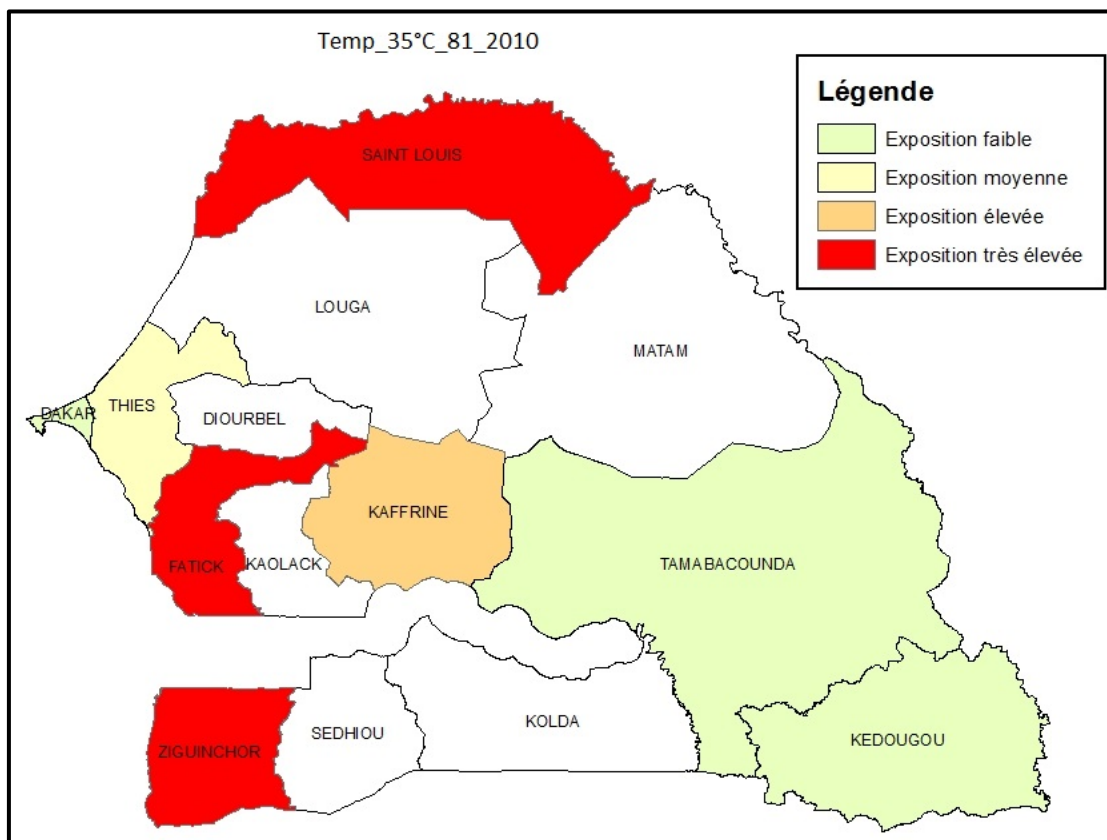
Les régions de Saint-Louis, Fatick et Ziguinchor affichent paradoxalement au gradient ouest-est d'accroissement de la température, une exposition très élevée de leurs infrastructures routières avec plus de 229 jours où les températures maximales atteignent ou excèdent 35°C (tableaux 8 et 9, carte 6). Kaffrine avec 229 jours présente une exposition élevée de ses infrastructures routières. À part Thiès où l'exposition des infrastructures routières est moyenne, les infrastructures dans les autres régions sont peu exposées.

Tableau 7 : Nombre moyen de jours à température supérieure ou égale à 35°C entre 1981 et 2010

Station	Moy.
Saint-Louis	233
Dakar	222
Thiès	226
Fatick	232
Kaffrine	229
Tambacounda	220
Kédougou	178
Ziguinchor	233

Tableau 8: Niveaux de notation des nombres de jours à température supérieure ou égale à 35°C

Nombre de jours	Score
Moins de 223	1
223-226	2
226-229	3
Plus de 229	4



Carte 6 : Exposition actuelle, à l'échelle régionale, des infrastructures routières aux températures élevées

- Analyse de la sensibilité

Pour l'analyse de la sensibilité des infrastructures routières par rapport aux températures élevées, l'étude du Gulf Coast Study Phase 2 (Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: The Gulf Coast Study, Phase 2, Task 3.1: Screening for Vulnerability) propose 3 indicateurs : le niveau de performance du bitume (pavement binder)⁸, l'expérience passée (past experience) et le trafic journalier des poids lourds (truck traffic). Dans cette étude, étant donné que les effets des poids lourds sur les chaussées sont indexés durant nos enquêtes comme faisant partie des facteurs les plus importants de dégradation des routes (apparition d'ornières ou déformation des chaussées) avec l'effet des températures élevées, nous allons considérer ici comme indicateur le trafic journalier des véhicules de transport de marchandises ou poids lourds. Les informations récentes obtenues de l'Ageroute à partir de leurs postes de pesage (MITTD/ Ageroute, août 2021 : Organisation et exécution d'une campagne de comptage, de pesage et

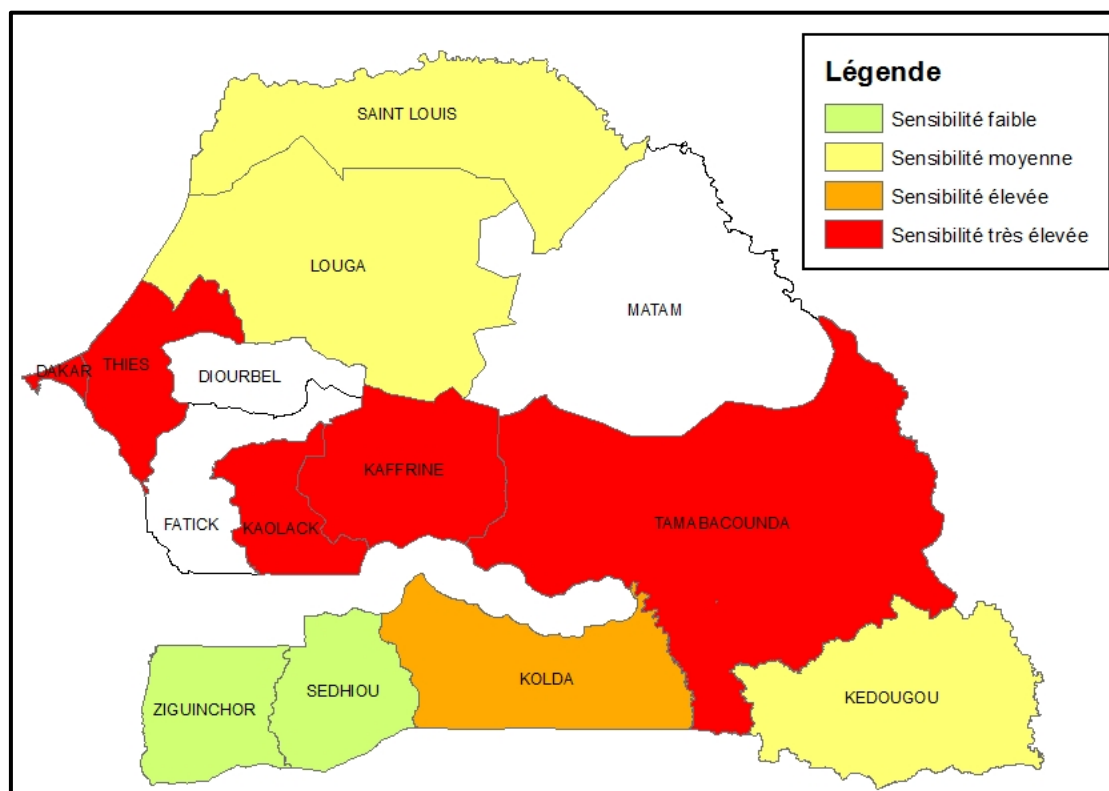
⁸ D'après le *Catalogue de structures de chaussées neuves et Guide de dimensionnement des chaussées au Sénégal* (2015, p. 62) « Les bitumes employés au Sénégal proviennent de raffineries étrangères (Italie, Pologne, Belgique, Brésil, Thaïlande, etc.). Les bitumes sont importés dans des navires spécialisés par les sociétés implantées dans le port de Dakar. Ils sont ensuite transportés en citerne ou en bitu-container. Les produits disponibles sont les bitumes purs (grade 35/50 ou 40/50 et 50/70 ou 60/70 le plus souvent - selon le référentiel EN ou ASTM), les bitumes modifiés, les émulsions de bitume et les cutback 0/1 et 400/600 (selon le référentiel EN ou ASTM). Les autres grades de bitumes peuvent également être importés à partir d'un certain volume (500t par exemple). Le recours au bitume de grade plus dur (grade 10/20 ou 20/30) permet d'augmenter le module des enrobés en usage dans la formulation des BBME et EME. Il conviendra toutefois de rester vigilant sur l'emploi de grades durs obtenus par soufflage ou semi-soufflage, trop oxydés, en couche de roulement, car l'oxydation et le vieillissement en place par les rayons ultra-violettes engendrent un risque de fissuration thermique par le haut liée à une rigidité trop grande du liant. Avant la généralisation de cette technique, des chantiers expérimentaux seraient à réaliser et à accompagner d'un suivi annuel. »

d'enquête O/D sur le réseau routier classé. Annexe D-Exploitations des résultats, comptages automatiques, 347 pages) nous ont permis de sortir quatre classes avec pour chacune un score donné (tableau 10). Ces niveaux de trafic sont ceux des axes traversant les différentes régions mais ils sont limités au niveau du réseau classé.

Tableau 9 : Classification du trafic journalier des véhicules transportant des marchandises ou poids lourds

Trafic journalier en nombre de poids lourds (PL)	Score	Appréciation
1-250	1	Faible
250-500	2	Moyen
500-750	3	Elevé
Plus de 750	4	Très élevé

Les régions où les infrastructures routières présentent un niveau de sensibilité très élevées sont Dakar, Thiès, Kaolack, Kaffrine et Tambacounda (carte 7).



Carte 7 : Sensibilité, à l'échelle régionale, des infrastructures routières

La région de Kolda présente un niveau de sensibilité élevée tandis que Saint-Louis, Louga et Kédougou affichent un niveau de sensibilité moyen. À Ziguinchor et Sédhiou, on note un faible niveau de sensibilité des infrastructures.

- Analyse de l'impact potentiel

L'impact potentiel des températures sur les infrastructures routières est élevée à Saint-Louis, Dakar, Thiès, Tambacounda et Ziguinchor (tableau 11). Il est moyen et très élevé à Kédougou et Kaffrine.

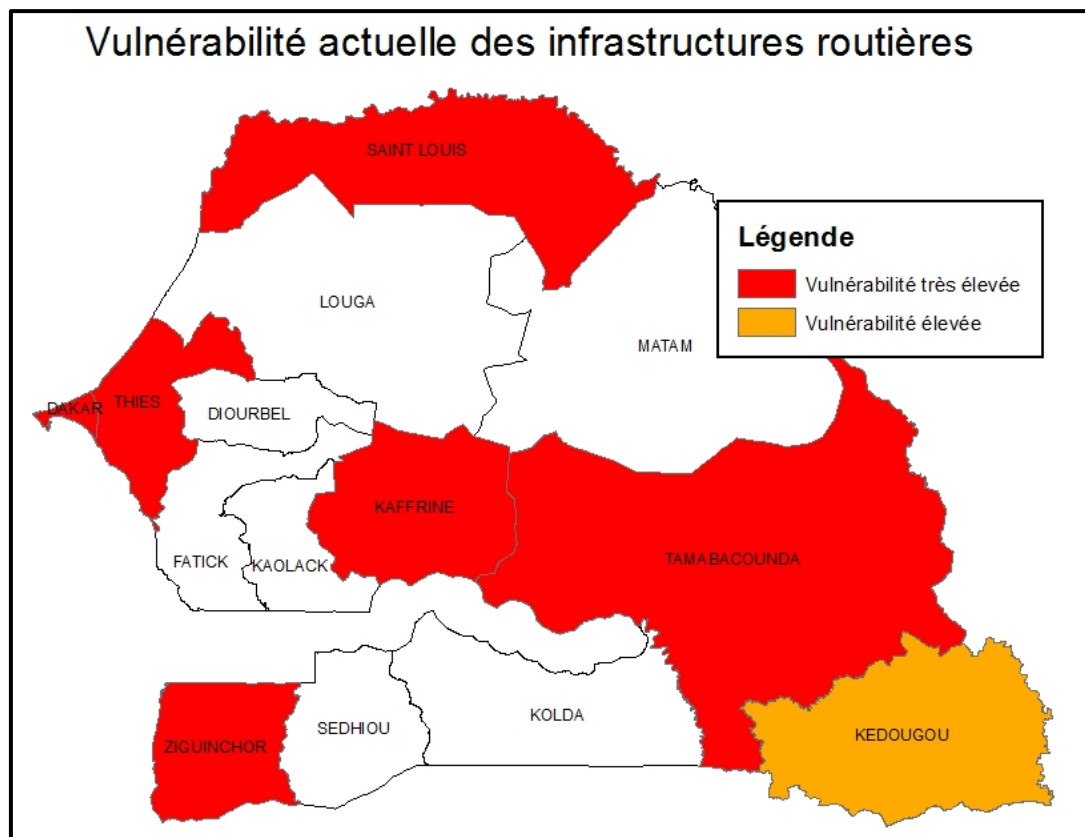
Tableau 10 : Impacts potentiels des températures élevées sur les infrastructures routières

Stations	Impact potentiel	Station	Impact potentiel
Saint-Louis		Kaolack	
Louga		Kaffrine	
Matam		Tambacounda	
Dakar		Kolda	
Thiès		Kédougou	
Diourbel		Sédhiou	
Fatick		Ziguinchor	

- **Résultats analyse de la vulnérabilité actuelle des infrastructures routières aux températures élevées**

Au terme du processus d'analyse de la vulnérabilité, les constats suivants se dégagent (carte 8) :

- à part Kédougou où la vulnérabilité des infrastructures routières est élevée, le reste des régions a un niveau de vulnérabilité très élevé.



Carte 8 : Vulnérabilité actuelle, à l'échelle régionale, des infrastructures routières aux températures élevées

1.1.3. Impacts de la pluie et des températures sur les usagers de la route

D'après les échanges obtenus avec les usagers de la route, en l'occurrence les transporteurs, la pluie reste le principal élément climatique pouvant avoir des impacts sur les infrastructures routières et globalement le secteur des transports.

1.1.3.1. Impacts de la pluviométrie

D'après les transporteurs, les impacts les plus importants liés à la pluviométrie concernent : la dégradation des véhicules qui peuvent avoir leurs moteurs exposés en cas de passage avec le véhicule dans de l'eau (figure 4). Les pneus des véhicules peuvent être gondolés à cause du contraste thermique sans oublier les problèmes de freinage que pourrait entraîner le manque d'adhérence. Les organes des véhicules peuvent être dégradés avec l'état des routes qui peut cahoteux (surtout en cas de présence de nids de poule). À côté de ces impacts qui concernent de manière directe les véhicules, il existe plusieurs impacts secondaires. Il s'agit entre autres des déviations que peuvent subir les transporteurs, les changements de destination des clients et la variation des tarifs qu'elles peuvent causer, la réduction des activités des transporteurs qui préfèrent garer souvent leurs véhicules, des problèmes d'inconfort avec l'eau qui peut parfois pénétrer dans le véhicule.

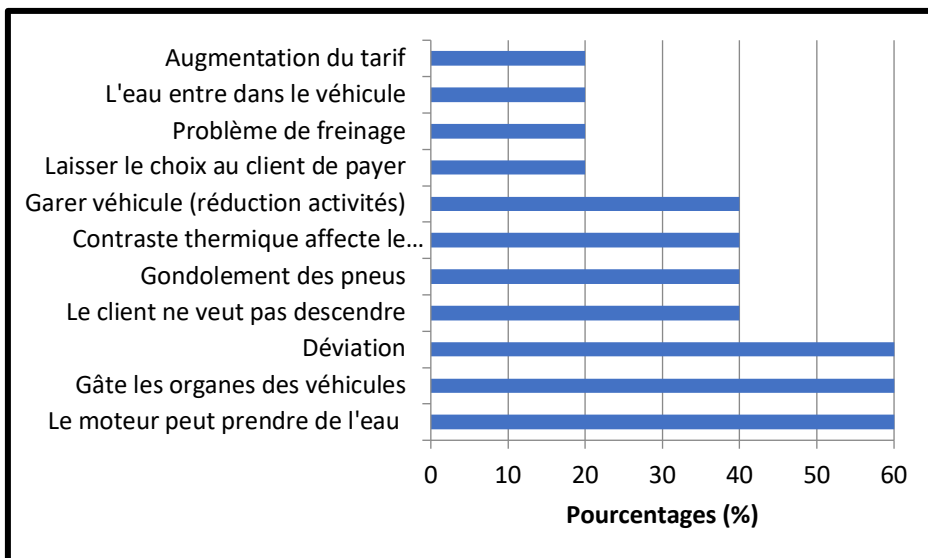


Figure 4 : Impacts des risques climatiques sur les usagers de la route

1.1.3.2. Impacts de la température

Au niveau des véhicules, l'impact le plus notable est noté au niveau des pneus (figure 5). Les pneus sont gondolés en hivernage à cause des contrastes. En effet, lorsque le véhicule pénètre ou roule dans de l'eau stagnante et en ressort, le contraste créé par la chaleur (avant passage véhicule), le froid (pendant le passage du véhicule) et la chaleur (à la sortie du véhicule) entraîne un gondollement des pneus des véhicules. Ces gondollements rendent les véhicules instables pendant leur fonctionnement il peut s'en suivre des accidents. Le même taux d'enquêtés ayant fait cette remarque soutient que le moteur est également affecté par la chaleur et du coup tient mieux dans des conditions thermiques fraîches. Enfin, 20 % des interviewés ont noté le fait que la chaleur est désagréable au conducteur surtout aux heures les plus chaudes de la journée.

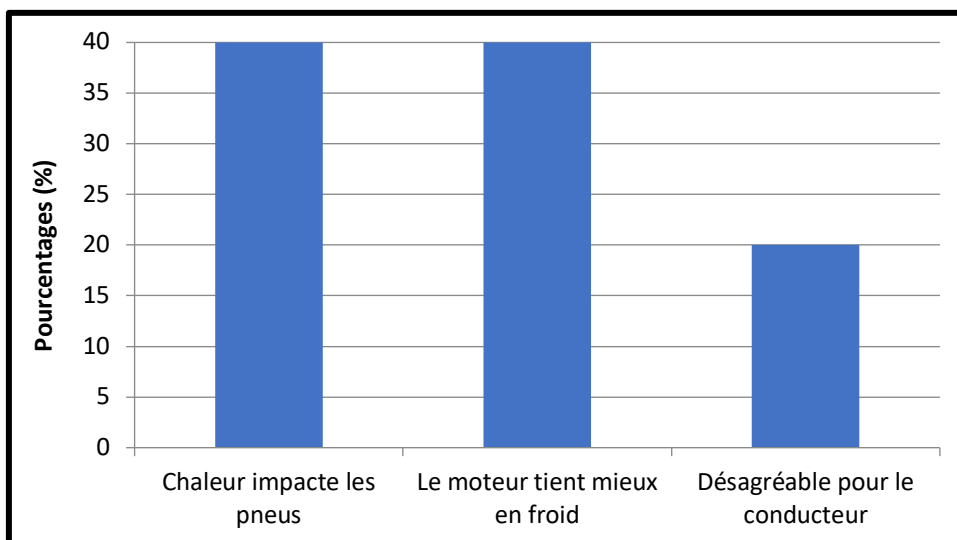


Figure 5 : Impacts signalés par les usagers de la route

1.1.4. Caractérisation des événements climatiques et de leurs impacts par les agents techniques

Au-delà de la première appréciation obtenue sur le plan scientifique (analyse des paramètres climatiques identifiés comme impactant les infrastructures) et des échanges obtenus avec les usagers de la route, les agents techniques nous ont donné leur appréciation sur les événements climatiques, qui est beaucoup plus affinée. Cette caractérisation des risques et de leurs impacts commence par l'identification des différentes composantes des infrastructures routières, l'identification des aléas climatiques auxquels elles s'exposent, les impacts et les options d'adaptation.

1.1.4.1. Principales composantes des infrastructures routières

Les entretiens avec les services techniques ont fait ressortir l'existence de 3 grandes catégories d'infrastructures routières : les routes revêtues, les routes non revêtues et les ouvrages d'art et d'assainissement. La nature de chacune de ces catégories est précisée dans le tableau 12.

Tableau 11 : Principales composantes des infrastructures routières relevées par les spécialistes

Typologie des infrastructures	Nature des infrastructures
Routes revêtues	Routes bitumées
	Routes en pavés
Routes non revêtues	Pistes
	Pare-feux
Ouvrages d'art et d'assainissement	Dalots
	Ponts
	Radiers
	Caniveaux
	Fossés

1.1.4.2. Principaux événements climatiques qui impactent les infrastructures routières

D'après les échanges avec les agents techniques les principaux événements climatiques qui impactent davantage les infrastructures sont les inondations, les fortes précipitations et les températures élevées (figure 6). A par ces trois événements climatiques nous relevons les vents forts (relevés par 60 % des interviewés), le ruissellement des eaux de pluie, les nappes affleurantes et la salinisation (40 % chacune) et enfin l'amplitude des marées.

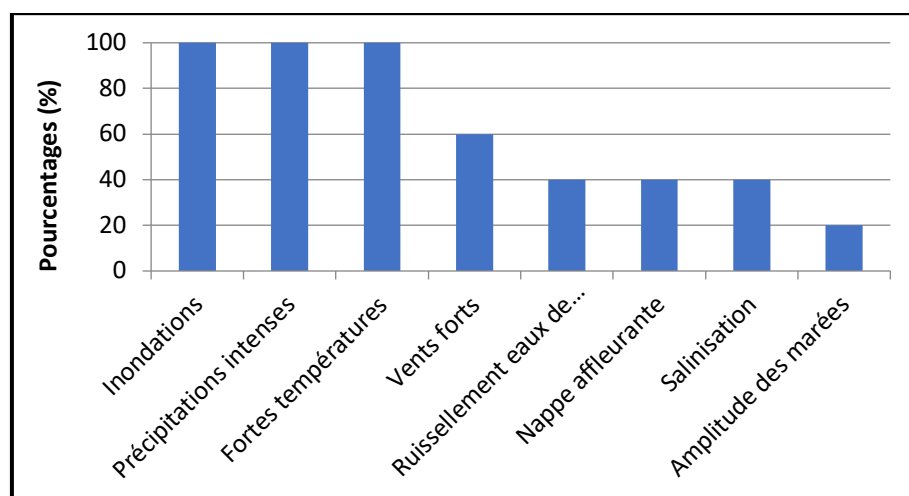


Figure 6 : Les événements climatiques identifiés par les agents techniques

1.1.4.3. Matrice d'exposition aux événements climatiques

Les consultations ont fait ressortir deux aspects permettant de caractériser clairement la vulnérabilité des infrastructures routières à la variabilité actuelle et aux changements climatiques (tableau 13).

- Du point de vue des infrastructures, ce sont les routes non revêtues qui sont les plus exposées aux effets de la variabilité climatique actuelle avec un indice d'exposition de 26. Elles sont suivies des ouvrages d'art et d'assainissement et des routes revêtues.
- Du point de vue des événements climatiques, ce sont les fortes précipitations qui ont l'impact le plus important sur les infrastructures routières avec un score cumulé de 14. Elles sont suivies des inondations liées au ruissellement ou à l'écoulement des eaux avec un score de 12, des inondations liées à la crue fluviale et des effets liés aux amplitudes de marée (cas de l'axe revêtu sous forme de pavés portant sur une distance de près de 7 km, Tobor-

Ziguinchor) avec un score de 11 partout. S'ensuivent les vents forts, la salinisation, les fortes températures et des nappes affleurantes avec des scores de 9, 7, 6 et 5.

Tableau 12 : Matrice d'exposition des types d'infrastructures aux événements climatiques notés de 1 à 5

Types d'infrastructures	Inondations (crue fluviale)	Précipitations intenses	Températures élevées	Vents forts	Inondation (ruissellement des eaux)	Nappe affleurante	Salinisation	Amplitude des marées	Indice d'exposition
Routes revêtues	3	4	4	2	3	2	2	5	25
Routes non revêtues	5	5	1	4	4	2	2	3	26
OAA	3	5	1	3	5	1	3	3	24
Score	11	14	6	9	12	5	7	11	

1.1.4.4. Les impacts des aléas climatiques sur les infrastructures routières

Après avoir identifié les principaux événements climatiques et établi le tableau d'exposition des infrastructures routières à ces derniers, les échanges ont permis de recueillir çà et là leurs différents impacts sur les infrastructures routières. Le tableau 14 affiche les impacts notés au niveau des routes revêtues, le tableau 15 pour les routes non revêtues et le 16 pour les ouvrages d'art et d'assainissement.

Tableau 13 : Principaux impacts des aléas climatiques sur les routes revêtues

Risques	Impacts recensés
Inondations liées au ruissellement	Érosion au niveau des accotements, ravinement des talus, réduction de la résistance couches inférieures (risque d'affaissement), coupure de routes, réduction de la mobilité.
Précipitations intenses	Coupure des routes, fissuration, nid de poule, enclavement de certaines localités, impact sur la performance des véhicules avec le manque d'adhérence, impact sur la mobilité des personnes et des biens, insécurité routière, augmentation de la fréquence de maintenance hivernale des routes, diminution des vitesses, diminution des débits de trafic.
Fortes températures	Ornières, fissuration thermique, réduction confort par les températures élevées (augmentation conso carburant avec la climatisation du véhicule, réduction des performances du véhicule, éclatement des pneus), réduction de la durée de vie de l'infrastructure.
Vents forts	Ensablement, insécurité liée à la stabilité des véhicules avec la force du vent, risque de chute d'objet sur la route (arrachement de branches d'arbres et obstruction de la route), réduction de la visibilité, insécurité routière, chute des panneaux de signalisation (verticale).
Amplitudes de marées	Route inondée, interruption du trafic routier, insécurité routière, dégradation des véhicules, inconfort des usagers.
Nappe affleurante	Réduction de la durée de vie de l'ouvrage.
Salinisation	Altération de la résistance des matériaux.

Tableau 14 : Principaux impacts des risques climatiques sur les routes non revêtues

Risques	Impacts recensés
Inondations crue fleuve	Coupure de pistes, pertes de matériaux, enclavement, impacts sur la production (pistes de production) dégradation des pistes (apparition nids de poule, tôle ondulée, tête de chat).
Inondations liées au ruissellement	Coupure de piste, pertes de matériaux, impact sur les productions (charriage des éléments du sol vers les champs et vice-versa, pertes de terres arables), ravinement, déstructuration du sol (compaction du sol qui devient moins perméable) dégradation des pistes (apparition nids de poule, tôle ondulée, tête de chat), traverse (passage de l'eau au-dessus, départ de matériaux (matériaux)).
Précipitations intenses	Coupure des routes, passage supérieur de l'eau (l'eau traverse la route) enclavement de certaines localités, impact sur la performance des véhicules avec le manque

Risques	Impacts recensés
	d'adhérence, impact sur la mobilité des personnes et des biens, insécurité routière, dégradation des pistes (apparition nids de poule, tôle ondulée, tête de chat).
Vents forts	Départ des particules fines, érosion, absence de visibilité avec la poussière soulevée (insécurité routière), dégradation des véhicules.
Nappe affleurante	Réduction de la durée de vie de l'ouvrage.
Salinisation	Altération de la résistance des matériaux.

Tableau 15 : Principaux impacts des risques climatiques sur les ouvrages d'art et d'assainissement (OAA)

Risques	Impacts recensés
Inondations crue fleuve	Affaissement des ouvrages, ravinement sur les protections des ouvrages, rupture d'ouvrage, enclavement des localités, impacts sur la production.
Inondations liées au ruissellement	Ensablement et obstruction des ouvrages diminuant les sections par les débris comme les branches, affouillement des ouvrages causant des affaissements, rupture, affaissements, affoulement, ravinement, réduction des sections due aux arbres.
Précipitations intenses	Rupture, ensablement et obstruction des ouvrages diminuant les sections par les débris comme les branches, affouillement des ouvrages causant des affaissements, ravinement, débordement.
Fortes températures	Dilatation excessive, effets sur les matériaux utilisés.
Vent	Ensablement et obstruction des ouvrages diminuant les sections par le sable, ensablement sur les ponts bouchant les trous d'évacuation d'eau et causant des ravinements sur les culés des ponts en hivernage (phénomène observé au pont de Matam).
Nappe affleurante	Réduction de la durée de vie de l'ouvrage.
Salinisation	Altération des matériaux causant la réduction de la durée de vie de l'infrastructure.

1.1.4.5. **Autres facteurs ou facteurs aggravant les impacts des risques climatiques**

À part le climat, d'autres facteurs non climatiques favorisent la dégradation des routes. D'après les enquêtes, il s'agit de l'absence de canalisation, du manque d'assainissement, le bouchage des égouts dont les couvercles ont été vandalisés, les normes de construction des routes et les surcharges à l'essieu, enfin les tranchées ouvertes par les structures enterrant des tuyaux ou des câbles comme la Sénégalaise des Eaux (SDE) ou la Société Nationale d'Électricité du Sénégal (SENELEC).

L'absence de canalisation : elle favorise aussi la dégradation des routes dans les villes. Après une pluie si l'eau s'écoule ou est drainée, cela ne la gêne pas. Par contre, si l'eau stagne cela finira par gêner la route.

Le manque d'assainissement : les eaux usées déversées parfois sur les routes, les huiles usées provenant des véhicules et le gasoil participent aussi à cette fragilisation de la route.

Les égouts non fermés ou bouchés (photos 1 à 3) : le vandalisme noté au niveau des couvercles des caniveaux les expose à l'obstruction. Les caniveaux sont parfois remplis de débris ou éléments externes provenant de la surface terrestre comme c'est le cas avec le sable drainé par les eaux de ruissellement. Celui-ci finit par boucher les trous des regards. Les caniveaux sans couvercles peuvent aussi servir de déversoirs d'eaux usées et d'impuretés dans les villes.



Photo 1 : Regards bouchés à Colobane



Photo 2 : Regards bouchés à Colobane avec des eaux usées, couvercle vandalisé et mise en place de pneus pour signaler sa présence



Photo 3 : Regards bouchés à Colobane avec des eaux usées, couvercle vandalisé et mise en place de pneus pour signaler sa présence

Les normes de construction des routes et la surcharge à l'essieu : d'après le président des transporteurs de la Gare de Colobane, la manière de construire les routes est le facteur numéro 1 justifiant leur dégradation. Les routes sont dimensionnées de sorte qu'elles ne peuvent pas supporter des charges à l'essieu de plus de 13 tonnes. Il étaye son propos par le fait, dit-il, que les nouvelles routes se dégradent précocement, au bout de deux ans⁹.

Globalement, le dépassement des poids à l'essieu fait partie des facteurs les plus importants qui participent à la fragilisation des routes. En effet, les routes du Sénégal sont conçues pour supporter des charges qui sont aujourd'hui dépassées par les nouveaux véhicules importés de poids lourds. C'est le cas au niveau des corridors. Les poids des véhicules endommagent les routes. C'est le cas au niveau de l'axe Dakar, en passant par Kaolack, Tambacounda, jusqu'au niveau des pays frontaliers comme le Mali.

Récemment une campagne a dénoncé la surcharge à l'essieu considérée comme étant le premier facteur de dégradation des routes, à hauteur de 50 %.¹⁰

Les tranchées ouvertes et pas correctement refermées par la SDE ou la SENELEC sont aussi relevées comme favorisant la dégradation des routes.

⁹ La route qui passe par Tengueth pour aller à Diamniadio est en proie chaque année à une dégradation. D'après l'interviewé, les ambitions de développement de nos pays devraient les pousser en prendre en compte dans la construction des nouvelles routes, la prévision de charges à l'essieu plus importantes. « Nos routes supportent 4 à 5 essieux et nos essieux supportent 11 tonnes 500 même 13 tonnes (un surplus de 1,5 tonne à 2 tonnes est toléré). Les occidentaux ont des camions qui font 10 essieux (au minimum 5 essieux et plus). Les camions importés vont même jusqu'à 19 T. L'économie demande qu'on ait plus d'essieux. On ne peut plus continuer à faire 1000 camions de 4 essieux alors qu'on peut faire 500 camions de 8 essieux ». Il termine son propos en incriminant le règlement 14 de l'UEMOA qui, dit-il, devrait être revu.

¹⁰ Campagne de PAGOTRANS sur la surcharge à l'essieu du 30 mai au 04 juin 2022 (RTS, 02 juin 2022).

En gros, les facteurs aggravants sont entre autres : les manquements liés à l'exécution des travaux, l'utilisation de matériaux non adaptés, le problème lié à la disponibilité du matériau (certaines roches peuvent être difficilement accessibles en ayant, par exemple, leurs sites éloignés des lieux d'exécution des travaux routiers), les ressources humaines (personnel non qualifié), l'absence d'assainissement de la route, le défaut d'entretien des infrastructures, l'insuffisance des ressources financières, l'option politique, le sous dimensionnement des ouvrages d'art et d'assainissement, la surcharge à l'essieu, l'absence de protection des pistes, l'absence de protection des ouvrages, la connaissance sommaire de la zone de projet et la non prise en compte des facteurs à risque, le non-respect des cahiers de charges, l'incapacité à interpréter l'information climatique, le mauvais compactage (défaut de mise en œuvre), l'insuffisance d'ouvrage au niveau

1.1.5. Exemples d'événements climatiques à fort impact sur les infrastructures routières

- Exemple récent de rupture de la route causée par les excédents de pluie

En 2021, une pluie exceptionnelle a causé la rupture de la route de l'axe Thilogne - Oourossogui. 116 mm ont été reçus dans la nuit du 01^{er} au 02 août 2021 (photo 4). D'après les échanges réalisés avec la population par les agents de l'Ageroute, ce phénomène pluviométrique n'avait pas été observé dans la zone depuis 30 ans¹¹. Le tableau 17 retrace les impacts notés sur la route.

Tableau 16 : Impacts notés sur la route tels que décrits par le rapport de l'Ageroute

Localisation	Constats
Oourossogui, Voirie 1	Immersion de la route à cause de l'absence de fossés
PK 41+000 (OH 68bis)	Présence de débris en amont de l'ouvrage
Sinthiou Mogo (OH64)	L'eau a failli monter sur la route
PK 36+050	L'eau a traversé la route causant des dommages sur le talus
PK 35+050 (OH60bis)	L'eau est montée sur une partie de la chaussée
PK 34+400	L'eau est montée sur une partie de la chaussée
PK 37+500	L'eau est montée sur une partie de la chaussée
PK 24	L'eau est montée sur une partie de la chaussée
Nabadji	Stagnation des eaux au pied de talus
OH 14bis	Tassement au niveau du matériau de fermeture de l'ouvrage
OH 14	-le remblai de fermeture est totalement emporté par le ruissellement -Inclinaison de l'ouvrage -Section de l'ouvrage insuffisante
Du PK4+604 (OH10) au PK5+350 (OH12)	-l'eau a traversé la route -présence de débris en amont de l'OH12
OH Goudoudé	La longueur de l'ouvrage est jugée très petite par rapport au lit

¹¹ AGEROUTE (août 2021) : Procès-verbal de visite de terrain, 5 p.



OH 14

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'R' followed by a horizontal line.



Photo 4 : Ruptures de routes

Ces événements pluviométriques extrêmes ayant conduit à des ruptures de route ont été observés en 2003 au nord de Kanel à la suite de 152 mm de pluie reçus en 24 heures¹². En 2005, les fortes précipitations reçues ont causé la rupture de la route au niveau du kilomètre 14, sur la route de Rufisque, à hauteur de Tivaouane-Diacksao¹³.

- **Exemple récent de rupture de la route causée par la crue fluviale**

En 2020, d'importantes quantités de pluie ont été reçues au Sénégal. Les fortes quantités de pluie reçues ont entraîné la montée du niveau de l'eau du fleuve Sénégal. La route a été coupée au niveau de l'île à Morphil. Le tableau 18 rappelle les différents dégâts habituellement observés au niveau des parties les plus vulnérables de la route. Ce sont les tronçons suivants : Alwar-Démeth-Cas Cas (86 km), Cas Cas-Madina Ndiathbé-N2 (21 Km environ) et Cas Cas-Saldé-Pété (environ 47 Km).

Tableau 17 : Tronçons affectés par les dégâts liés à la crue fluviale¹⁴

Tronçon	Dégâts
Alwar - Démeth - Cas Cas (86 km)	Présence de zones de bourbiers, de stagnation d'eau et de ravinements. Il y a une absence de fossés latéraux qui fait que la route constitue un réceptacle des eaux ou un chenal de drainage des eaux qui ruissellent. Les bourbiers apparaissent au niveau des points bas pendant la saison des pluies. Érosion régressive et eaux de débordement du fleuve Sénégal.
Cas Cas-Madina Ndiathbé-N2 (21 Km environ)	Du fait des conditions géomorphologiques (présence de bas-fonds, dépressions et rivières, etc.), emportement partiel ou total de la couche de latérite par les eaux de pluie.
Cas Cas-Saldé-Pété (environ 47 Km)	Forte érosion de la couche de latérite liée aux pentes importantes qui vont vers le fleuve à gauche de la route et aux bas-fonds à droite de la route.

- **Submersion du tronçon passant par le baobolong situé sur la route Niore-Keur Ayip**

¹² Source : <https://floodobservatory.colorado.edu/2003202.html>

¹³ Source : <https://www.bbc.com/afrique/monde-58435202>

¹⁴ Source tableau : Ageroute, 2019

Pendant l'hivernage 2010, le tronçon qui passe sur le baobolong de la route de Niore-Keur Ayip a été inondé. L'élévation du niveau de l'eau a entraîné la submersion du tronçon du 7 au 8 octobre 2010 soit pendant 48 heures. Cette inondation a interrompu la circulation pendant ces deux jours. L'avant-dernière submersion a été observée il y a 10 ans de cela d'après les informations de l'Ageroute Centre, soit sûrement en 2000. Cette situation a impacté 1508 véhicules (tableau 19).

Tableau 18 : Niveau du trafic routier

Axes	Trafic en nombre de véhicules
Dinguiraye-Nioro	850
Nioro-Baobolong	938
Baobolong-Keur Ayip	473
Moyenne	754

L'interruption de la desserte peut imposer un changement d'itinéraires. Etant donné que l'essentiel des passagers empruntant l'axe vont vers le Sud, nous nous sommes basés sur une étude de la JICA de 2011 pour évaluer la perte en temps que ce détour a engendré. Deux axes ont été pris en compte par l'étude dont le plus court pour se rendre à Ziguinchor avec comme point de départ Kaolack est la RN5 (Kaolack – Banjul – Ziguinchor), soit 262 km (tableau 20). La RN 6 est de loin la plus longue, de Kaolack, en passant par Tambacounda à Ziguinchor, elle fait 687 km. Les pertes seront de 13 mn pour le premier cas et de presque 9 heures pour le second cas. À part cela même le trajet du ferry, qui passait par Banjul, était plus important de + 20 mn.

Tableau 19 : Distance en km, en mn et temps de trajet¹⁵

	RN 4	RN5	RN6	RN5 – RN4	RN6-RN4	Moyenne
Distance en km	251	262	687	+11	+436	223,5
Distance en mn	301	314	824	+13	+523	268
Temps de trajet ferry	10	30		+20		

- Événements pluviométriques extrêmes et impacts à Dakar

En 2005, 2012 et 2015 des pluies intenses ont entraîné des impacts sur les infrastructures routières et conséquemment sur le secteur des transports (tableau 21).

Tableau 20 : Risques climatiques et impacts à Dakar

Risque climatique	Année	Impacts
Pluies intenses	2005	Détérioration du tronçon Patte d'oie-Mbao
Pluies intenses	2012	Rn1 déviée vers route de Boune
Pluie de 140 mm	2015	Inondation de Colobane pendant 24h

1.2. Analyse de la vulnérabilité future

1.2.1. Analyse de la vulnérabilité future aux pluies extrêmes

- L'exposition future aux pluies extrêmes

Les valeurs de pluie extrêmes connaîtront des augmentations aussi bien pour le moyen horizon que l'horizon lointain.

Entre 2031 et 2060, les projections prévoient les augmentations les plus importantes à Matam, Ziguinchor et Kédougou avec plus de 90 mm (tableau 22). Les stations de Thiès et Diourbel connaîtront une augmentation de + 82,4 et 80,2 mm. Le reste des stations connaîtra des augmentations inférieures à 80 mm.

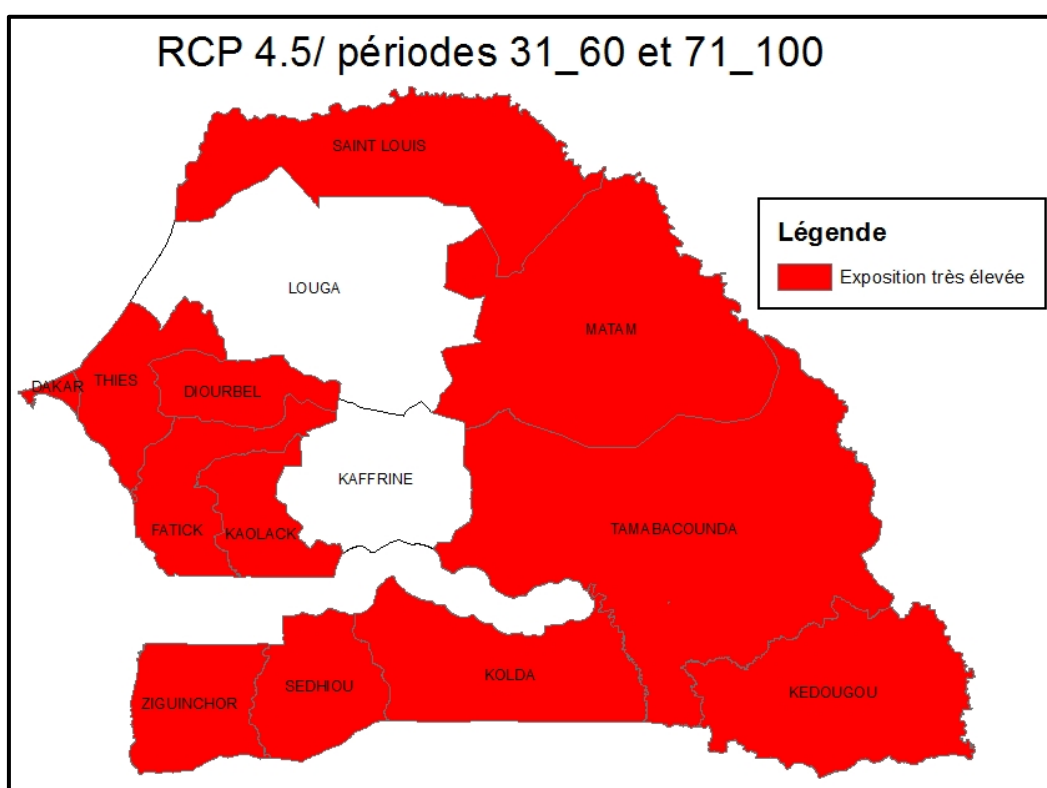
Entre 2071 et 2100, ce seront les stations de Matam, Ziguinchor, Diourbel et Kédougou qui connaîtront une augmentation des valeurs de pluie extrême supérieure à 90 mm. Saint-Louis, Dakar, Kaolack et Fatick auront des augmentations qui varient entre 80 et 86 mm. Le reste des stations observera des observations de moins de 80 mm.

¹⁵ Source : JICA (2011)

Tableau 21 : Ecart des pluies extrêmes entre les périodes 1981-2010 et 2031-2060, 2071-210016

Station	1981-2010	2031-2060	2071-2100	Ecart 1	Ecart 2
Saint-Louis	23,1	86	110	+62,9	+86,9
Matam	31,6	151	158	+119,4	+126,4
Dakar	31,7	89	118	+57,3	+86,3
Thiès	35,6	118	111	+82,4	+75,4
Diourbel	34,8	115	135	+80,2	+100,2
Fatick	40,1	92	121	+51,9	+80,9
Kaolack	39	101	125	+62	+86
Tambacounda	50,5	115	112	+64,5	+61,5
Kolda	50,1	119	111	+68,9	+60,9
Kédougou	60,7	153	159	+92,3	+98,3
Ziguinchor		105	121	+105	+121

La classification des niveaux d'exposition à partir du tableau 20 a permis de faire ressortir pour le moyen et le long termes une exposition très élevée des infrastructures routières aux pluies extrêmes. C'est le cas pour toutes les régions du Sénégal (carte 9).



Carte 9 : Exposition future aux pluies extrêmes

- **Analyse de la sensibilité**

Le niveau de sensibilité est le même que celui qui a été considéré dans l'analyse de la vulnérabilité actuelle. Le croisement des niveaux d'exposition et de sensibilité a permis de faire ressortir l'impact potentiel.

- **Analyse de l'impact potentiel**

Étant donné que l'exposition par rapport aux pluies extrêmes sera la même dans le moyen et le long terme, un seul niveau d'impact potentiel a été déterminé. Les régions où les infrastructures routières risquent de connaître un impact potentiel très élevé sont : Saint-Louis, Fatick, Kaolack, Kédougou et Ziguinchor (tableau 23). À Matam et Tambacounda les précipitations extrêmes auront un impact potentiel élevé sur les infrastructures routières. À Dakar et Kolda, l'impact potentiel sera moyen tandis que dans les régions de Thiès et Diourbel, il sera faible.

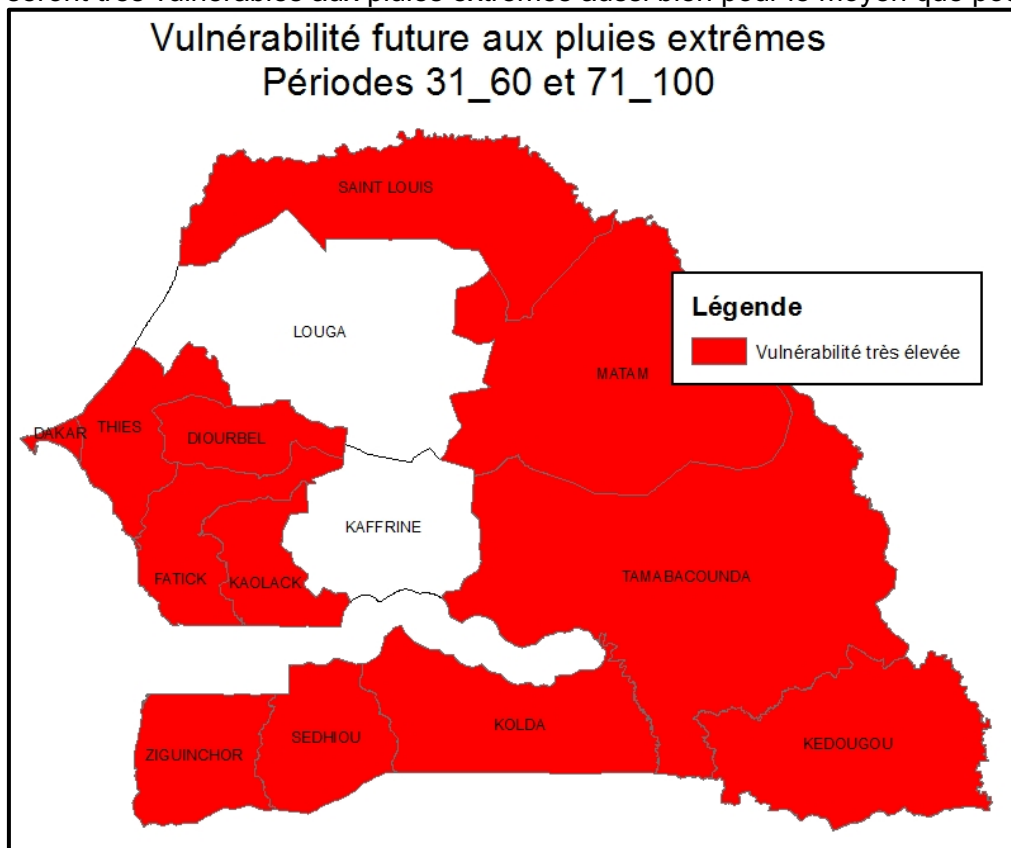
¹⁶ Les résultats des périodes 2031-2060 et 2071-2100 sont issus des données de projections du RCP 4.5.

Tableau 22 : L'impact potentiel des pluies extrêmes sur les infrastructures routières des différentes régions

Stations	Impact potentiel	Station	Impact potentiel
Saint-Louis		Kaolack	
Louga		Kaffrine	
Matam		Tambacounda	
Dakar		Kolda	
Thiès		Kédougou	
Diourbel		Sédhiou	
Fatick		Ziguinchor	

- **Analyse de la vulnérabilité future**

La prise en compte de l'exposition, de la sensibilité et de la capacité d'adaptation a permis d'obtenir les résultats suivants (carte 10). Les infrastructures routières présentes dans toutes les régions seront très vulnérables aux pluies extrêmes aussi bien pour le moyen que pour le long terme.



Carte 10 : Vulnérabilité future aux pluies extrêmes

1.2.2. Analyse de la vulnérabilité future aux températures élevées

- **L'exposition future aux températures élevées**

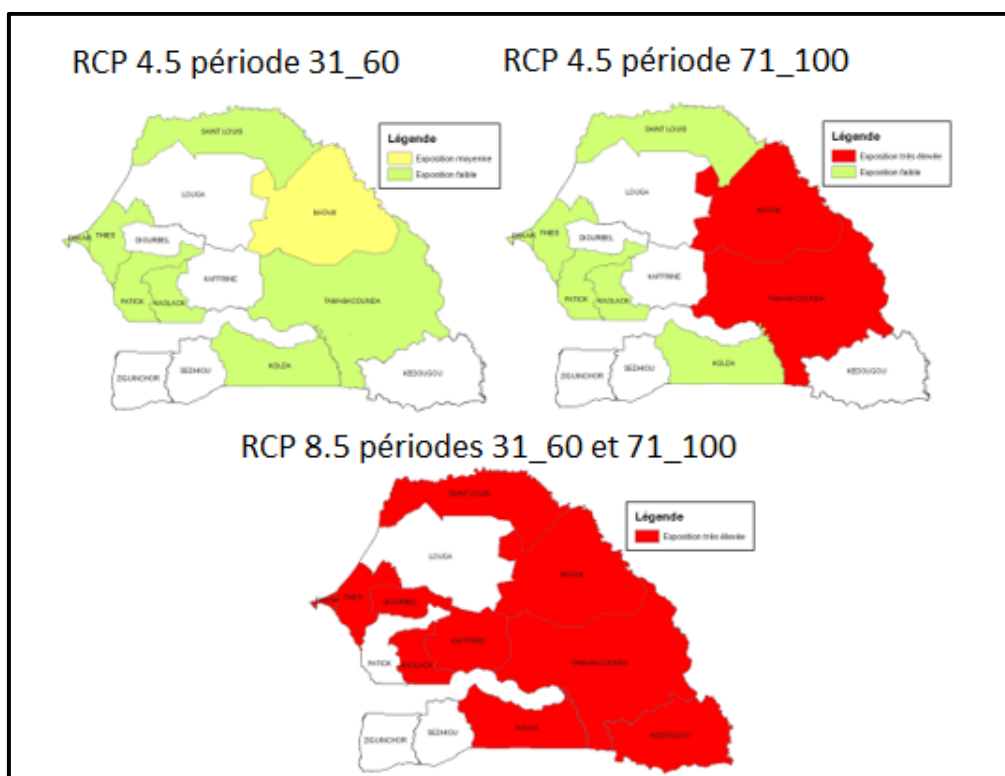
Les projections prévoient une diminution des jours où les températures maximales sont supérieures ou égales à 35°C aussi bien au niveau de l'horizon moyen que de l'horizon lointain. Les diminutions seront plus notées pendant la deuxième période. Entre les deux horizons nous notons pour Saint-Louis et Ziguinchor -28 et -16 jours, -27 et -16 pour Fatick, -26 et -10 pour Thiès et -20 et -9 pour Dakar (tableau 24). Une seule exception a été notée avec Tambacounda qui enregistrera une légère baisse suivie d'une augmentation avec -1 et +16 jours.

Tableau 23 : Écarts des nombres de jours à températures maximales ≥ à 35°C

Station	Normale	Écarts RCP 4.5		Écarts RCP 8.5	
	81-2010	2031-2060	2071-2100	2031-2060	2071-2100
Saint-Louis	233	-28	-16	43	77
Dakar	222	-20	-9	18	40
Thiès	226	-26	-10	54	94
Fatick	232	-27	-16		

Kaffrine				30	60
Tambacounda	220	-1	+16	65	112
Kédougou				86	155
Kolda					
Ziguinchor	233	-28	-16	45	79

Par rapport au scénario 4.5, toutes les régions, à part Tambacounda, connaîtront une faible exposition aux températures élevées dans le moyen terme (carte 11). À Tambacounda, les infrastructures routières seront moyennement exposées aux températures élevées. Dans le long terme les risques deviendront plus importants pour les régions de Matam et Tambacounda où les infrastructures routières seront très exposées aux températures élevées.



Carte 11 : Exposition future des infrastructures routières aux températures élevées

Dans le scénario 8.5 pour toutes les périodes données, les infrastructures routières sénégalaises seront très exposées à des températures élevées.

- **Analyse de l'impact potentiel (Scénarii 4.5 et 8.5)**

Le scénario 4.5 affiche des niveaux d'impact faibles pour les différentes régions aussi bien pour le moyen que le long termes (tableau 25).

À contrario dans le scénario 8.5 les infrastructures routières des régions de Dakar, Thiès, Kaolack, Kaffrine et Tambacounda seront potentiellement très impactées par les températures élevées. À Kolda, l'impact potentiel sera élevé et moyen à Saint-Louis et Kédougou.

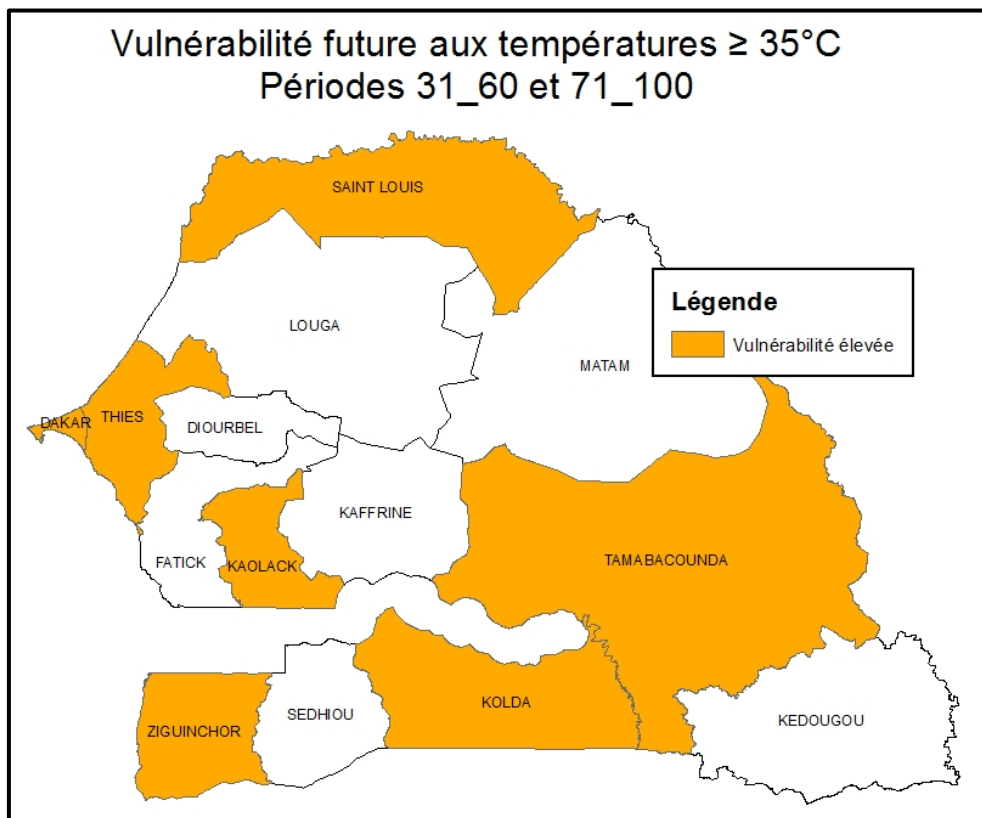
Tableau 24 : Niveaux d'impact potentiel des températures maximales \geq à 35°C sur les infrastructures routières

Station	Scénario 4.5		Scénario 8.5	
	2031-2060	2071-2100	2031-2060	2071-2100
Saint-Louis				
Dakar				
Thiès				
Kaolack				
Kaffrine				
Tambacounda				

Station	Scénario 4.5		Scénario 8.5	
	2031-2060	2071-2100	2031-2060	2071-2100
Kolda				
Kédougou				
Ziguinchor				

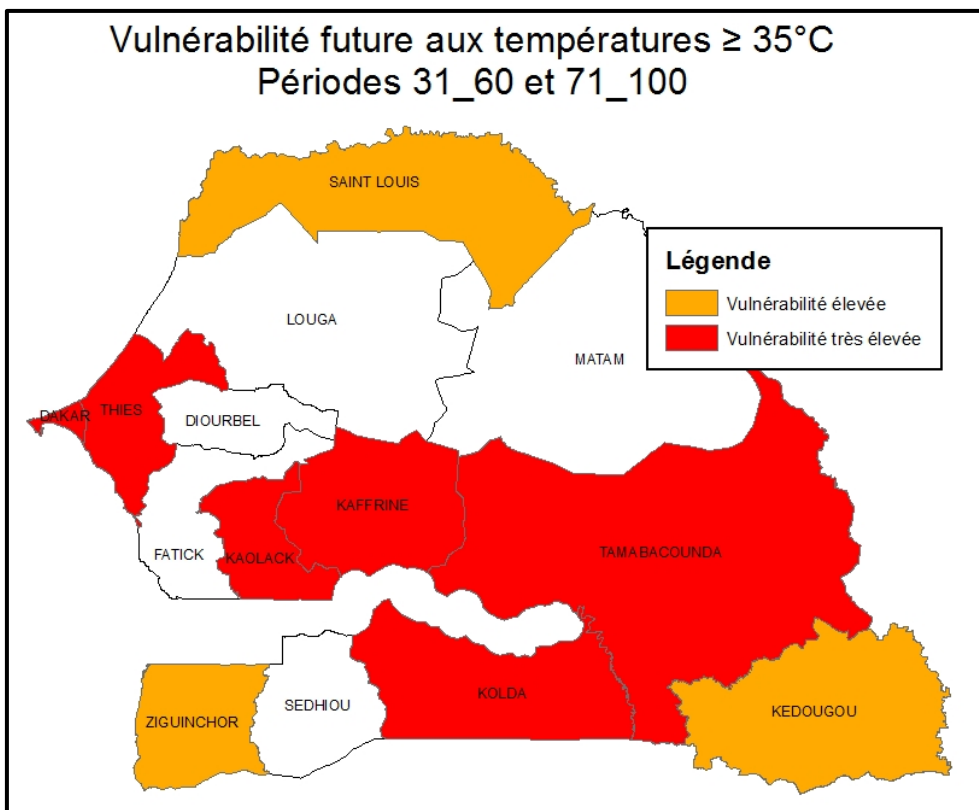
- **Résultats analyse de vulnérabilité aux températures élevées (Scénarii 4.5 et 8.5)**

Dans le moyen et le long terme du scénario RCP 4.5, les infrastructures routières des régions de Saint-Louis, Dakar, Thiès, Kaolack, Tambacounda, Kolda et Ziguinchor connaîtront un niveau de vulnérabilité élevé aux températures maximales \geq à 35°C (carte 12).



Carte 12 : Vulnérabilité future des infrastructures routières aux températures maximales \geq à 35°C avec le scénario du RCP 4.5

Dans le scénario du RCP 8.5, aussi bien pour le moyen que le long terme, à part Saint-Louis et Ziguinchor, toutes les régions vont passer d'un niveau de vulnérabilité élevé (RCP 4.5) à très élevé (carte 13). Kédougou connaîtra une vulnérabilité élevée aux températures maximales \geq à 35°C.



Carte 13 : Vulnérabilité future des infrastructures routières aux températures maximales \geq à 35°C avec le scénario du RCP 8.5

2. Identification des options d'adaptation

2.1. Comportement des usagers en cas d'occurrence d'un événement climatique extrême

- **Comportements chez les usagers en cas d'occurrence d'un événement pluviométrique extrême**

Plusieurs stratégies ont été notées de la part des transporteurs pour faire face à une situation pluviométrique devant impacter leur activité. Il s'agit entre autres de :

- rester au garage et d'attendre que la pluie s'arrête et que l'eau parte ;
- s'arrêter en chemin ;
- éviter d'aller vers les zones où il y a de l'eau ;
- dévier ;
- garer le véhicule ;
- réduire les activités ;
- se garer sur les bas-côtés et les aires de repos (« ce qui fait que l'infrastructure devient accidentogène ». Un camion chargé ne peut pas se garer sur le bas-côté). Il y a des endroits où les talus des routes sont abrupts du fait du type de relief, et le trottoir n'est pas assez large, ce qui fait que les poids lourds ont du mal à se garer.

- **Préparation avant l'hivernage**

Pour réduire les impacts des événements pluviométriques extrêmes, les transporteurs se préparent avant l'arrivée de l'hivernage. Les avis recueillis à leur niveau sont les suivants : revoir les installations, essuie-glace, acheter de bons pneus, revoir les freins. Pour l'achat des pneus, pendant l'hivernage les roues usées de certains véhicules n'assurent pas un bon freinage en cas d'obstacle. Cette situation est causée le plus souvent par les sédiments de sable apportés par les eaux de ruissellement qui finissent par se déposer superficiellement sur les routes. Les problèmes de dérapage sont courants en hivernage d'où l'importance d'avoir ou de chercher des pneus neufs.

- **Comportement des usagers en cas d'occurrence d'un événement thermique extrême**

Quand il fait excessivement ou anormalement chaud, alors qu'ils sont en activité, des interviewés ont révélé qu'ils se garent quelque part. En effet, « le véhicule peut chauffer sous certaines températures et ce n'est pas agréable de rouler sous la chaleur ».

2.2. Les options d'adaptation retenues des échanges avec les services techniques

Plusieurs options d'adaptation ont été recueillies relativement aux risques identifiés. Les options pour les différentes infrastructures sont consignées dans les tableaux 26 pour les routes revêtues, 27 pour les routes non revêtues et 28 pour les ouvrages d'art et d'assainissement.

Tableau 25 : Options au niveau des routes revêtues

Risques	Options recensées
Inondations liées au ruissellement	Entretien des routes, protection des talus (perré maçonné ou B25), dimensionnement en tenant compte des phénomènes exceptionnels, renforcement de capacités des acteurs, rétention des eaux en amont des ouvrages, renforcer l'assainissement routier, Utiliser des matériaux de qualité, renforcer les ouvrages (Dalots, radier), positionnement des ouvrages hydraulique, intégration des données climatiques.
Précipitations intenses	Entretien périodique des routes, protection des talus (perré maçonné ou B25), diminution des vitesses par les usagers, diminution des débits des trafics, contrôle technique strict surtout sur l'adhérence des pneus, dimensionnement en tenant compte des phénomènes exceptionnels, renforcement de capacités techniques des acteurs, rétention des eaux en amont des ouvrages, prise en compte des données climatiques dans la conception des ouvrages.

Risques	Options recensées
Fortes températures	Reboisement le long des routes, utilisation de matériaux plus convenable ou adaptés (bitume adapté).
Vents forts	Mettre en place des brise-vent, protection des zones de projet (fixation dunes ou sable mouvement), prise en compte des données climatiques dans la conception des infrastructures, désensablement, système stabilisateur du vent, renforcer la signalisation, mettre en place des brise-vents, élagage, reboisement.
Amplitudes de marées	Relever la ligne rouge des tronçons qui traversent les zones marécageuses telles que la RN4 ente Tobor et Ziguinchor, mettre en œuvre des techniques de renforcement du sol.
Nappe affleurante	Respect des normes, utilisation de matériaux adaptés, rabattement de la nappe avec des puits de rabattement.
Salinisation	Lutte contre l'avancée de la langue salée en construisant des digues anti sel, reboiser d'espèces pour contenir le sel, utiliser des matériaux adaptés (ciment marin), respecter les normes de construction selon la zone

Options transcendantes : Utilisation de la cartographie à risque dans le choix des projets. Prise en compte des nouveaux phénomènes climatiques dans la formation des ingénieurs des travaux routiers. Renforcer le contrôle de conformité et le respect rigoureux des procédures.

Tableau 26 : Options pour les routes non revêtues

Risques	Options recensées
Inondations crue fleuve	Entretien courant des routes, travailler sur les matériaux de conception, mieux sécuriser l'infrastructure, positionner des ouvrages hydrauliques, prévoir des scénarii pessimistes lors de la conception (envisager le pire), favoriser la mise en place des digues-routes
Inondations liées au ruissellement	Entretien courant des pistes, mise hors d'eau des pistes, positionner des ouvrages hydrauliques, faire des fossés, revêtement des pistes.
Précipitations intenses	Mise hors d'eau de la route, entretien courant, protection des talus, revêtement, positionner des ouvrages, mieux sélectionner les matériaux utilisés, appropriation du projet par les populations, développement du cantonnage ¹⁷ dans les collectivités territoriales, mise en place de barrières de pluie et de guérite pour éviter le passage des personnes et des véhicules, végétalisation des emprises ¹⁸ , superposition de la cartographie des risques sur la zone de projet, utilisation de l'information climatique, formation des acteurs dans la prise en compte des changements climatiques.
Vents forts	Entretien courant, revêtement, végétalisation du domaine public routier (produire micro-climat pour réduire la vitesse du vent, adoucir la température, mieux sécuriser l'investissement), prévoir des scénarii pessimistes lors de la conception (envisager le pire), rechargement fréquent, mettre des ralentisseurs, pose des panneaux de signalisation, reboisement.

Options transcendantes : Utilisation de la cartographie à risque dans le choix des projets. Prise en compte des nouveaux phénomènes climatiques dans la formation des ingénieurs des travaux routiers. Renforcer le contrôle de conformité et le respect rigoureux des procédures.

Tableau 27 : Options pour les ouvrages d'art et d'assainissement

¹⁷ Le cantonnage constitue l'ensemble des travaux annuels ou pluri annuels effectués de manière systématique dans le cadre de l'entretien courant du réseau routier. Il s'agit des opérations suivantes : « ...le désherbage des abords (débroussaillage) ; le curage des fossés, ouvrages hydrauliques, caniveaux et exutoires ; l'entretien des ouvrages (buses et ponts) ; le bouchage des nids de poule, le colmatage des fissures, le traitement des apparitions de dentelles de rives ; le désensablement (manuel et mécanique) ; la surveillance du réseau, les interventions ponctuelles (accident, chute d'arbre, etc.) ; et la mise en place des barrières de pluie pour la préservation des routes en terre. Il n'est pas prévu dans l'entretien courant de réalisation de couche de roulement ou d'interventions sur la structure des chaussées (sauf en des endroits très localisés). En zone urbanisée, l'entretien courant peut inclure les tâches suivantes : entretien du réseau d'assainissement, des bordures et trottoirs, de la signalisation, des feux tricolores, etc. Ces travaux d'entretien courant sont menés dans un but préventif c'est-à-dire de façon à limiter la progression des dégradations encore mineures et à restreindre tous les facteurs de dégradation future des chaussées et des ouvrages. » (AGEROUTE, 2015 : *Catalogue de structures de chaussées neuves et Guide de dimensionnement des chaussées au Sénégal, Version 2 provisoire*, p. 163).

¹⁸ A ce niveau, il faut commencer par ne pas détruire les végétaux qui existent et qui sont des infrastructures naturelles qui peuvent aider à protéger celles qui sont construites. Ce qui implique une meilleure conception des routes.

Risques	Options recensées
Inondations crue fleuve	Protection des abords, renforcer les berges par des gabions, mise hors d'eau des ouvrages, meilleure dimensionnement des ouvrages, intégrer l'information climatique, entretien et curage des ouvrages, choix adéquat des ouvrages, renforcer les acteurs, protection des ouvrages
Inondations liées au ruissellement	Protection des abords, renforcer les berges par des gabions, mise hors d'eau des ouvrages, meilleure dimensionnement des ouvrages, intégrer l'information climatique, entretien et curage des ouvrages, choix adéquat des ouvrages, renforcer les acteurs, protection des ouvrages, bonne utilisation des matériaux de construction.
Précipitations intenses	Protection des abords, poser des gabions à l'aval des ouvrages, mise hors d'eau des ouvrages, meilleure dimensionnement des ouvrages, intégrer l'information climatique, entretien et curage des ouvrages, choix adéquat des ouvrages, renforcer les acteurs, protection des ouvrages, bonne utilisation des matériaux de construction.
Fortes températures	Entretien des joints de dilatation, reboisement le long des routes, utilisation de matériaux plus convenables, bien dimensionner les ouvrages, intégration de l'information climatique, bien respecter les procédures de construction, contrôle rigoureux de l'exécution des travaux, capacitation des acteurs, prise en compte de l'information climatique.
Vents forts	Entretien et curage, revêtement des ouvrages d'assainissement.
Nappe affleurante	Respect des normes, utilisation de matériaux adaptés, rabattement de la nappe avec des puits de rabattement
Salinisation	Utiliser des matériaux adaptés, lutter contre la salinité

Options transcendantales : Utilisation de la cartographie à risque dans le choix des projets. Prise en compte des nouveaux phénomènes climatiques dans la formation des ingénieurs des travaux routiers. Renforcer le contrôle de conformité et le respect rigoureux des procédures.

2.3. Quelques exemples d'options appliquées pour faire face aux risques climatiques

Dans cette partie, nous allons rappeler quelques exemples de réhabilitation des infrastructures qui ont été impactés par des événements climatiques extrêmes.

-Options retenues dans le cadre de la route Thilogne-Ourossogui

Relativement aux impacts rappelés plus haut sur l'infrastructure, plusieurs réponses ont été apportées pour réhabiliter l'infrastructure (tableau 29).

Tableau 28 : Options retenues dans le cadre de la réhabilitation de la route Thilogne -Ourossogui

Localisation	Constats	Remèdes
Ourossogui, Voirie 1	Immersion de la route à cause de l'absence de fossés	Exécution de fossés
PK 41+000 (OH 68bis)	Présence de débris en amont de l'ouvrage	-Protection des talus en béton B25 -Évacuation des débris après l'achèvement des travaux de protection -Débouchage des ouvrages
Sinthiou Mogo (OH64)	L'eau a failli monter sur la route	-L'exécution des fossés bétonnés -La protection des talus en béton B25 -L'évacuation des matériaux en excès
PK 36+050	L'eau a traversé la route causant des dommages sur le talus	-Ajouter l'ouvrage hydraulique -Prévoir les fossés bétonnés
PK 35+050 (OH60bis)	L'eau est montée sur une partie de la chaussée	-Protection des talus sur le côté gauche - Prévoir les fossés bétonnés sur le côté droit
PK 34+400	L'eau est montée sur une partie de la chaussée	Évacuation des matériaux des rampes qui empêchent l'écoulement des eaux
PK 37+500	L'eau est montée sur une partie de la chaussée	
PK 24	L'eau est montée sur une partie de la chaussée	-Exécution des fossés de crête sur le côté gauche -Prévoir les fossés bétonnés sur le côté droit

Localisation	Constats	Remèdes
		-Prévoir un ouvrage de collecte des eaux sur le côté gauche
Nabadji	Stagnation des eaux au pied de talus	Prévoir des fossés qui convergent vers l'OH59bis
OH 14bis	Tassement au niveau du matériau de fermeture de l'ouvrage	Exécution du remblai contigu dans les brefs délais
OH 14	-le remblai de fermeture est totalement emporté par le ruissellement -Inclinaison de l'ouvrage -Section de l'ouvrage insuffisante	-Ajouter un ouvrage de renfort - Exécution du remblai contigu dans les brefs délais -Vérification de la stabilité de l'ouvrage
Du PK4+604 (OH10) au PK5+350 (OH12)	-l'eau a traversé la route -présence de débris en amont de l'OH12	-Voir la possibilité de rehausser la ligne rouge -Voir la possibilité d'ajouter un ouvrage d'équilibre -Évacuation des débris et des matériaux en excès
OH Goudoudé	La longueur de l'ouvrage est jugée très petite par rapport au lit	Voir la possibilité d'ajouter un ouvrage parallèle pour éviter tout débordement et ou un mur de soutènement avec recalibrage du lit

-Options retenues dans le cadre d'un ouvrage traversant un cours d'eau qui est inondé en hivernage et a subi un état de dégradation avancé.

Les mesures prises constituent surtout une prise en compte d'une période de retour plus grande de la crue. Il y a aussi l'augmentation du nombre de dalots et de leur dimension pour qu'ils puissent supporter des débits plus élevés (tableau 30 et figure 7).

Tableau 29 : Options retenues dans le cadre d'un ouvrage traversant un cours d'eau, inondé en hivernage et ayant subi un état de dégradation avancé

Site ou projet	Période de retour retenue	Débit (m3/s)	Maçonnerie	Ouvrages hydrauliques
Reconstruction de l'ouvrage franchissement du Baobolong à la hauteur de Ndiao Bambali	Hauteur d'eau de la crue cinquantennale (50 ans)	563	Corps de la digue en remblai compacté avec en surface une couche latéritique	39 dalots cadres de 3 * 3 m

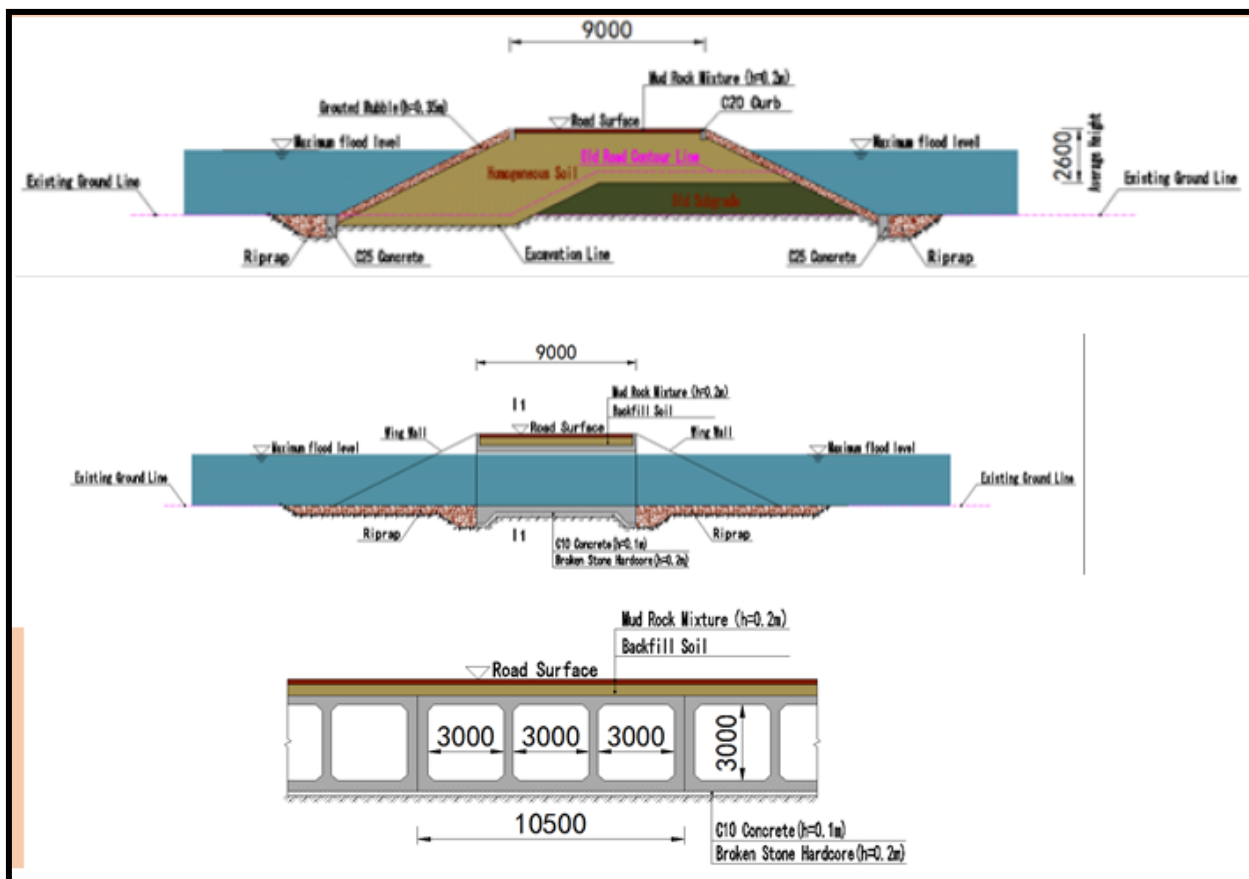


Figure 7 : Schéma d'ouvrage

- Options retenues dans le cadre de la réhabilitation de la route traversant le baoblong, sur une longueur de 1,173 km, et qui a été inondée les 8 et 9 octobre 2010.

La réhabilitation de la route prévoit les variations de la marée. En effet, « La marée haute constitue un sérieux obstacle à la circulation sur le tronçon d'1,2 km qui enjambe le fleuve baoblong »¹⁹.

Tableau 30 : Mesures pour la traversée du Baoblong

Types de mesures	Actions
Immédiates	Remblaiement de la chaussée de 40 cm avec de la latérite qui a été stabilisée au ciment.
Nouveaux critères de conception	Tenir compte du relèvement du niveau de la chaussée dans les travaux.
	Remplacement des canaux existants par des dalots qui peuvent faire passer des débits plus puissants.
	Le talus est protégé par remblai avec du perré maçonné.

Le tableau 32 résume les activités prévues pour le tronçon et la partie concernant le baoblong.

¹⁹ JICA, 2011, p. 24.

Tableau 31 : Activités prévues pour le tronçon (Baobolong)

Rubrique	Description
Longueur du tronçon	38,643km
Structure De la chaussée	Béton bitumeux : 5cm (chaussée)
	Enduit superficiel monocouche à simple gravillonnage: ESMS (accotement)
	Couche de base de 20cm (Latérite stabilisé avec du ciment)
	Couche de fondation de 20cm (Latérite stabilisé avec du ciment)
Chaussée	10,2m (Chaussée 3,60m×2, Accotement 1,5 ×2) Sur l'ensemble du tronçon
Protection de pente	Tronçon de la rivière Baobolong 1.173km Maçonnerie avec mortier
Évacuation des eaux	35 dalots (nombre total de conduites existantes 36) 2 dalots rectangulaires 2000mm×1000mm 2 dalots rectangulaires 4000mm×2000mm 2 dalots rectangulaires 5000mm×3000mm
Mobilier routier	Marquage des voies, passages cloutés, panneaux de déviation, signalisation, arrêt bus
Pont bascule	Installation des équipements

Source: Basé sur le Rapport technique d'avril 2010 (AGEROUTE)

Tableau 32 : Articles de l'entretien routier avec projet et sans projet

No.	Article	Fréquence	Unité	Quantité/Km
1.1	Taillage des arbres, désherbage, nettoyage des ouvrages de drainage			1
	Réhabilitation des petits ouvrages, supervision sur le site, etc	Une fois par an	km	5
1.2	Mélange froid de bitume et pierres concassées +DBST	Une fois par an	m ²	1
1.3	Travaux de drainage	Une fois par an	km	1
1.4	Marquage du pavage	Tous les 4 ans	km	1
1.5	Signaux routiers	Tous les 4 ans	km	1
1.6	Réhabilitation des ornières avec un engin de construction	Tous les 5 ans	m ²	510
1.7	Traitement de la surface (en cas de dégradation de plus de 30%)	Tous les 5 ans	m ²	510
1.8	Remplacement de la couche de surface (si plus de IRI4)	Tous les 12 ans	m ²	510

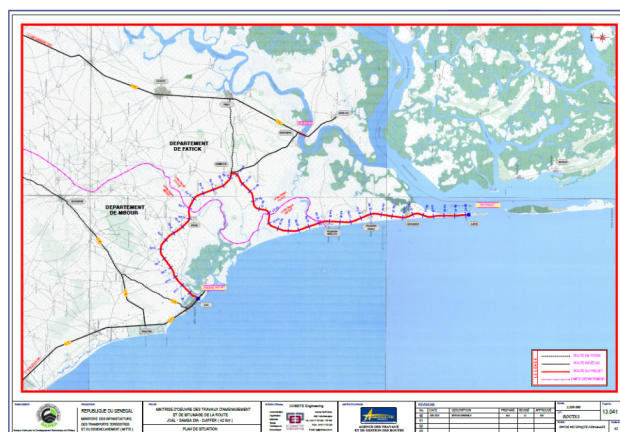
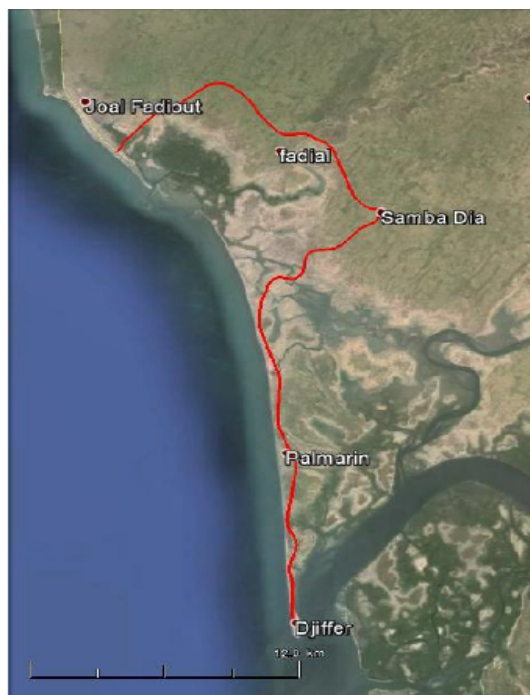
Source: AGEROUTE

No.	Article	Fréquence	Unité	Quantité/Km
1.1	Taillage des arbres, désherbage, nettoyage des ouvrages de drainage			
	Réhabilitation des petits ouvrages, supervision sur le site, etc	Une fois par an	km	1
1.2	Mélange froid de bitume et pierres concassées +DBST	Une fois par an	m ²	
1.3	Travaux de drainage	Une fois par an	km	1
1.4	Réhabilitation d'accotement 2×2	Tous les 5 ans	m ³	1000
1.5	Marquage du pavage	Tous les 4 ans	km	1
1.6	Signaux routiers	Tous les 4 ans	km	1
1.7	Traitement de la surface (en cas de dégradation de plus de 30%)	Tous les 10 ans	m ²	350

Source: AGEROUTE

- Options retenues dans le cadre de l'aménagement et bitumage de la route Joal-Samba Dia-Djiffère

La route Joal-Samba Dia-Djiffère (carte 14) a été longtemps impactée par les effets de la variabilité climatique. En effet, c'est une route qui a connu des ruptures du fait de sa position géographique et de deux facteurs favorisant son exposition aux aléas climatiques. Il s'agit de sa proximité par rapport à l'océan Atlantique (présence de zone estuarienne) et du réseau hydrographique. En effet : « La route de Joal – Samba Dia – Djiffère se situe entre la façade côtière de l'Océan Atlantique et les îles et les estuaires de Sine Saloum, subissant ainsi l'influence du climat maritime de l'Océan et les échanges hydriques entre ce dernier et le fleuve Saloum et ses affluents. [...] Nous avons donc des terrains de formations sableuses quaternaires à fort potentiel de saturation même par faible pluie et à fort degré de salinité de la nappe.»²⁰



Carte 14 : Route Joal-Samba Dia-Djiffère
(Source : MITTD/ Ageroute, 2013)

La vulnérabilité de cette route est cependant liée à plusieurs facteurs. « Cette route souffre de l'absence des dispositifs de drainage et de mise hors d'eau, convenables de la chaussée avec la présence d'ouvrages hydrauliques en état vétuste et insuffisants pour permettre la circulation des eaux pluviales par périodes de fortes crues et des eaux marines lors des remontées des marées ».

Pour réduire les risques climatiques, il a été prévu la mise de « la route hors d'eau » à travers : «

- le rehaussement de sa ligne rouge²¹ dans les zones basses inondables,
- le diagnostic et l'évaluation de la capacité hydraulique et structurelle des ouvrages hydrauliques existants pour décider si on les maintient ou non,
- l'identification des points bleus²² où il faudra prévoir la création de nouveaux ouvrages hydrauliques »²³.

« Aussi, un aspect très important à prendre en compte dans l'aménagement de la route concerne le contrôle des échanges hydriques entre les eaux douces de la vallée du Saloum et les eaux salines de l'Océan. L'aménagement de la route devra à cet effet favoriser par endroits le sens de l'écoulement des eaux du Continent vers l'Océan avec des ouvrages spécifiques de régulation des débits dans les zones où la retenue des eaux douces est vitale pour la prolifération de certaines cultures, à l'instar de la vallée de Mbissel et par autres endroits le sens de l'écoulement des eaux

²⁰ MITTD/ Ageroute, 2013, p. 13.

²¹ Ligne rouge : « ligne matérialisant la surface de la chaussée » (SETRA, 2006, p. 90)

²² Les points bleus constituent les zones humides.

²³ MITTD/ Ageroute, 2013, p. 29.

marines de l'Océan vers le Continent dans les zones de développement des salines et de la production du Sel au voisinage de la ville de Palmarin.

L'importance de créer une meilleure adaptation de cette route aux conditions climatiques actuelles est rappelée ici : « L'insertion de la route entre le Littoral de l'Océan Atlantique et les vastes zones lagunaires du bassin de Saloum fait d'elle une sorte de route digue, surtout lors de la saison pluvieuse et des hautes marées. La route se trouve par plusieurs endroits, coincée entre des vastes lacs d'eau et exposée à l'action agressive de l'eau qui affecte le corps de la chaussée. Il y a lieu donc de prévoir les protections latérales adéquates de la route contre l'affouillement de l'eau et la migration des fines (particules) dans le corps de la chaussée. »²⁴ Les photos ci-dessous illustrent la présence de l'eau aux abords de la route.



Photo 5 : Sections de route au niveau de l'axe Joal-Samba Dia-Djiffère

Les critères de conception de la route sont les suivantes : « Au niveau de la conception du profil en long, la route sera rehaussée jusqu'à sa mise hors d'eau dans les zones inondables en rase

²⁴ MITTD/ Ageroute, 2013, p. 30.

campagne. Le calage devra donc être fait en étroite coordination avec l'étude hydrologique et hydraulique qui va définir le niveau des Plus Hautes Eaux dans les zones basses inondables et la ligne rouge de la route devra être placée au-delà de ce niveau avec la création d'ouvrages d'équilibre pour permettre la libre circulation des eaux dans les zones de stagnations. Dans les traversées des agglomérations, la ligne rouge de la route sera calée au même niveau des cotes seuils des riverains »²⁵.

La structure de la chaussée prévue tient compte de :

- « L'abondance des eaux pluviales et celles d'échange avec l'océan atlantique,
- Une forte sensibilité des sols aux effets de l'eau et,
- L'existence du sel. »²⁶

Il sera prévu « une structure qui permet une stabilité durable sous l'effet d'un trafic de classe T2 (voir Chapitre 4) et d'une classe du sol qui reste à confirmer par les résultats des travaux géotechniques en cours, en tenant compte de l'agressivité du milieu environnant.

Dans cet environnement agressif, le traitement au ciment résistant aux sulfates (classe 42,5R) est une solution convenable. Cependant, ce traitement donne lieu à la fissuration de retrait qu'il y a lieu de l'arrêter sous la couche de roulement. Deux solutions sont envisageables :

- Le traitement de la couche de base au ciment sur une couche de fondation non traitée et l'utilisation d'un géotextile ou un géo-grille anti-fissuration ;
- Le traitement de la couche de fondation au ciment et l'utilisation d'une Grave Concassée de bonne qualité en couche de base »²⁷.

À structures équivalentes, la première solution est plus coûteuse ; c'est pourquoi nous proposons une structure de la deuxième catégorie dite « structure inverse ». »

La structure provisoire proposée a été la suivante : «

- 6cm BB en revêtement ;
- 20 cm GC (grave concassée) basaltique en couche de base en provenance de Pout-Diak dans la région de Thiès et ;
- 20 cm en matériau traité au ciment (sable ciment ou grave latéritique ciment) en couche de fondation.

Les accotements seront en grave latéritique 0/100 et revêtue en monocouche au niveau des zones de stagnation d'eau. »²⁸

• Remblai et Protections

La mise hors d'eau de la route devra être faite en réalisant plusieurs ouvrages de drainage et un remblai assez élevé pour rehausser la ligne rouge (figure 8). Pour favoriser le compactage et la stabilité du sable au niveau des talus, les couches de grave latéritique seront alternées aux couches de sable. Au lieu d'utiliser des couches granulaires de filtration qui sont plus coûteuses, un géotextile de filtration sera employé pour faciliter le drainage sans départ ou migration de fines au risque de déstabiliser la plateforme routière. La membrane filtrante sera placée entre les banquettes latérales de protection de talus construites en graves latéritiques et la plateforme routière.

²⁵ MITTD/ Ageroute, 2013, p. 34.

²⁶ MITTD/ Ageroute, 2013, p. 80.

²⁷ Idem

²⁸ Ibidem

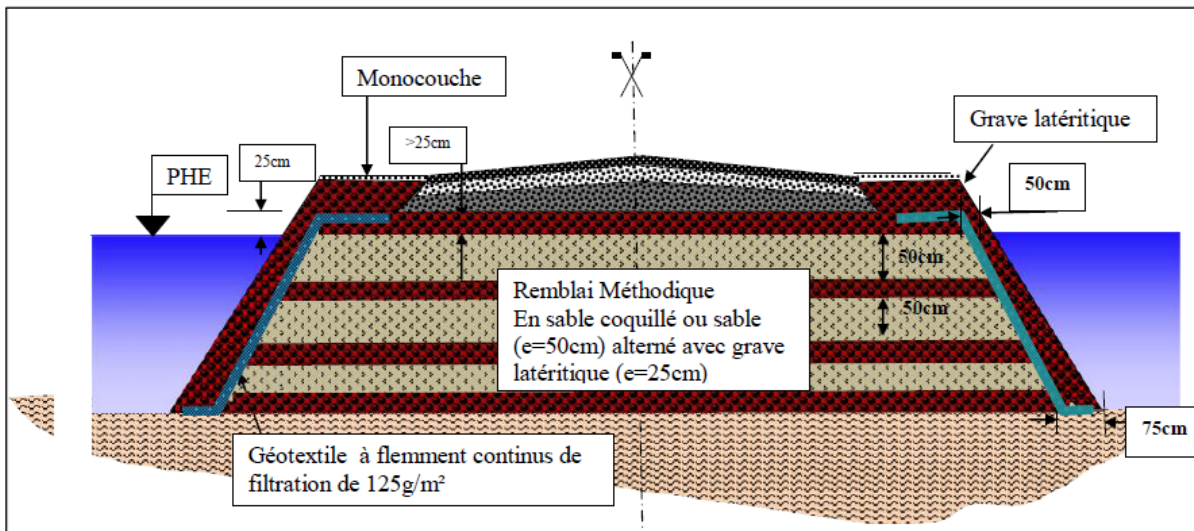


Figure 8 : Profil de section de remblai de protection (zone d'eau)

Dans les parties des zones urbaines qui seront traversées par la route, la ligne rouge ne sera pas rehaussée pour éviter que la route ne constitue une route-digue ou n'arrête les eaux d'un côté, ce qui pourrait inonder les habitations voisines. Il faudra donc respecter les côtes seuils des bâtiments. Des pavés autobloquants (scarification de la chaussée) seront dressés pour la chaussée et une sous-couche de fondation de 15 cm (figure 9).

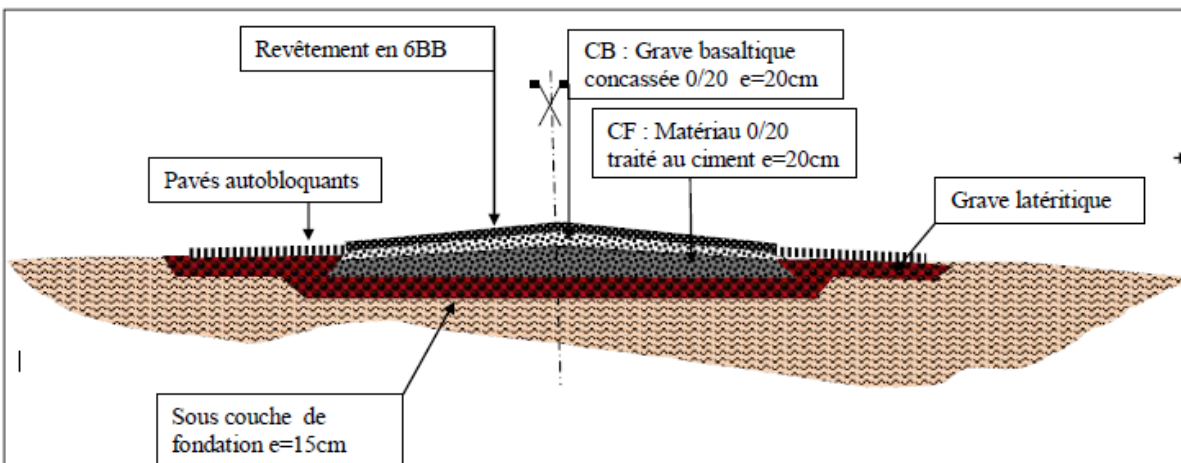


Figure 9 : Profil de section (scarification chaussée)

La protection en perré maçonné (figure 10) sera appliquée au niveau du talus de la section de la route la plus exposée à l'érosion côtière du fait de sa proximité à l'océan. Il s'agit de la section allant du PK40,9 au PK41,160.

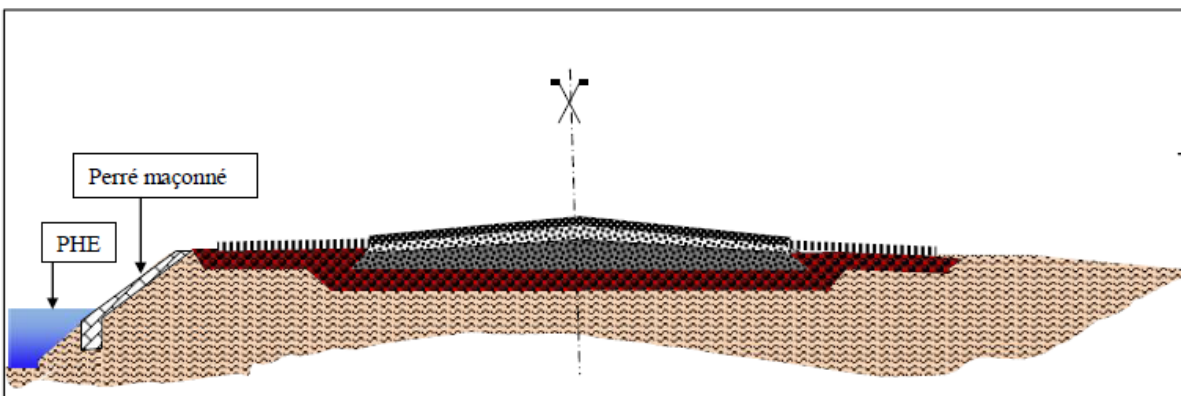


Figure 10 : Profil de protection en perré

Période de retour retenue (T)

Pour ce projet, tenant compte de l'exposition de la route aux effets de la variabilité climatique, il a été retenu pour les ouvrages d'art une période de retour de la crue fluviale de 100 ans alors que pour les petits ouvrages hydrauliques une crue de retour cinquantennal a été retenue (tableau 34).

Tableau 33 : Périodes de retour de la crue considérées pour les ouvrages

	Ouvrages d'art (OA)	Petits ouvrages hydrauliques (POH)	Système de drainage longitudinal
Norme	100 ans	10 ans	
Retenu pour la route	100 ans	50 ans	10 ans

Côtes maximales retenues pour les marées

Du fait de la position côtière et estuarienne de l'ouvrage l'onde de marée se propage mais cette propagation n'a pas la même intensité partout. En effet, elle varie en fonction de la géomorphologie du terrain et de l'occupation du sol. La côte maximale retenue est de 1,5 m au niveau de la sortie de Joal et de 1,2 m au niveau de la vallée de Mbissel et des derniers 10 km (tableau 35 et figure 11).

Tableau 34 : Côtes maximales retenues pour les marées

	Sortie Joal	Vallée Mbissel	de 10 km derniers	Pointe Sangomar (au niveau de la mer)
Côte maximale	1,2	1,2	0,5	1,7
Valeur retenue	1,5	1,2	1,2	

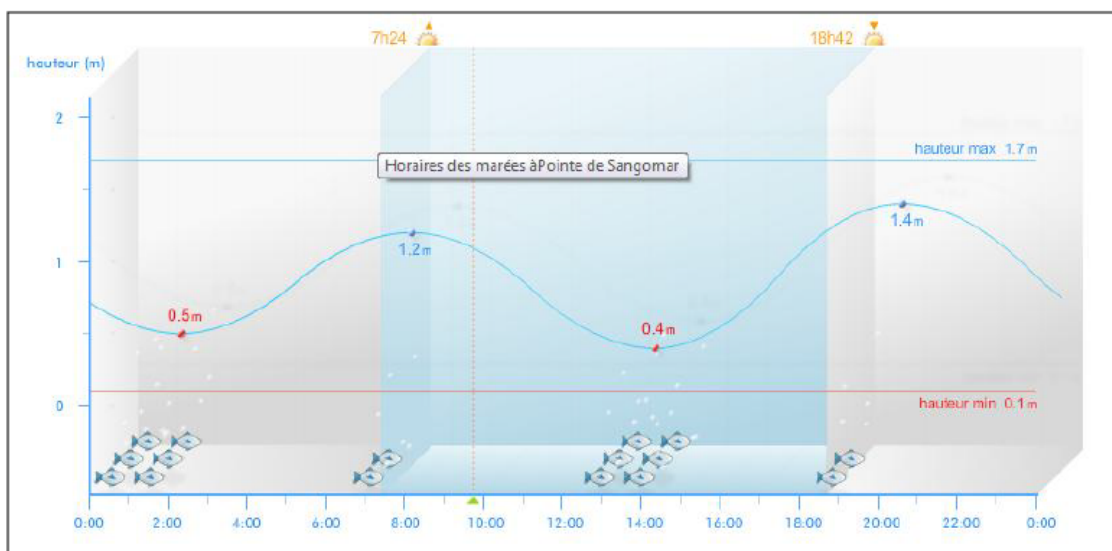


Figure 11 : Niveau de marée Pointe Sangomar

Tableau 35 : Données trafic 2002

Tronçon	TMJA (véh./ jour) en 2002	TMJA en 2011	TMJA en 2012	TMJA en 2013
Joal-Samba Dia	207	237	247	364
Samba Dia-Djiffère	231	118	433	273

2.4. Priorisation des options d'adaptation

Les options d'adaptation qui ont été recensées ont été priorisées en tenant compte de 7 critères. Ces derniers ont été longuement discutés, dans le cadre d'un atelier, avec les différentes parties prenantes. Ces critères sont les suivants : la cohérence avec les politiques, la faisabilité, la durabilité, l'acceptabilité, l'efficacité, l'équité et le coût. Ce dernier est noté de 5 à 1 (coût très faible à un coût très élevé) au moment où le reste des critères est noté de 1 à 5 (de très faible à très élevé). Les scores donnés aux options sont listés dans le tableau 37 pour les routes revêtues, le tableau 38 pour les routes non revêtues et le tableau 39 pour les ouvrages d'art et d'assainissement.

Pour les routes revêtues les options qui arrivent en premier sont :

- la prise en compte des données climatiques dans la conception des infrastructures ;
- le respect des normes de construction ;
- le renforcement des capacités techniques et financières des collectivités territoriales pour l'entretien du réseau routier non classé ;
- réaliser des plantations d'alignement le long des routes ;
- renforcer des capacités des acteurs ;
- dimensionner les routes en tenant compte des phénomènes climatiques exceptionnels (Utiliser des matériaux de qualité, renforcement des ouvrages existants, positionnement des ouvrages hydraulique, intégration des données climatiques) ;
- aménager et entretenir les bassins versants (réalisation de bassins de rétention, reboisement, désensablement)²⁹ ;
- reboiser avec des espèces adaptées pour contenir le sel.

Pour les routes non revêtues, les options suivantes sont proposées prioritairement :

- le reboisement ;
- l'utilisation de l'information climatique ;
- la formation des acteurs dans la prise en compte des changements climatiques ;
- le revêtement des routes non revêtues ;
- la végétalisation des emprises ;
- la végétalisation du domaine public routier.

Pour les ouvrages d'art et d'assainissement, les options prioritaires sont :

- le respect des normes de construction selon la zone ;
- les plantations d'alignement le long des routes ;
- l'utilisation de matériaux adaptés comme du ciment marin ou du bitume adapté³⁰.

Tableau 36 : Options priorisées pour les routes revêtues

Options retenues	Cumul score	Rang
Prise en compte des données climatiques dans la conception des infrastructures	30	1
Respecter les normes de construction selon la zone	30	1
Renforcer les capacités des collectivités territoriales pour l'entretien du réseau routier non classé	29	2
Plantations d'alignement le long des routes	29	2
Renforcer des capacités des acteurs	28	3
Dimensionnement en tenant compte des phénomènes exceptionnels (Utiliser des matériaux de qualité, renforcement des ouvrages existants, positionnement des ouvrages hydraulique, intégration des données climatiques)	28	3
Aménagement et entretien des bassins versants (réalisation de bassins de rétention, reboisement, désensablement)	28	3
Reboisement d'espèces adaptées pour contenir le sel	28	3
Protection des ouvrages	27	4
Systématiser l'assainissement routier en zones urbaine, périurbaine et rurale	27	4
Renforcer la sécurisation des infrastructures routières	27	4
Utilisation de matériaux plus convenable ou adaptés (bitume adapté).	27	4
Construction de digues anti-sel	26	5
Utiliser des matériaux adaptés (ciment marin),	26	5
Relever la ligne rouge des tronçons qui traversent les zones marécageuses (comme la RN4 ente Tobor- Ziguinchor) tout en maintenant l'équilibre hydraulique et mettre en œuvre des techniques de renforcement de sol	26	5
Mise en place de géotextile pour protéger la structure de chaussée ;	25	6
Augmenter le budget alloué à l'entretien	24	7
Rendre effectif l'entretien	24	7
Aménagement adapté (pavage, drainage de la nappe avec des canaux perforés)	23	8

²⁹ De manière générale, il faudrait qu'on apprenne à construire avec la nature. Dans la conception d'une route, étudier minutieusement les écosystèmes en présence, le rôle qu'ils jouent ou la contrainte véritable qu'ils causent (avec une analyse coûts/avantages), avant de décider de détruire quoi que ça soit.

³⁰ La recherche devrait aussi être tournée vers les matériaux alternatifs intégrant la dimension climatique.

Tableau 37 : Options priorisées pour les routes non revêtues

Options retenues	Cumul score	Rang
Reboisement	34	1
Utilisation de l'information climatique	33	2
Formation des acteurs dans la prise en compte des changements climatiques	33	2
Revêtir les routes non revêtues	30	3
Végétalisation des emprises	30	3
Végétalisation du domaine public routier	30	3
Renforcer les capacités des communes pour l'entretien du réseau routier non classé	29	4
Stabilisation des pistes	29	4
Développement du cantonnement dans les collectivités territoriales	29	4
Renforcer les capacités des acteurs	28	5
Mieux sécuriser l'infrastructure (Mise en place de barrières de pluies, de comités de gestion)	28	5
Protection des talus	28	5
Appropriation du projet par les populations	28	5
Mise en place de barrières de pluie et de guerite pour éviter le passage des personnes et des véhicules	28	5
Superposition de la cartographie des risques sur la zone de projet	28	5
Entretien courant des pistes	27	6
Mise hors d'eau des pistes	27	6
Positionner des ouvrages hydrauliques	27	6
Mise hors d'eau de la route	27	6
Positionner des ouvrages	25	7
Pose des panneaux de signalisation et de limitation de vitesse	25	7
Augmenter le budget alloué à l'entretien	24	8
Rendre effectif l'entretien	24	8
Mieux sélectionner les matériaux utilisés	23	9
Prévoir des scénarii pessimistes lors de la conception (envisager le pire)	21	10
Mettre des ralentisseurs (Dos d'âne et brises vent)	21	10
Rechargement fréquent	20	11

Tableau 38 : Options priorisées pour les ouvrages d'art et d'assainissement

Options retenues	Cumul score	Rang
Respecter les normes de construction selon la zone	35	1
Plantations d'alignement le long des routes	30	2
Utiliser des matériaux adaptés (ciment marin adapté, bitume adapté)	29	3
Protection des abords (Gabionnage, perrés maçonnés, bassin)	27	4
Renforcer les berges par des gabions	27	4
Mise hors d'eau des ouvrages	27	4
Meilleure dimensionnement des ouvrages	27	4
Intégrer l'information climatique	27	4
Entretien et curage des ouvrages	27	4
Choix adéquat des ouvrages	27	4
Renforcer les acteurs	27	4
Protection des ouvrages	27	4
Rabattement de la nappe avec des puits de rabattement	27	4
Revêtement des ouvrages d'assainissement	25	6
Entretien des joints de dilatation pour les ponts	23	7

Conclusion

L'analyse de la vulnérabilité des infrastructures routières à la variabilité et aux changements climatiques a permis de faire ressortir un certain nombre d'éléments. Les routes les plus exposées aux effets de la variabilité et aux changements climatiques sont surtout les routes non revêtues. Toutefois, à un certain niveau, et tenant compte des risques, les autres éléments ou composants des infrastructures que sont les routes revêtues et les ouvrages d'art et d'assainissement sont aussi impactés. Les impacts concernent aussi les usagers de la route à savoir les transporteurs. Du point de vue des événements climatiques, ce sont les fortes précipitations qui dégradent le plus les infrastructures routières. Globalement les événements climatiques qui impactent davantage les infrastructures routières sont par ordre d'importance, les inondations, les fortes précipitations et les fortes températures. Les autres événements et risques climatiques notés sont les vents forts, la nappe phréatique (remontée capillaire) et la salinisation. Les facteurs aggravant les impacts des risques climatiques ont aussi été identifiés. Parmi les plus cités nous avons, le défaut d'entretien des ouvrages d'art et d'assainissement mais aussi le sous-dimensionnement des ouvrages. Pour faire face à ces risques, plusieurs options ont été signalées et d'autres ont été proposées pour prévoir les changements climatiques à venir.

La réalisation de cette étude a permis aussi de mettre à jour la faiblesse des informations portant sur ce secteur en rapport avec les phénomènes actuels (variabilité climatique) et à venir tels que les changements climatiques.

Il faut aussi reconnaître qu'en plus de cette étude, des efforts sont en train d'être faits (étude sur les matériaux au niveau du Centre Expérimental de Recherches et d'Études pour l'Équipement (CEREEQ) pour prévoir les changements climatiques à venir même si c'est encore embryonnaire.

Annexe : Bibliographie

AGERROUTE, 2015 : Catalogue de structures de chaussées neuves et Guide de dimensionnement des chaussées au Sénégal, Version 2 provisoire, 202 p.

AGERROUTE, 2019 : Actualisation des études techniques d'exécution, socio-économiques, environnementales et l'élaboration d'un dossier d'appel d'offres pour les travaux d'aménagement et de bitumage d'infrastructures routières dans l'île a Morphil d'environ 180km (Guédé-Ndioum-Halwar; Halwar-Démet-CasCas; CasCas-Saldé-Ngouye-Petté; CF/RN2-Médina Ndiathbé-CasCas), Rapport P.A.R., 67 p.

AGERROUTE, août 2021 : Procès-verbal de visite de terrain. Travaux de réhabilitation de la route nationale 2 (RN 2) Ndioum-Ourossogui-Bakel : Sections : Thilogne-Ourossogui (50 km), avec voirie de Matam (3 km) et 41,4 km de pistes connexes. Marché N°TA3/ 935/ AGR, 5 p.

CEREMA, CARBONE 4 (non daté) : Analyse des risques liés aux événements climatiques extrêmes sur les infrastructures et services de transport. Note de synthèse méthodologique et exemple d'application, 10 p.

GIZ, 2015 : Guide de référence sur la vulnérabilité Concept et lignes directrices pour la conduite d'analyses de vulnérabilité standardisées, 177 p.

JICA, 2011 : Etude préparatoire pour le projet d'amélioration du corridor trans-gambien en République du Sénégal. Rapport final (Résumé), 37 p.

MITTD/ Ageroute, déc 2013 : Maîtrise d'œuvre des travaux d'aménagement et de bitumage de la route Joal-Samba Dia-Djiffère (42 km). Avant-projet détaillé, Rapport Technique, Version provisoire, 144 p.

MITTD/ Ageroute, août 2021 : Organisation et exécution d'une campagne de comptage, de pesage et d'enquête O/D sur le réseau routier classé. Annexe D-Exploitations des résultats, comptages automatiques, 347 p.

Nations Unies, Convention-cadre sur les changements climatiques, 2012 : Pays les moins avancés. Plans nationaux d'adaptation. Directives techniques pour le processus des plans nationaux d'adaptation. Groupe d'experts des PMA, décembre 2012, 158 p.

SETRA, 2006 : Guide technique. Drainage routier, 91 p.

UNECE, WMO (non daté) : Climate Change Impacts and Adaptation for Transport Networks and Nodes, 1 p.

US Department of Transportation (US DOT), Federal Highway Administration (FHWA), 2012 : Climate change & extreme weather vulnerability assessment framework, 51 p.

US Department of Transportation (US DOT), 2014 : Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: The Gulf Coast Study, Phase 2 Task 3.1: Screening for Vulnerability, 361 p.

VicRoads, 2015 : Climate Change Risk Assessment, 43 p.

WMO, 2009 : Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation, Climate Data and Monitoring WCDMP-No. 72, 52 p.

PNA-FEM

PLAN NATIONAL D'ADAPTATION DU SENEGAL



PROJET D'APPUI AU PLAN NATIONAL D'ADAPTATION DU SENEGAL
MINISTRE DE L'ENVIRONNEMENT, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE

Route Des Peres Maristes X Parc Forestier Hann, Bp : 4055 Dakar
Tel : 77 090 60 60 - Email: pnafemsenegal@gmail.com

Nous suivre

