

# Adaptation au climat : Gestion des risques et optimisation de la résilience des accès routiers vulnérables en Afrique

Manuel d'adaptation au climat



Council for Scientific and Industrial Research (CSIR), Paige-Green Consulting (Pty) Ltd and St Helens Consulting Ltd

ReCAP Project GEN2014C

Août 2019

Citation préférée : Head, M., Verhaeghe, B., Paige-Green, P., le Roux, A., Makhanya, S., Arnold, K., CSIR, Paige-Green Consulting (Pty) Ltd, St Helens Consulting Ltd (2019). Adaptation au climat : Gestion des risques et optimisation de la résilience pour les accès routiers vulnérables en Afrique, Manuel d'adaptation au climat, GEN2014C. Londres : ReCAP for DFID.

Pour de plus amples informations, veuillez contacter : Benoît Verhaeghe, [BVerhaeg@csir.co.za](mailto:BVerhaeg@csir.co.za)

ReCAP Project Management Unit  
Cardno Emerging Market (UK) Ltd  
Level 5, Clarendon Business Centre  
42 Upper Berkeley Street, Marylebone  
London W1H 5PW United Kingdom



Les opinions exprimées dans ce document sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles de Research for Community Access Partnership (ReCAP) ou de Cardno Emerging Markets (UK) Ltd pour lesquels le document a été préparé.

Photo de couverture : Benoît Verhaeghe

#### Tableau d'assurance qualité et de revue

Version	Auteur(s)	Réviser (s)	Date
1	M. Head, B. Verhaeghe, P. Paige-Green, A. le Roux, S. Makhanya, K.	L. Sampson & Dr J. Cook, ReCAP PMU	Août 2017
2	M. Head, B. Verhaeghe, P. Paige-Green, A. le Roux, S. Makhanya, K.	N. Leta, ReCAP PMU Dr J. Cook, ReCAP TP	Novembre 2018
3	M. Head, B. Verhaeghe, P. Paige-Green, A. le Roux, S. Makhanya, K.	J. Haule & N. Leta, ReCAP PMU Dr J. Cook, ReCAP TP	Mai 2019
4	M. Head, B. Verhaeghe, P. Paige-Green, A. le Roux, S. Makhanya, K.	Prof R.L. Wilby	Juillet 2019
5	M. Head, B. Verhaeghe, P. Paige-Green, A. le Roux, S. Makhanya, K.	N. Leta, ReCAP PMU	Août 2019

#### Détails de la base de données ReCAP : Adaptation au climat : Gestion des risques et optimisation de la résilience pour les accès routiers vulnérables en Afrique

Numéro de référence :	GEN2014C	Emplacement	Afrique subsaharienne
Source de Proposition	DFID/ReCAP	Méthode de passation des	Appel d'offres
Thème	Durabilité de l'accès	Sous-thème	Résilience au climat
Organisation Principale de mise en œuvre	CSIR	Organisation Partenaire	Paige-Green Consulting St Helens Consulting
Date de commencement	Avril 2017.	Date de fin	Septembre 2019
Date d'échéance du rapport	Août 2019	Date de réception	Août 2019

## Table des matières

Résumé.....	iv
Mots clés .....	iv
Acronymes, unités et monnaies.....	v
Glossaire (basé sur le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, GIEC, 2018) .....	vi
Synthèse .....	x
1 Introduction au manuel .....	1
1.1 Contexte .....	1
1.2 Étendue du défi.....	1
1.3 Buts et objectifs.....	2
1.4 Utilisation de ce manuel .....	3
2 Composantes du manuel.....	3
2.1 Structure.....	3
2.2 Application .....	4
3 Portée du présent manuel .....	7
PARTIE A : Examen de la situation et gestion de l'adaptation .....	10
A.1 Défis du changement climatique .....	10
A.2 Causes et effets .....	10
A.2.1 Accès rural .....	12
A.2.2 Maintenance inadéquate .....	13
A.2.3 Scénario « à faible coût » .....	13
A.2.4 Projection du changement climatique en Afrique .....	14
A.3 Facteurs du changement.....	14
A.3.1 Politique et plans.....	14
A.4 Gestion de l'adaptation.....	14
A.4.1 Approche intégrée.....	14
A.4.2 Gérer le processus d'adaptation .....	15
A.4.3 Intégration.....	16
A.4.4 Renforcement des capacités .....	16
A.5 Approche et livraison .....	17
A.5.1 Financement et budgets .....	17
A.5.2 Scénario à « faible coût » .....	17
A.5.3 Gestion de la livraison .....	18
A.6 Gestion efficace des données et des actifs.....	19
PARTIE B : Méthodologie .....	21
B.1 ÉTAPE 1 : Examen des risques climatiques .....	22
B.1.1 Détermination des besoins .....	22

B.1.2	Identifier et mobiliser la participation des parties prenantes/partenaires .....	23
B.1.3	Définition de la politique, des objectifs et de l'étendue (niveau du réseau).....	23
B.1.4	Analyse des effets climatiques observés et prévus .....	24
B.1.5	Collecte de données et analyse des risques .....	28
B.2	ÉTAPE 2 : Évaluation de l'impact et de la vulnérabilité (niveau projet/local).....	30
B.2.1	Examen des risques climatiques au niveau des projets.....	30
B.2.2	Évaluations des impacts relatifs au climat .....	31
B.3	ÉTAPE 3 : Évaluation technique et économique des options .....	35
B.3.1	Stratégies et mesures d'adaptation potentielles .....	35
B.3.2	Consultations des parties prenantes.....	36
B.3.3	Stratégie « à faible coût » .....	37
B.3.4	Analyse socio-économique des notions d'« agir » et de « ne rien faire » .....	38
B.3.5	Hierarchisation et sélection des mesures d'adaptation .....	40
B.4	ÉTAPE 4 : Conception et mise en œuvre de projet .....	41
B.4.1	Élaboration d'un plan de mise en œuvre .....	41
B.4.2	Paramètres de conception et optimisation .....	44
B.4.3	Construction, entretien et supervision .....	46
B.5	ÉTAPE 5 : Suivi et évaluation .....	46
B.5.1	Élaboration d'un plan de suivi et d'évaluation.....	46
B.5.2	Rapport et partage des expériences de mise en œuvre .....	48
	Références.....	50

## Tableaux

<b>Tableau 1</b>	<b>Contenu et étendue de la méthodologie d'adaptation .....</b>	<b>9</b>
<b>Tableau 2</b>	<b>Données suggérées nécessaires pour effectuer une analyse des risques et de la vulnérabilité au niveau du district et des éventuelles données source .....</b>	<b>29</b>
<b>Tableau 3</b>	<b>Indicateurs types de suivi des résultats (adapté de la BAD, 2011) .....</b>	<b>47</b>

## Figures

<b>Figure 1</b>	<b>Aperçu du manuel et des lignes directrices qui l'accompagnent .....</b>	<b>4</b>
<b>Figure 2</b>	<b>Applications couvertes par le manuel .....</b>	<b>5</b>
<b>Figure 3</b>	<b>Processus à plusieurs niveaux.....</b>	<b>7</b>
<b>Figure 4</b>	<b>Approche stratégique basée sur le type d'activité et l'adéquation du financement disponible .....</b>	<b>8</b>
<b>Figure 5</b>	<b>Catastrophes météorologiques enregistrées et populations touchées .....</b>	<b>11</b>
<b>Figure 6</b>	<b>Catastrophes météorologiques enregistrées et nombre total de personnes touchées par an entre 1975 – 2015 .....</b>	<b>12</b>
<b>Figure 7</b>	<b>Route d'accès rurale à faible trafic en Afrique .....</b>	<b>13</b>
<b>Figure 8</b>	<b>Domages causés par les inondations à l'approche du pont et à la structure du pont .....</b>	<b>30</b>
<b>Figure 9</b>	<b>Exemple de mesure d'adaptation pour protéger une tranchée/gué contre les dommages causés par les inondations .....</b>	<b>41</b>

## Résumé

La Banque africaine de développement affirme que l'Afrique est l'une des régions du monde les plus vulnérables aux impacts du changement climatique. La majorité des études menées dans la région, tant sur la vulnérabilité que sur les scénarios, suggèrent que les dommages causés par la variabilité et le changement climatique, par rapport à la population et au produit intérieur brut, devraient être plus élevés en Afrique que dans toute autre région du monde.

Afin d'aider à faire face à cette menace importante pour le développement de l'Afrique, l'Africa Community Access Partnership (AfCAP) (un programme de recherche financé par UK Aid), a commandé un projet qui a débuté en avril 2016. Son objectif était de produire des directives régionales et de développer un accès rural résistant au climat en Afrique par le biais de la recherche et du partage des connaissances au sein et entre les pays participants. Les résultats devraient contribuer au développement d'un réseau routier résistant au climat qui s'étend pleinement dans et entre les communautés rurales.

L'étude porte sur : (a) des procédures d'adaptation appropriées en matière d'ingénierie et de non-ingénierie ; (b) le renforcement durable de la capacité de trois pays partenaires de l'AfCAP à faire face aux effets probables du changement climatique sur les réseaux routiers ruraux ; (c) le renforcement durable de la capacité d'autres pays partenaires de l'AfCAP ; et (d) l'adoption et l'intégration des résultats de la recherche dans tous les pays partenaires de l'AfCAP.

Ce manuel d'adaptation au climat fournit des informations et des conseils pertinents sur les procédures d'adaptation au climat pour l'accès aux routes rurales, ainsi qu'une méthodologie pour faire face aux menaces climatiques et à la vulnérabilité des actifs, et ce, dans le but d'accroître la résilience de manière systématique. Il a été élaboré pour couvrir un large éventail de circonstances climatiques, géomorphologiques et hydrologiques, sur la base de l'expérience acquise au Mozambique, au Ghana et en Éthiopie, mais les orientations fournies sont également applicables à tout pays subsaharien.

## Mots clés

Renforcement des capacités ; gestion du changement ; adaptation au climat ; changement climatique ; impact climatique ; résilience au climat ; menace climatique ; variabilité du climat ; risque ; maintenance des routes ; accès rural ; routes rurales ; vulnérabilité.

### Research for Community Access Partnership (ReCAP)

#### Des transports sûrs et durables pour les communautés rurales

ReCAP est un programme de recherche, financé par UK Aid, qui vise à promouvoir des transports sûrs et durables pour les communautés rurales en Afrique et en Asie. Le ReCAP comprend l'Africa Community Access Partnership (AfCAP) et l'Asia Community Access Partnership (AsCAP). Ces partenariats soutiennent le partage des connaissances entre les pays participants afin de favoriser l'adoption de solutions peu coûteuses et éprouvées pour l'accès aux zones rurales qui maximisent l'utilisation des ressources locales. Le programme ReCAP est géré par Cardno Emerging Markets (UK) Ltd.

[www.research4cap.org](http://www.research4cap.org)

## Acronymes, unités et monnaies

ADB	Banque asiatique de développement
AfCAP	Africa Community Access Partnership
ANE	Administração Nacional de Estradas (Administration nationale des routes, Mozambique)
AsCAP	Asia Community Access Partnership
BAD	Banque africaine de développement
BMD	Banque multilatérale de développement
°C	Degrés Celsius
CRED	Centre de recherche sur l'épidémiologie des catastrophes, Université catholique de Louvain
CSIR	Council for Scientific and Industrial Research, South Africa
DFID	Department for International Development, UK)
EM-DAT	Emergency Events Database (Base de données des événements d'urgence)
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
MCA	Analyse multicritères
MDA	Ministères, départements, agences/autorités
ONG	Organisation non gouvernementale
PIB	Produit intérieur brut
RAI	Index d'accès rural
RAMS	Système de gestion des actifs routiers
ReCAP	Research for Community Access Partnership
SADC	Southern African Development Community
SCS	Service de conservation des sols
SIG	Systèmes d'information géographique
UK	Royaume-Uni (de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord)
UK aid	United Kingdom Aid (Department for International Development, DFID)
UN DESA	Nations Unies, Département des affaires économiques et sociales
UNISDR	United Nations International Strategy for Disaster Reconstruction
USD	Dollar des États-Unis
VAN	Valeur actualisée nette

## Glossaire (basé sur le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, GIEC, 2018)

Accessibilité	La facilité pour des groupes de population d'accéder ou de participer à des activités de service en utilisant un réseau de transport.
Adaptation	Dans les systèmes humains, le processus d'ajustement au climat réel ou prévu et à ses effets, afin de modérer les dommages ou d'exploiter les opportunités bénéfiques (c'est-à-dire les actions qui réduisent le danger, l'exposition et la vulnérabilité). Dans les systèmes naturels, le processus d'ajustement au climat réel et à ses effets ; l'intervention humaine peut faciliter l'ajustement au climat prévu et à ses effets.
Besoins d'adaptation	Les circonstances dans lesquelles les risques anticipés ou les impacts du changement climatique nécessitent des mesures visant à assurer la sécurité des populations et la sûreté des biens et des ressources, y compris les écosystèmes et leurs services.
Capacité d'adaptation	La capacité des systèmes, des institutions, des humains et d'autres organismes à s'adapter aux dommages potentiels, à tirer parti des opportunités ou à réagir aux conséquences.
Catastrophe	Altération du fonctionnement normal d'une communauté ou d'une société en raison d'événements physiques dangereux interagissant avec des conditions sociales vulnérables, entraînant des effets humains, matériels, économiques ou environnementaux néfastes et étendus qui nécessitent des réponses d'urgence immédiates pour satisfaire les besoins humains critiques et qui peuvent nécessiter un soutien externe pour le rétablissement.
Changement climatique	Le changement climatique est un changement de l'état du climat qui peut être identifié (par exemple, en utilisant des tests statistiques) par des changements de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une période prolongée, généralement des décennies ou plus. Le changement climatique peut être dû à des processus internes naturels ou à des forces extérieures tels que les modulations des cycles solaires, les éruptions volcaniques et les changements anthropiques persistants dans la composition de l'atmosphère ou dans l'utilisation des sols.
Criticité routière	La criticité routière fait référence à l'importance d'une route d'accès rurale pour les communautés qu'elle dessert en termes de dépendance de la communauté à une route pour accéder aux marchés, aux biens et aux services.
Danger	La survenue potentielle d'un événement physique ou d'une tendance d'origine naturelle ou humaine pouvant entraîner des pertes de vie, des blessures ou d'autres effets sur la santé ainsi que des dommages et des pertes de biens, d'infrastructures, de moyens de subsistance, de fourniture de services, d'écosystèmes et de ressources environnementales.
Évaluation d'impact	Pratique consistant à identifier et à évaluer, en termes monétaires et/ou non monétaires, les effets du changement [climatique] sur les systèmes naturels et humains.

Évaluation des risques	L'estimation scientifique qualitative et/ou quantitative des risques.
Évaluation de la vulnérabilité	Processus qui tente d'identifier les causes profondes de la vulnérabilité d'un système (à la variabilité et au changement climatique).
Événement	Les définitions de rareté varient, mais un événement météorologique extrême serait normalement aussi rare ou plus rare que le 10e ou le 90e percentile d'une fonction de densité de probabilité estimée à partir des observations. Par définition, les caractéristiques de ce que l'on appelle les conditions météorologiques extrêmes peuvent varier d'un endroit à l'autre dans un sens absolu. Lorsqu'un phénomène météorologique extrême persiste pendant un certain temps, par exemple une saison, il peut être classé comme un événement climatique extrême, surtout s'il produit une moyenne ou un total qui est lui-même extrême (par exemple, une sécheresse ou de fortes précipitations pendant une saison).
Exposition	La présence de personnes, de moyens de subsistance, d'espèces ou d'écosystèmes, de fonctions, de services et de ressources environnementales, d'infrastructures ou de biens économiques, sociaux ou culturels dans des lieux et des environnements susceptibles d'être affectés par des dangers.
Facteurs de stress	Événements et tendances, souvent non liés au climat, qui ont un effet important sur le système exposé et qui peuvent accroître la vulnérabilité aux risques liés au climat.
Gestion des risques	Plans, actions ou politiques visant à réduire la probabilité et/ou les conséquences des risques ou à réagir aux conséquences.
Gestion du changement	Terme collectif désignant toutes les approches visant à préparer et à soutenir les individus, les équipes et les organisations dans la réalisation de changements organisationnels ou institutionnels afin de leur donner les moyens de relever et de résoudre les défis nouveaux ou récurrents qui les touchent, eux et leurs parties prenantes (par exemple, les effets de la variabilité et du changement climatiques sur leurs activités).
Impacts (Conséquences, résultats)	Les conséquences des risques réalisés sur les systèmes naturels et humains où les risques résultent des interactions entre les dangers, l'exposition et la vulnérabilité liés au climat (y compris les phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes). Les impacts font généralement référence aux effets sur les vies, les moyens de subsistance, la santé et le bien-être, les écosystèmes et les espèces, les actifs économiques, sociaux et culturels, les services (y compris les services d'écosystème) et les infrastructures. Les impacts peuvent être appelés conséquences ou résultats, et peuvent être négatifs ou bénéfiques.
Inondation	Débordement des limites normales d'un cours d'eau ou d'une autre masse d'eau, ou accumulation d'eau sur des zones qui ne sont pas normalement submergées. Les inondations comprennent les crues des rivières (fluviales), les crues éclair, les inondations urbaines, les inondations pluviales, les inondations des égouts, les inondations côtières, les inondations des eaux souterraines et les inondations par débordement des lacs glaciaires.
Météo extrême	Un événement météorologique extrême est un événement rare dans un endroit particulier et à un moment particulier de l'année.

Mobilité	La capacité de déplacer des personnes et des biens de manière efficace et efficiente pour des activités socio-économiques entre un point d'origine et une destination en utilisant un réseau de transport.
Options d'adaptation	L'ensemble des stratégies et mesures disponibles et appropriées pour aborder/traiter l'adaptation. Elles comprennent un large éventail d'actions qui peuvent être classées comme structurelles, institutionnelles, écologiques ou comportementales, parmi beaucoup d'autres.
Probabilité	La probabilité qu'un résultat spécifique se produise, lorsque cela peut être estimé de manière probabiliste.
Reconstruire en mieux	Une approche de la reprise des activités post-catastrophes qui réduit la vulnérabilité aux catastrophes futures et renforce la résilience des communautés pour faire face aux vulnérabilités et chocs physiques, sociaux, environnementaux et économiques.
Renforcement des capacités	La capacité à renforcer les atouts et les attributs d'une communauté, d'une société ou d'une organisation, ainsi que les ressources dont elle dispose, en réponse au changement.
Résilience	Capacité des systèmes sociaux, économiques et environnementaux à faire face à un événement, une tendance ou une perturbation dangereux, en réagissant ou en se réorganisant de manière à conserver leur fonction, leur identité et leur structure essentielles, tout en maintenant la capacité d'adaptation, d'apprentissage et de transformation.
Risque	Possibilité de conséquences négatives lorsqu'une chose de valeur est en jeu et que l'occurrence et le degré d'un résultat sont incertains. Dans le contexte de l'évaluation des impacts climatiques, le terme de risque est souvent utilisé pour désigner les conséquences négatives potentielles d'un aléa climatique, ou des réponses d'adaptation ou d'atténuation à un tel aléa, sur les vies, les moyens de subsistance, la santé et le bien-être, les écosystèmes et les espèces, les biens économiques, sociaux et culturels, les services (y compris les services d'écosystème) et les infrastructures. Le risque résulte de l'interaction entre la vulnérabilité (du système affecté), son exposition dans le temps (au danger), ainsi que le danger (lié au climat) et la probabilité de son apparition.
Sensibilité du système	Le degré auquel un système est affecté, de manière négative ou bénéfique, par la variabilité ou le changement climatique. L'effet peut être direct (par exemple, en réponse à un changement de la moyenne, de la gamme ou de la variabilité des températures) ou indirect (par exemple, les dommages causés par une augmentation de la fréquence des inondations côtières due à l'élévation du niveau de la mer).
Systèmes d'alerte précoce	Ensemble des capacités techniques, financières et institutionnelles nécessaires pour générer et diffuser des informations d'alerte opportunes et significatives afin de permettre aux personnes, aux communautés et aux organisations menacées par un danger de se préparer à agir rapidement et de manière appropriée pour réduire la possibilité de dommages ou de pertes. Selon le contexte, les systèmes d'alerte précoce peuvent s'appuyer sur des connaissances scientifiques et/ou indigènes.

### Variabilité climatique

La variabilité climatique désigne les variations de l'état moyen et d'autres statistiques (telles que les écarts types, l'apparition d'extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles spatiales et temporelles au-delà de celles des événements météorologiques individuels. La variabilité peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique tels que le couplage océan-atmosphère (variabilité interne), ou à des variations du forçage externe naturel ou anthropique telles que les variations de la production solaire ou les changements de concentrations de gaz à effet de serre (variabilité externe).

### Verouillage

Le concept de « verrouillage » en matière de changement climatique : les décisions prises aujourd'hui concernant l'emplacement, la conception et le fonctionnement des actifs détermineront leur résistance à long terme aux effets du changement climatique.

### Vulnérabilité

La propension ou la prédisposition à être affecté négativement. La vulnérabilité englobe une variété de concepts et d'éléments, notamment la sensibilité ou la susceptibilité au danger et le manque de capacité à faire face et à s'adapter.

## Synthèse

Le développement de l'Afrique dépend fortement d'un réseau routier adéquat et fiable qui puisse également résister aux effets du changement climatique. Pour aider à faire face à la menace significative du changement climatique pour le développement de l'Afrique, l'Africa Community Access Partnership (AfCAP), un programme de recherche financé par UKAid, a commandé en avril 2016 un projet visant à produire des orientations régionales sur l'adaptation des routes d'accès rurales au changement climatique. Le projet vise à fournir aux institutions du secteur routier des procédures d'adaptation et des conseils pragmatiques et rentables en matière d'ingénierie et de non-ingénierie, grâce à la recherche et au partage des connaissances au sein et entre les pays africains participants.

L'étude porte sur les menaces climatiques et l'adaptation des infrastructures existantes et nouvelles. Elle aborde les questions des méthodologies appropriées et économiques pour l'évaluation de la vulnérabilité et des risques, de la hiérarchisation des interventions d'adaptation et de l'optimisation de la résilience des actifs dans le contexte des routes d'accès rurales à faible trafic. En outre, il fournit des preuves des liens d'avantages de coûts, économiques et sociaux pour les communautés rurales, découlant d'un accès rural plus résistant, tout cela afin de soutenir l'adoption de politiques plus larges dans toute l'Afrique.

L'étude se concentre sur les points suivants :

- a) Démonstration de procédures d'adaptation appropriées en matière d'ingénierie et de non-ingénierie
- b) Renforcement durable de la capacité de trois pays partenaires de l'AfCAP<sup>1</sup> (à savoir l'Éthiopie, le Ghana et le Mozambique) à faire face aux effets probables du changement climatique sur les réseaux routiers ruraux ; ces trois pays représentent presque toute la gamme des systèmes climatiques de l'Afrique subsaharienne
- c) Renforcement durable de la capacité d'autres pays partenaires de l'AfCAP
- d) L'adoption et l'intégration des résultats de la recherche dans les pays partenaires de l'AfCAP.

Ce manuel d'adaptation au climat fournit une méthodologie pour réaliser une évaluation de l'adaptation au climat pour l'accès rural afin de contribuer au développement socio-économique. Il se concentre également sur les activités et les actions que les normes et procédures d'ingénierie conventionnelles ne couvrent pas nécessairement. Le manuel est étayé par trois documents d'orientation distincts qui couvrent les points suivants :

- Gestion du changement<sup>2</sup> (ci-après dénommée « **lignes directrices sur la gestion du changement** » dans le présent manuel) : cette ligne directrice couvre, entre autres, la politique et la planification, la gestion des parties prenantes et des actifs et les recommandations pour la formulation de stratégies et de programmes d'amélioration.
- Évaluation des risques et de la vulnérabilité climatiques<sup>3</sup> (ci-après dénommée « **lignes directrices sur les risques et la vulnérabilité climatique** » dans le manuel) : ces lignes directrices guident les utilisateurs à travers les étapes de la réalisation d'une évaluation des risques et de la vulnérabilité au niveau national/district, ainsi que d'une étude des risques et de la vulnérabilité au niveau local/projet lors de la mise en œuvre de nouvelles infrastructures ou de la maintenance/rénovation d'infrastructures existantes.

<sup>1</sup> Les pays partenaires de l'AfCAP sont actuellement la République démocratique du Congo, l'Éthiopie, le Ghana, le Kenya, le Liberia, le Malawi, le Mozambique, la Sierra Leone, le Soudan du Sud, la Tanzanie, l'Ouganda et la Zambie

<sup>2</sup> Head, M., Verhaeghe, B. and Maritz, J. (2019). Climate Adaptation: Risk management and resilience optimisation for vulnerable road access in Africa: *Change Management Guidelines*, GEN2014C. Londres. ReCAP for DFID.

<sup>3</sup> Le Roux, A., Makhanya, S., Arnold, K. and Roux, M. (2019). Climate Adaptation: Risk management and resilience optimisation for vulnerable road access in Africa: *Climate Risk and Vulnerability Assessment Guidelines*, GEN2014C. Londres: ReCAP for DFID.

- Adaptation de l'ingénierie <sup>4</sup> (ci-après dénommée « **lignes directrices de l'adaptation de l'ingénierie** » dans le *manuel*) : cette ligne directrice présente les principales caractéristiques climatiques et les effets potentiels de celles-ci, puis propose des mesures d'adaptation pour chaque élément d'infrastructure, en soulignant également l'importance cruciale d'un système de drainage efficace et d'une maintenance appropriée et en temps voulu des actifs routiers.

En plus de ce qui précède, un manuel d'évaluation visuelle<sup>5</sup> a également été produit qui soutient les lignes directrices pour l'évaluation des risques et de la vulnérabilité climatiques ainsi que les lignes directrices pour l'adaptation d'ingénierie.

Les lignes directrices visent les gouvernements (ministères centraux, provinces, districts), les instituts nationaux et les organismes de recherche, le secteur privé, les acteurs locaux directement concernés par les activités de ce projet et les organisations non gouvernementales. Le tableau ci-dessous présente une liste d'acteurs spécifiques et d'intervenants :

	Entité/Secteur	Acteurs et intervenants
Niveau national/district	Les gouvernements (central ministères, provinces, districts)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Autorités nationales des routes et des transports, y compris les ministères, départements et autorités des routes et des transports</li> <li>▪ Départements nationaux chargés de la gestion des catastrophe</li> <li>▪ Les organismes du gouvernement central qui ont un intérêt direct dans la planification et le développement des infrastructures routières</li> <li>▪ D'autres ministères/départements gouvernementaux concernés (par exemple l'agriculture, l'environnement, la science, le développement social, la santé, l'éducation et les secteurs technologiques pertinents)</li> <li>▪ Représentants de district des agences et départements du gouvernement central</li> <li>▪ Unités/comités multisectoriels</li> <li>▪ Services d'urgence</li> <li>▪ Bailleurs de fonds et investisseurs dans les projets d'infrastructures routières</li> <li>▪ Commissions nationales de planification</li> </ul>
	Instituts nationaux, universités, organisations de recherche	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comités sur le changement climatique</li> <li>▪ Les instituts traitant de la météorologie/hydrologie (par exemple, ressources d'eau, hydrologie et lutte contre les inondations)</li> <li>▪ Entités impliquées dans le renforcement des capacités et la recherche</li> </ul>
	Secteur privé	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entreprises (petites et grandes entreprises du secteur)</li> <li>▪ Bailleurs de fonds et investisseurs dans les projets d'infrastructures routières</li> </ul>

<sup>4</sup> Paige-Green, P., Verhaeghe, B. and Head, M. (2019). Climate Adaptation: Risk management and resilience optimisation for vulnerable road access in Africa: Engineering Adaptation Guidelines, GEN2014C. Londres. ReCAP for DFID.

<sup>5</sup> Paige-Green, P., Verhaeghe, B. and Roux, M. (2019). Climate Adaptation: Risk management and resilience optimisation for vulnerable road access in Africa: Visual Assessment Manual, GEN2014C. London: ReCAP for DFID.

Niveau local/niveau du projet	Acteurs au niveau local directement concernés par les activités du projet	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ingénieurs routiers locaux</li> <li>▪ Entreprises privées impliquées dans la construction de routes et/ou la maintenance</li> <li>▪ Représentants de la communauté</li> <li>▪ Représentants des autorités locales qui peuvent faire le lien avec les différents départements et agences du gouvernement central et des districts</li> </ul>
	Organisations non-gouvernementales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Organisations communautaires non gouvernementales</li> </ul>

# 1 Introduction au manuel

## 1.1 Contexte

Selon la Banque africaine de développement (BAD, 2018), l'Afrique est l'une des régions du monde les plus vulnérables aux impacts du changement climatique. La majorité des études, tant sur la vulnérabilité que sur les scénarios, suggèrent que les dommages causés par le changement climatique, par rapport à la population et au produit intérieur brut (PIB), pourraient être plus élevés en Afrique que dans toute autre région du monde (BAD, 2011). Des études suggèrent que les coûts d'adaptation en Afrique pourraient être de l'ordre de 20 à 30 milliards USD par an au cours des 10 à 20 prochaines années.

L'Afrique subsaharienne a l'une des plus faibles densités de routes rurales au monde, ce qui étouffe considérablement son potentiel de croissance et de développement agricole. En outre, moins de 40 % des Africains vivant en milieu rural vivent à moins de deux kilomètres d'une route praticable par tous les temps, ce qui rend les interventions socio-économiques, médicales et éducatives opportunes, coûteuses et peu fiables. Une grande partie du réseau routier qui contribue au développement agricole et social dans ces zones rurales peut être classée comme étant de faible volume.

Au niveau international, les partenaires de développement augmentent considérablement leurs investissements dans des programmes de développement à l'épreuve du climat et à faible intensité de carbone - exemples :

*La Banque mondiale* : Depuis 2016, une part de plus en plus importante des projets de transport nouvellement approuvés intègre des considérations climatiques : (i) améliorer la résilience des infrastructures de transport africaines au changement climatique ; et (ii) améliorer l'efficacité carbone des systèmes de transport en Afrique subsaharienne. Il y a un engagement de 1,9 milliard USD, dont 90 % de fonds de l'Association internationale de développement (IDA) pour quinze projets sur le climat sur la période 2016 et 2018. Le dernier ajout au portefeuille de la Banque consiste en quatre projets de transport élaborés en connaissance de cause du climat et représente la totalité des approbations de transport pour l'exercice 2018 en Afrique, avec un engagement financier combiné de l'IDA de 553 millions USD. (Banque mondiale, 2018).

*L'Asian Development Bank (ADB)* : Le financement total de l'adaptation par l'ADB est passé de 558 millions USD en 2011 à 988 millions USD en 2013, soit une augmentation d'environ 77 % (ADB, 2011). La région asiatique étant confrontée à de graves problèmes environnementaux, l'ADB continuera d'accroître son soutien à l'adaptation au changement climatique, tout en maintenant son aide à l'atténuation par le biais de projets d'énergie propre et d'efficacité énergétique et de transports durables. Dans sa stratégie 2030, l'ADB déclare que le financement à partir de ses propres ressources pour la lutte contre le changement climatique atteindra 80 milliards USD cumulés de 2019 à 2030. (ADB, 2018)

## 1.2 Étendue du défi

L'Afrique a connu des changements spectaculaires dans le climat du continent, ceux-ci causent des dommages considérables à l'infrastructure routière et aux avoirs qui lui sont associés (Hearn, 2015 ; Schweikert et coll., 2014). Dans un certain nombre de pays, l'accessibilité des zones rurales est compromise pendant une partie croissante de l'année, ce qui a des effets négatifs directs et indirects sur les moyens de subsistance et le développement socio-économique associé.

Au cours des quatre dernières décennies (1975-2015), les pays africains ont connu plus de 1400 catastrophes météorologiques enregistrées (CRED, 2016). Ces catastrophes ont eu des répercussions importantes sur les économies des pays touchés et, en particulier, sur les communautés rurales et leurs moyens de subsistance. Les impacts de ces risques naturels (inondations, tempêtes, sécheresses, températures extrêmes, glissements de terrain et incendies) se sont également fait sentir dans tous les secteurs économiques et les infrastructures. De nombreux communautés et pays d'Afrique sont socialement et économiquement vulnérables aux événements climatiques extrêmes. La faible capacité d'adaptation, ainsi que leur forte exposition aux risques

naturels, a entraîné la mort de plus de 600 000 personnes (principalement en raison des sécheresses), laissé 7,8 millions de personnes sans abri (99 % en raison des inondations et des tempêtes) et touché environ 460 millions de personnes au cours des quatre dernières décennies (CRED, 2016).

En conséquence de ce qui précède, plusieurs pays d'Afrique subsaharienne pourraient être confrontés à un retard dans la réparation des dommages causés aux infrastructures existantes, et en particulier aux réseaux routiers vulnérables à faible trafic, par les effets du changement climatique et ne pas avoir la capacité, les connaissances et les ressources nécessaires pour y faire face. La grave pénurie de fonds pour la maintenance a aggravé la situation.

### 1.3 Buts et objectifs

L'objectif global du projet est de **renforcer durablement la capacité des pays partenaires de l'AfCAP** à réduire les impacts climatiques actuels et futurs sur les infrastructures rurales vulnérables. Cet objectif doit être atteint grâce à la recherche, à l'adoption et à l'intégration (aux niveaux politique et pratique) de procédures d'ingénierie et de non-ingénierie pragmatiques et rentables, basées sur la reconnaissance des menaces climatiques actuelles et futures spécifiques à chaque région.

L'**objectif de recherche** fondamental est d'identifier, de caractériser et de démontrer les procédures d'adaptation appropriées qui peuvent être mises en œuvre pour renforcer la résilience à long terme de l'accès rural<sup>6</sup>, sur la base d'une séquence logique d'orientations couvrant les points suivants<sup>7</sup>:

- Menaces climatiques
- Impacts climatiques
- Vulnérabilité à l'impact (risque)
- Adéquation du financement
- Adaptations non techniques (appelées ici adaptations de *gestion du changement*)
- Adaptations techniques
- Hiérarchisation

Le deuxième objectif, qui se concentre sur le **renforcement des capacités et l'échange de connaissances**, consiste à s'engager de manière significative avec les autorités compétentes en matière de routes et de transports dans un programme de diffusion des connaissances et de renforcement des capacités.

Le troisième objectif est de veiller à ce que l'accent soit mis sur l'**adoption et l'intégration ultérieure** des résultats obtenus à différents niveaux - de l'éclairage des politiques nationales à la planification régionale et de district, en passant par des conseils pratiques sur la mise en œuvre de l'adaptation au niveau des routes rurales.

Il convient de noter que plusieurs ministères, départements et/ou agences/autorités des routes/transports (MDA) d'Afrique subsaharienne éprouvent des difficultés à gérer leurs réseaux routiers (ruraux à faible trafic) étant donné les ressources financières souvent limitées dont ils disposent, sans parler de l'expansion de leurs réseaux routiers et des conséquences du changement climatique. Ainsi, pour l'adaptation au changement climatique, le manuel propose également des mesures alternatives qui pourraient être mises en œuvre dans un scénario où les budgets sont insuffisants ou absents (c'est-à-dire des scénarios « à faible coût »).

<sup>6</sup> Il convient de noter que l'amélioration des réseaux de transport peut présenter des avantages connexes au-delà du développement rural (par exemple, Thambiran et Diab, 2011). Inversement, les grands projets de construction routière pourraient avoir toute une série de conséquences environnementales reconnues (par exemple, Laurance et coll., 2015 ; Halsnæs et Trærup, 2009).

<sup>7</sup> Il convient de noter que la méthodologie de recherche suggère une approche descendante, similaire à celle utilisée par Willows et Connell (2003). Ce n'est qu'une des approches qui pourraient être adaptées. Par exemple, une autre approche consisterait à commencer par l'objectif global de développement, l'étendue des vulnérabilités actuelles et les options pour atteindre le résultat escompté dans le cadre de la variabilité actuelle du temps et du changement climatique futur (par exemple Wilby et Dessai, 2010). La méthodologie utilisée dans le manuel est une combinaison des deux approches, telles que présentées dans la partie B.

## 1.4 Utilisation de ce manuel

Ce manuel renvoie à d'autres lignes directrices qui font partie de la documentation. Les sections de ce rapport qui sont liées à d'autres lignes directrices sont marquées d'un cadre vert (voir ci-dessous).

(par exemple) Section liée aux **lignes directrices sur la gestion du changement**.

Le manuel contient également des encadrés informatifs qui fournissent des informations supplémentaires ou qui font référence à des exemples supplémentaires. Celles-ci sont indiquées dans des cases bleues ombragées (voir ci-dessous).

### Boîte d'informations

Une liste d'*actions recommandées* est également placée dans des cases récapitulatives marquées en orange (voir ci-dessous).

### Options recommandées

Enfin, les *remarques générales* qui amplifient ou fournissent des indications supplémentaires sont indiquées dans les cases marquées en vert.

### Remarques (générales)

## 2 Composantes du manuel

### 2.1 Structure

Ce manuel fournit des informations pertinentes sur les procédures d'adaptation au climat pour l'accès aux routes rurales, ainsi que des instructions sur une méthodologie appropriée pour faire face aux menaces climatiques et à la vulnérabilité des actifs, de manière à accroître la résilience dans un avenir prévisible afin de garantir que les actifs atteignent la durée de vie utile prévue pour laquelle ils sont conçus.

Section 3.2.2 : *La hiérarchisation des besoins d'adaptation*, dans les **lignes directrices sur la gestion du changement**, fournit des informations sur la durée de vie utile prévue de certains actifs d'infrastructure routière.

Le manuel a été élaboré pour couvrir un large éventail de circonstances climatiques, géomorphologiques et hydrologiques communément applicables aux trois pays étudiés, l'Éthiopie, le Ghana et le Mozambique, mais il est également applicable à tous les autres pays d'Afrique subsaharienne.

Le manuel est un document général qui illustre les principes fondamentaux, les processus et les étapes nécessaires à la résilience climatique. Les détails concernant les mesures d'adaptation réelles et les méthodologies d'évaluation de la vulnérabilité sont inclus dans les documents de lignes directrices qui accompagnent le présent document et qui couvrent (1) l'évaluation des risques climatiques et de la vulnérabilité, (2) la gestion du changement, (3) l'adaptation technique, ainsi que dans le manuel d'évaluation visuelle (voir figure 1).

Le manuel est étayé par des études de démonstration qui ont été menées pour évaluer la pertinence et le caractère pratique des approches recommandées pour l'adaptation au climat. Les études concernées ont été réalisées au Mozambique.

Les trois pays dans lesquels les études ont été basées représentent presque toute la gamme des systèmes climatiques en Afrique. Le Mozambique est soumis à des inondations et à des événements extrêmes, notamment des cyclones tropicaux. Le Mozambique et le Ghana sont tous deux situés à l'extrémité réceptrice des eaux qui s'écoulent des principaux bassins fluviaux internationaux, et la plupart de leur activité économique et de leur population sont concentrées le long de la côte et dans les estuaires et deltas de faible altitude. L'Éthiopie est un pays enclavé avec des bassins versants plus petits et de vastes zones montagneuses.

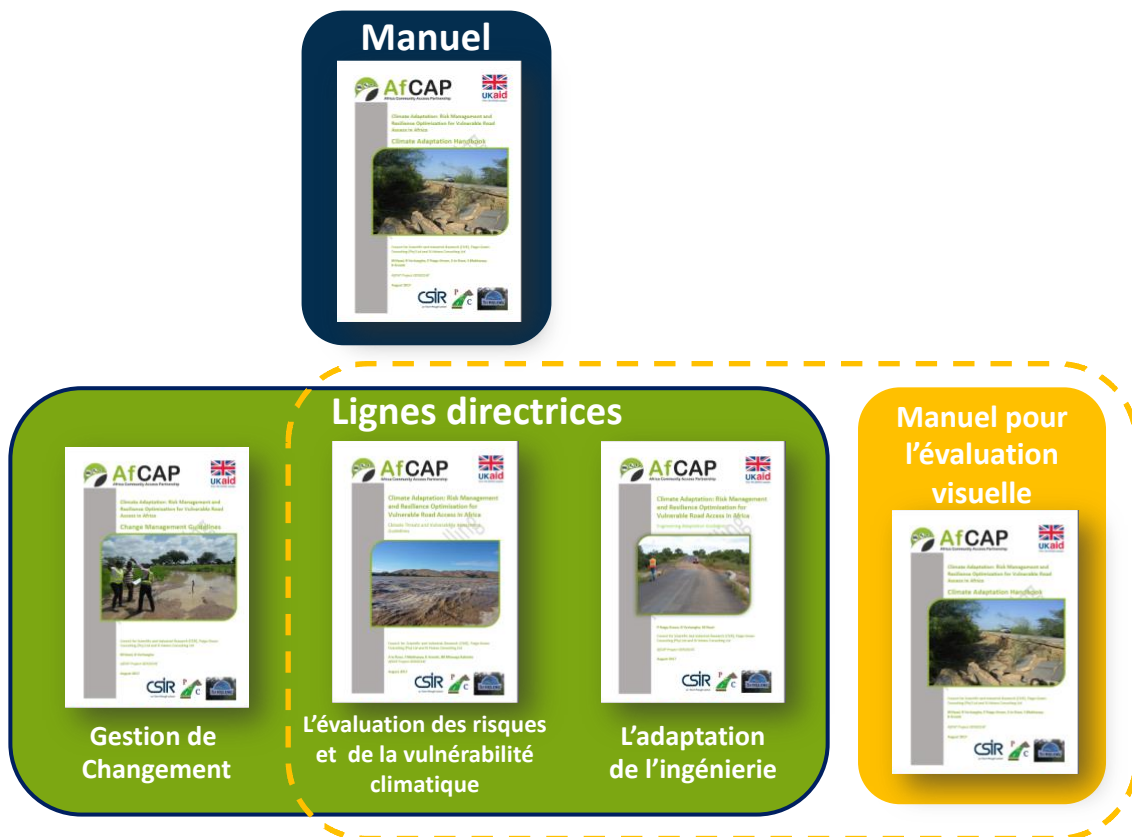


Figure 1 Aperçu du manuel et des lignes directrices qui l'accompagnent

## 2.2 Application

Le manuel a été produit pour fournir des informations pertinentes sur les procédures d'adaptation pour les routes d'accès rurales **nouvelles** et **existantes** ainsi que des instructions sur une méthodologie appropriée pour faire face aux menaces climatiques et à la vulnérabilité des actifs et pour accroître la résilience dans un avenir prévisible. Bien que produit *pour les routes rurales à faible trafic*<sup>8</sup>, la plupart des principes s'appliquent également aux *routes à fort trafic*. Il est également important de noter que les priorités et les paramètres de conception des routes à faible trafic peuvent différer de ceux des routes à fort trafic, et que la prudence est donc recommandée.

<sup>8</sup> Les routes rurales à faible trafic sont des routes qui comportent généralement moins d'un million d'essieux de norme équivalente (80 tonnes) sur leur durée de vie.

Il existe trois applications spécifiques du manuel qui se chevauchent dans le contexte des routes à faible trafic, comme le montre la figure 2 :

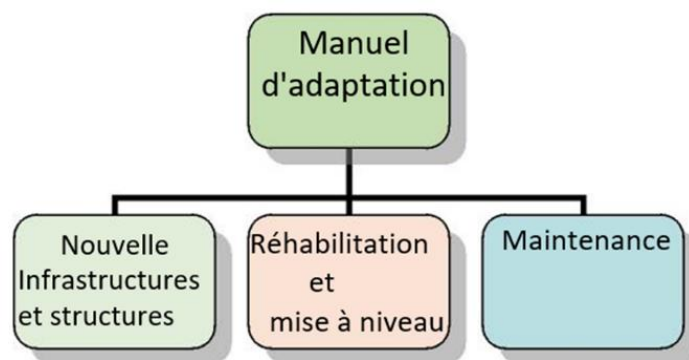


Figure 2 Applications couvertes par le manuel

Pour les trois applications :

- Les objectifs d'accessibilité sont les mêmes, mais les processus de conception et de construction peuvent être différents.
- Les principes de la méthodologie d'adaptation restent les mêmes.
- Les infrastructures existantes devraient avoir une meilleure connaissance historique et une meilleure compréhension des effets climatiques et hydrologiques.
- Les retards de maintenance des routes existantes sont les plus problématiques et les plus prioritaires.
- La réparation/réhabilitation des actifs affectés par les événements climatiques pour rétablir l'accessibilité est non seulement coûteuse, mais elle entraîne parfois des dépenses inutiles si les mesures de restauration ne sont pas rendues résistantes au climat. L'accent devrait donc être mis sur la « reconstruction en mieux » afin de réduire les vulnérabilités aux catastrophes futures.

#### Nouvelles infrastructures et structures

Dans l'ensemble, la construction d'infrastructures routières rurales, en particulier de nouvelles routes à faible trafic, est rare. Les fonds limités disponibles sont principalement utilisés pour la modernisation, les réparations et la réhabilitation, à l'exception de quelques zones de réalignement qui sont nécessaires pour éviter les embouteillages dans les villes (par exemple, les périphériques) ou pour améliorer les conditions géométriques et de sécurité.

Bien qu'il existe de nombreuses initiatives visant à améliorer l'accès aux zones rurales, la plupart d'entre elles impliquent l'amélioration des pistes existantes, des routes en terre ou en gravier pour les rendre conformes à des normes plus élevées (mais toujours des routes à faible trafic), ainsi que l'amélioration des structures de drainage existantes ou la construction de nouvelles structures. Dans ces cas, la connaissance des performances historiques et de l'hydrologie est généralement disponible pour les mises à niveau. Ils fournissent des conditions de base utiles, mais les hypothèses des normes de conception stationnaire peuvent être invalidées par le changement climatique. Par conséquent, lorsque des données existent, il peut être nécessaire de faire davantage pour atténuer les risques potentiels.

Lorsque des alignements totalement nouveaux sont prévus, il faut acquérir des informations sur l'hydrologie nécessaire à la conception des structures. Les changements climatiques attendus dans ces domaines doivent également être pris en considération.

## Réhabilitation et modernisation

Dans les cas où les critères de fonctionnement/viabilité requis ne peuvent plus être maintenus ou lorsque des scénarios futurs sont susceptibles d'entraîner une perturbation ou une défaillance des éléments d'infrastructure, une réhabilitation ou une modernisation des actifs existants est nécessaire. Cela devrait également être nécessaire lorsque les niveaux de risque sont jugés inacceptables, par exemple lorsque la défaillance d'une structure ou un glissement de terrain important peut entraîner des pertes de vies humaines, des périodes prolongées de fermeture de routes ou des travaux de réhabilitation coûteux. De nombreuses structures sur les routes d'accès rurales en Afrique subsaharienne sont plutôt anciennes ou ont été conçues comme des mesures provisoires ; elles pourraient donc être susceptibles d'être endommagées par les inondations.

La réhabilitation est également nécessaire lorsqu'une structure, un remblai ou un déblai a échoué en raison d'effets climatiques extrêmes récents ou passés, et nécessiterait des mesures supplémentaires pour assurer la résilience future. Des inventaires passés de ces défaillances permettraient de définir la hiérarchisation, de concevoir et de mettre en œuvre des mesures plus résistantes.

Ces types d'activités sont toutefois généralement très coûteux.

## Entretien des infrastructures existantes

De nombreux problèmes liés à la sensibilité au climat peuvent être minimisés par une maintenance pratique et opportune. Dans la plupart des pays subsahariens, il existe un important retard de maintenance résultant d'événements climatiques historiques ainsi que de l'incapacité à financer la maintenance de routine. Il en résulte que certaines parties du réseau routier sont impraticables pendant des périodes variables en période de pluie ou d'humidité. Une partie importante du processus d'adaptation consiste à identifier ces zones et à mettre en œuvre des mesures visant à renforcer la résilience dès que possible ou que le financement le permet. Il y aurait cependant rarement des fonds suffisants pour des mesures solides. Il est donc essentiel de hiérarchiser les besoins, selon des critères définis. Les détails concernant cette hiérarchisation sont fournis dans le présent manuel.

Si l'on ne résout pas le problème des retards de maintenance, on se retrouvera dans un scénario *de ne rien faire ou de statu quo*, qui nécessitera des ressources supplémentaires en matière de planification, d'urgence et de réaction, compte tenu de l'augmentation prévue des événements extrêmes.

Au niveau stratégique, il est préférable d'élaborer une stratégie nationale de lutte contre les menaces climatiques, de vulnérabilité et d'adaptation, alignée sur les stratégies nationales de développement, qui soutiendrait les politiques climatiques nationales. Les résultats permettront ensuite de déterminer les prochaines étapes en identifiant les vulnérabilités spécifiques et les endroits où des infrastructures plus résistantes sont nécessaires. Il s'agirait d'examiner le processus de hiérarchisation des priorités et son application au réseau routier au niveau des régions et des districts. Une plus grande résolution peut être nécessaire, en fonction de la menace et des risques encourus, et peut influencer les décisions futures en matière de planification et de développement. Enfin, des évaluations détaillées devraient être réalisées au niveau des corridors ou des projets et les stratégies devraient être affinées davantage, tout en tenant compte des implications budgétaires et des exigences en matière de planification. Le processus à plusieurs niveaux est illustré dans la figure 3.

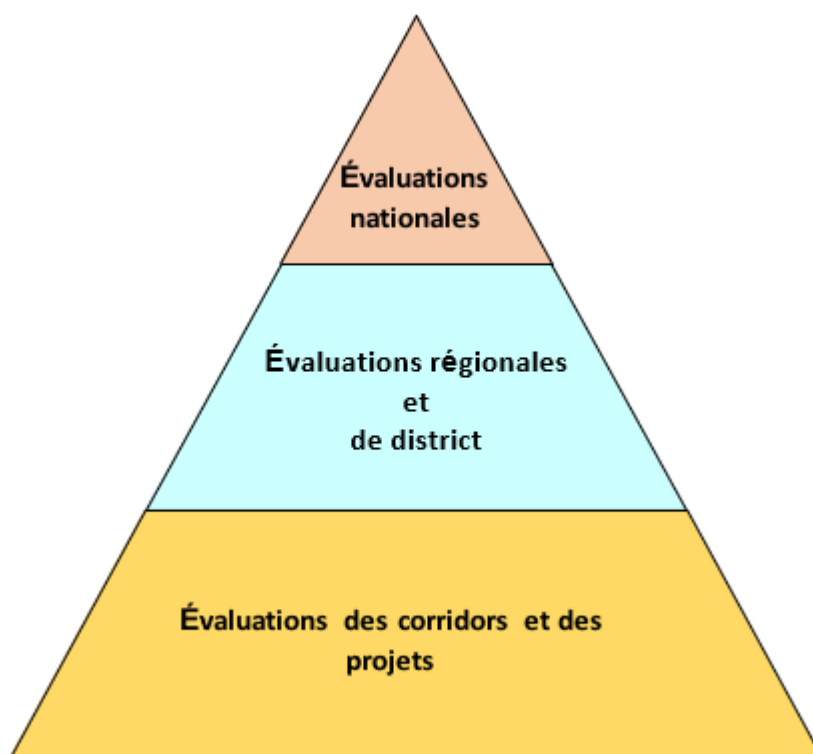


Figure 3 Processus à plusieurs niveaux

### 3 Portée du présent manuel

La méthodologie décrite dans ce manuel comprend **cinq** étapes, chacune d'entre elles comportant plusieurs activités, comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

Un résumé de la **PARTIE A : Un examen de la situation et la gestion du processus** est présenté dans ce manuel, les détails complets étant contenus dans les **lignes directrices sur la gestion du changement** qui l'accompagnent.

**PARTIE B : La méthodologie** est présentée en cinq étapes, comme suit :

<b>Étape 1</b>	<i>Examen des risques climatiques (national/régional)</i>
<b>Étape 2</b>	<i>Évaluation de l'impact et de la vulnérabilité (au niveau du projet)</i>
<b>Étape 3</b>	<i>Hiérarchisation, ainsi qu'évaluation technique et économique des options</i>
<b>Étape 4</b>	<i>Conception et mise en œuvre de projet</i>
<b>Étape 5</b>	<i>Suivi et évaluation</i>

Les étapes récapitulatives et les actions recommandées sont présentées dans la **partie B**, avec des détails contenus dans les lignes directrices d'accompagnement, comme le définit le codage couleur figurant plus loin dans le tableau 1. La méthodologie d'adaptation serait appliquée avec une rigueur légèrement différente en fonction de l'ampleur, de l'application et de la disponibilité des fonds (voir figure 4).

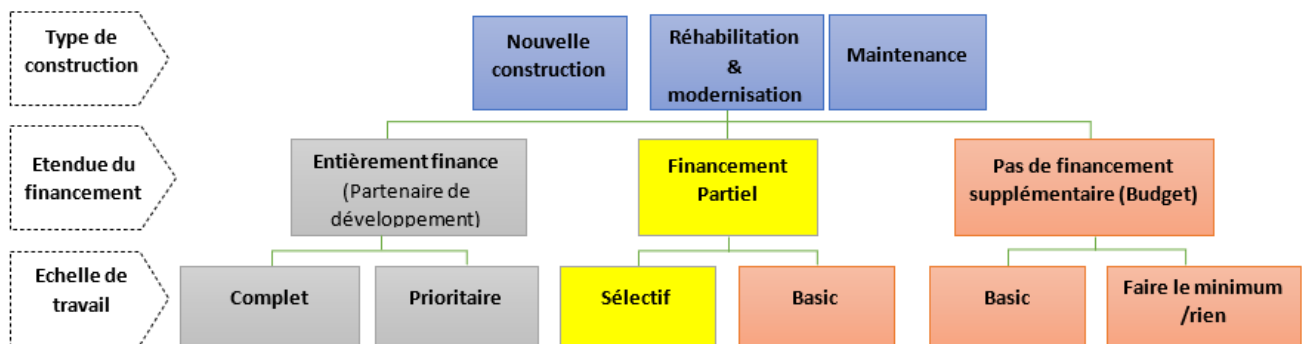


Figure 4 Approche stratégique basée sur le type d'activité et l'adéquation du financement disponible

À une extrémité de l'échelle se trouve un corridor routier entièrement financé et à l'autre un retard d'entretien du district avec des fonds rares ou nuls. Les directives politiques et stratégiques peuvent être en place ou absentes. Des systèmes appropriés de soutien des données peuvent être ou ne pas être en place, et le niveau de capacité technique pour mettre en œuvre l'adaptation devrait varier considérablement. La figure 4 illustre comment l'approche stratégique pourrait varier en fonction du type d'activité et de l'adéquation du financement disponible. Le financement des partenaires de développement (en vert) serait normalement global/prioritaire, tandis que les projets partiellement financés nécessiteraient une hiérarchisation très sélective et pourraient, par nécessité, être squelettiques dans les activités pouvant être financées.

Les réactions des pays partenaires de l'AfCAP indiquent que la maintenance est fortement sous-financée ou, dans certains cas, presque inexistante, et que les activités devraient donc être basées sur les ressources disponibles.

Ce manuel accorde également une attention particulière à la gestion des mesures qui pourraient être prises lorsque les budgets sont inadéquats ou absents dans un scénario « à faible coût ». Il est recommandé, dans ces circonstances, de suivre les orientations énoncées au point 2.4.4 et dans toute la section 3 des **lignes directrices sur la gestion du changement** dans le cadre d'un scénario « faible coût ».

Cette approche stratégique est examinée plus en détail à l'étape 4 de la partie B du **présent manuel** (section B.4 : *Conception et mise en œuvre de projet*) Les sections A.5.2, B.3.3 et B.4.1.1 donnent plus de détails sur la manière de traiter les scénarios budgétaires médiocres, inadéquats ou absents.

Le tableau 1 donne un aperçu de la structure du manuel et des liens entre le manuel et les trois lignes directrices qui le soutiennent. Certaines parties du tableau 1 concernent la préparation des institutions à faire face au changement climatique (c'est-à-dire la partie A, et les sous-étapes B.1.1 à B.1.3 de la partie B), d'autres concernent l'examen des risques climatiques au niveau national et au niveau des projets pour déterminer les besoins et les priorités (c'est-à-dire les sous-étapes B.1.4 et B.1.5 [au niveau national] et B.2.1 à B.2.3 [au niveau des projets]), et le reste concerne l'adaptation technique au niveau des projets.

Tableau 1 Contenu et étendue de la méthodologie d'adaptation

<b>PARTIE A</b>	<b>Examen de la situation et gestion du processus</b>	<b>Ligne directrice associée</b>
	<b>Identification du problème (y compris preuves)</b> Identification des causes probables Moteurs de changement (déterminés par les politiques) Gestion du changement Approche et livraison Gestion efficace des données	<b>Gestion du changement</b>
<b>PARTIE</b>	<b>Méthodologie</b>	<b>Ligne directrice associée</b>
<b>Étape 1</b>	<b>Examen des risques climatiques (national/régional)</b>	
B.1.1	Détermination des besoins	<b>Gestion du changement</b>
B.1.2	Identification et mobilisation de la participation des parties prenantes/partenaires	
B.1.3	Définition de la politique, des objectifs et de l'étendue	
B.1.4	Analyse des effets climatiques observés et prévus	<b>Risques et vulnérabilités</b>
B.1.5	Collecte de données et analyse des risques	
<b>Étape 2</b>	<b>Évaluation de l'impact et de la vulnérabilité (niveau projet/local)</b>	
B.2.1	Examen des risques climatiques au niveau des projets	<b>Risques et vulnérabilités</b>
B.2.2	Évaluations des impacts relatifs au climat	
B.2.3	Collecte de données et évaluation de la vulnérabilité	
<b>Étape 3</b>	<b>Évaluation technique et économique des options</b>	
B.3.1	Identification des stratégies et des mesures d'adaptation potentielles	<b>Ingénierie</b>
B.3.2	Analyse d'impact d' « agir » et de « ne rien faire »	
B.3.3	Consultation des parties prenantes	
B.3.4	Hiérarchisation et sélection des mesures d'adaptation	
<b>Étape 4</b>	<b>Conception et mise en œuvre de projet</b>	
B.4.1	Élaboration d'un plan de mise en œuvre (y compris le scénario « faible coût »)	<b>Ingénierie</b>
B.4.2	Paramètres de conception et optimisation	
B.4.3	Supervision et documentation de la construction	
<b>Étape 5</b>	<b>Suivi et évaluation</b>	
B.5.1	Élaboration d'un plan de suivi et d'évaluation	<b>Ingénierie</b>
B.5.2	Rapports et partage des expériences de mise en œuvre	

**CLÉ :**

Sections couvertes par <i>les lignes directrices sur la gestion du changement</i>
Sections couvertes par <i>les lignes directrices pour l'évaluation des risques et de la vulnérabilité climatiques</i>
Sections couvertes par <i>les lignes directrices pour l'adaptation de l'ingénierie</i>

## PARTIE A : Examen de la situation et gestion de l'adaptation

Les options de gestion de l'adaptation sont souvent qualifiées d'options non techniques et consistent en une série d'améliorations des politiques et de la gestion. Les activités associées de gestion du changement qui sont utilisées pour aborder l'adaptation de l'infrastructure routière et la gestion des actifs ont tendance à être de nature plus stratégique et organisationnelle que les options d'ingénierie et **sont généralement utilisées conjointement avec les options d'ingénierie dans leur application**. Les mesures techniques de protection contre les intempéries ont toujours fait l'objet d'une plus grande attention. Toutefois, les mesures les plus efficaces sur le plan économique peuvent aller au-delà des mesures d'ingénierie (comme la lutte contre les pratiques d'utilisation non durable des sols dans un bassin versant en amont).

### A.1 Défis du changement climatique

Les pays africains ont tendance à être particulièrement vulnérables aux effets de la variabilité du climat, et les catastrophes météorologiques historiques montrent à quel point ces pays sont sensibles. Les principaux changements climatiques suivants sont susceptibles de se produire à des degrés divers dans la plupart des régions de l'Afrique subsaharienne (Le Roux et coll., 2016) :

- Augmentation des températures (moyenne, maximum et nombre de jours extrêmement chauds par an)
- Diminution des précipitations et allongement des périodes de sécheresse ou augmentation de la variabilité des précipitations
- Augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes : tempêtes violentes, fortes précipitations, vagues de chaleur, etc.
- Élévation du niveau des mers
- Migration de la ceinture de cyclones tropicaux
- Augmentation de la vitesse des vents et des tempêtes de poussière<sup>9</sup>

Les sections 2.2 à 2.7 : *Effets du changement climatique*, dans les **directives d'ingénierie**, fournissent une description détaillée de ces changements, des dangers associés et de leurs effets.

Les types prédominants de catastrophes météorologiques enregistrées et le nombre de personnes qui ont été historiquement touchées sont illustrés ci-dessous. La figure 5 montre l'augmentation spectaculaire du nombre annuel de catastrophes liées aux conditions météorologiques enregistrées dans la base de données des événements d'urgence (EM-DAT) entre 1975 et 2015 pour tous les pays africains (CRED, 2016). La taille des graphiques circulaires indique le nombre de personnes touchées en fonction de l'importance des événements. Chaque graphique illustre les types d'effets - l'importance des inondations et de la sécheresse est particulièrement évidente. Les effets supplémentaires des tempêtes en Afrique australe sont également mis en évidence.

Il est clair que le changement climatique a déjà eu des répercussions sur l'ampleur et la fréquence des extrêmes climatiques, causant des dommages aux infrastructures et disloquant les communautés rurales (CRED, 2016). Les pays partenaires de l'AfCAP particulièrement vulnérables sont l'Éthiopie, le Kenya, le Mozambique, le Ghana, le Soudan du Sud, la Tanzanie et l'Ouganda ; cependant, tous les pays africains sont touchés dans une large mesure.

### A.2 Causes et effets

La figure 6 illustre l'importance des catastrophes liées aux conditions météorologiques et le nombre de personnes touchées par an. Il convient de noter le nombre d'événements, notamment ceux liés aux inondations et aux tempêtes.

Parmi les effets secondaires du changement climatique, on peut citer les suivants :

<sup>9</sup> Les tempêtes de poussière peuvent contribuer à l'obstruction des systèmes de drainage et à l'accumulation de sable et de poussière sur les routes. À l'échelle mondiale, les zones de terres arides se sont étendues depuis les années 1950 (Pravalié et coll., 2019).

- Changements d'intensité et de fréquence des inondations
- Modification de la fréquence des ondes de tempête extrêmes
- Changements dans la saison et les conditions de construction optimale (éventuellement le moment et la durée) en raison des contraintes de précipitation et de température
- Changements dans l'humidité du sol et la stabilité du terrain
- Changements dans le niveau des eaux souterraines
- Changements dans la couverture terrestre et la stabilité du sol (c'est-à-dire densité et type de végétation ; taux de croissance ; saisons de croissance plus ou moins longues)

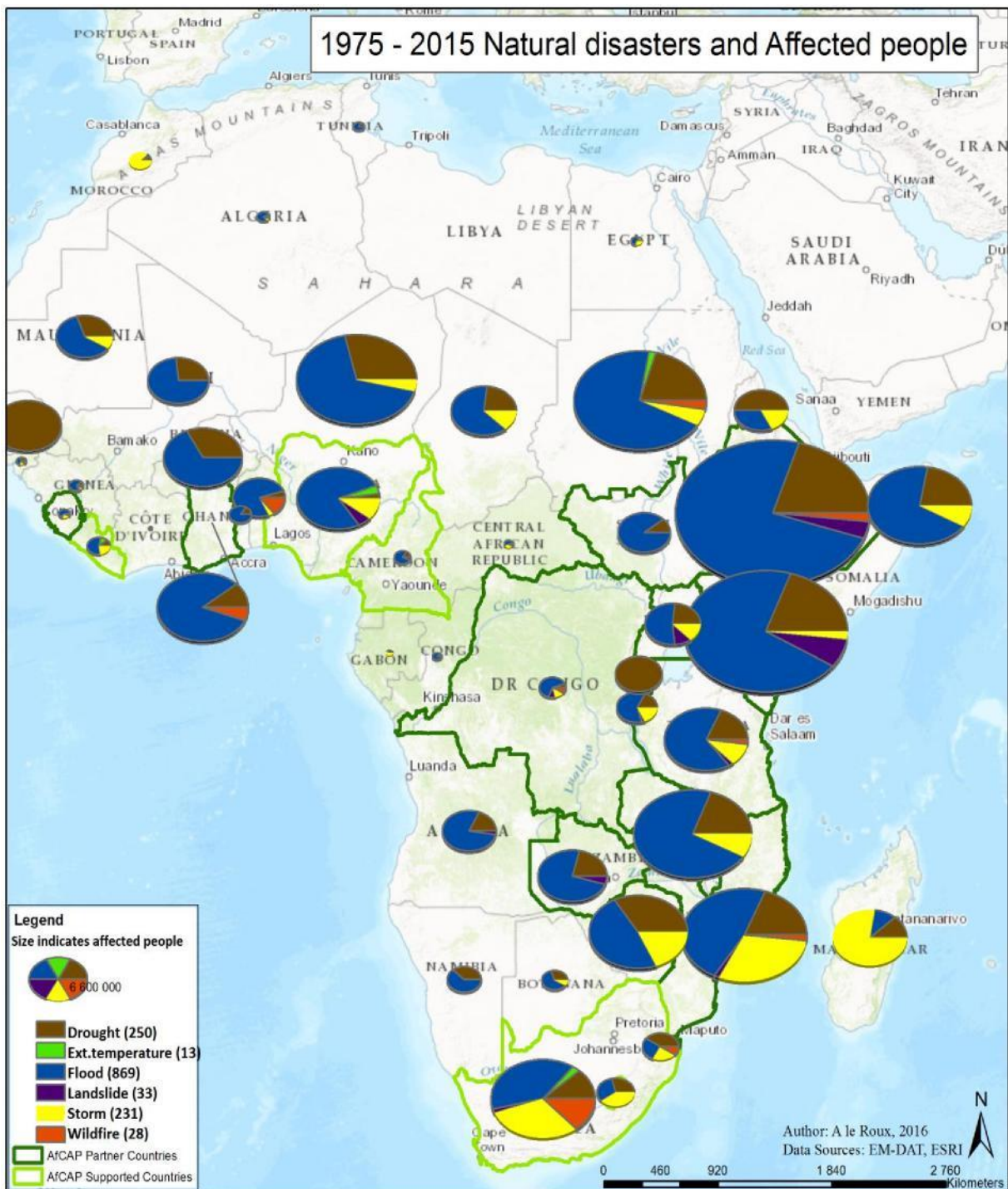
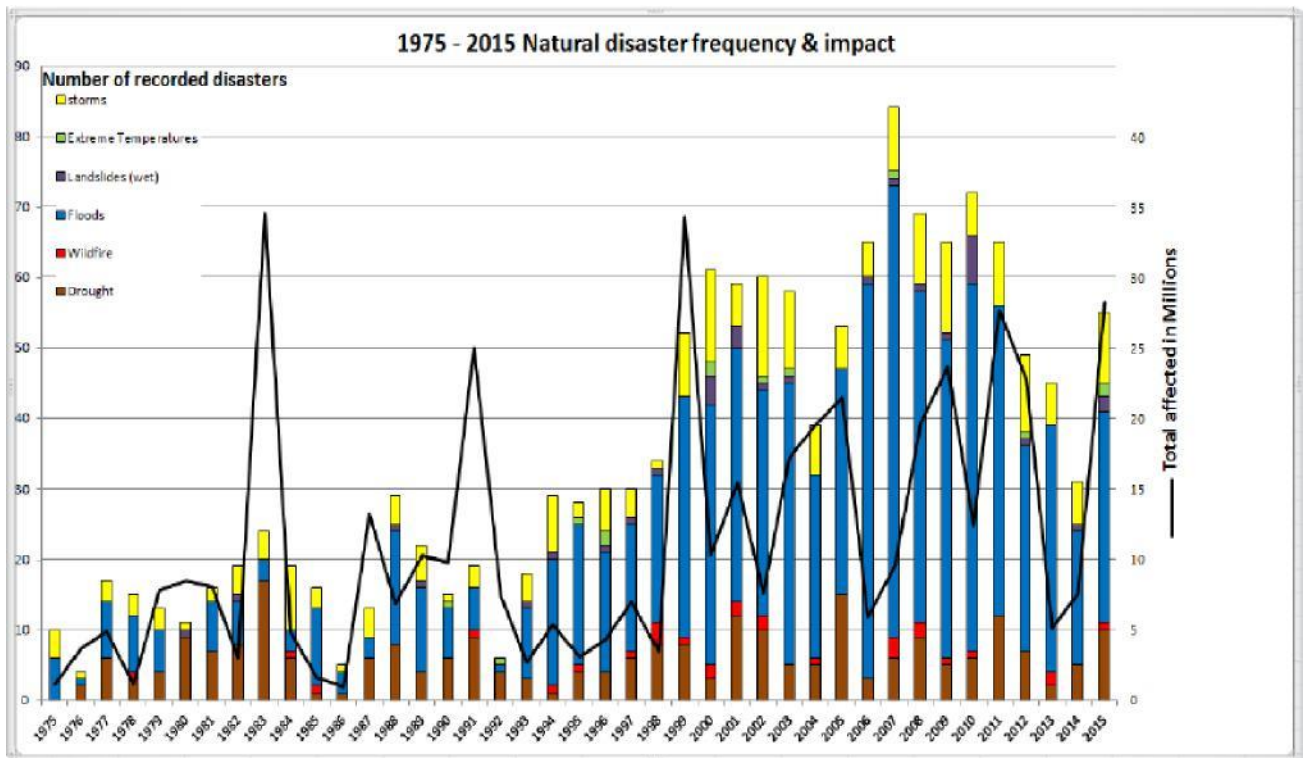


Figure 5 Catastrophes météorologiques enregistrées et populations touchées

(Données sources extraites de EM-DAT, 2016)



**Figure 6 Catastrophes météorologiques enregistrées et nombre total de personnes touchées par an entre 1975 – 2015**  
(Données sources extraites de EM-DAT, 2016)

### A.2.1 Accès rural

Les réseaux de routes rurales à faible trafic vont de simples pistes et de routes en terre non aménagées à des routes pavées de qualité raisonnable, construites selon des normes « conventionnelles ». Quelle que soit leur qualité, ces routes sont souvent rendues impraticables en raison d'événements météorologiques extrêmes périodiques. Ces routes sont associées à des ouvrages de franchissement de cours d'eau, allant de gué à des ponceaux de différentes tailles et à des ponts plus grands. Les vitesses élevées de l'eau endommagent souvent ces structures, rendant les liaisons routières impraticables pendant de longues périodes. Les inondations ont des conséquences similaires. Alors que le revêtement des routes peut généralement être remis en état rapidement pour rétablir la praticabilité après des événements extrêmes, la fermeture des routes causée par les inondations peut prendre plusieurs jours ou semaines avant que le niveau de l'eau ne baisse et que l'accessibilité ne soit rétablie. Toutefois, les dommages graves causés aux ouvrages de franchissement des cours d'eau par des vitesses d'eau destructrices pourraient prendre plusieurs semaines, voire plusieurs mois, à être rétablis, selon la capacité de réaction d'urgence et la capacité d'adaptation de l'autorité routière.

Il a été démontré en Afrique australe que pour les réseaux de routes à faible trafic (< 1 million d'équivalents cumulés d'essieux stansad simple, sur leur durée de vie), l'environnement (généralement climat) joue un rôle beaucoup plus important dans la contribution à la détérioration que que le trafic (SATCC, 2003).

Voir section 1.2.2 : *Accès rural*,  
**Directives d'ingénierie**, pour  
obtenir plus de conseils sur ce sujet



Figure 7 Route d'accès rurale à faible trafic en Afrique

### A.2.2 Maintenance inadéquate

Historiquement, l'entretien du patrimoine routier a été sporadique et inadéquat, ce qui a entraîné une détérioration du patrimoine. La tenue des registres, les systèmes de gestion, la supervision, le suivi et le contrôle de la qualité ont été faibles. Les problèmes ont été exacerbés par la réticence des partenaires au développement à créer des fonds de maintenance dans le cadre de leurs programmes de construction ou de réhabilitation. Par conséquent, les retards de maintenance importants, en plus des pressions exercées pour fournir un accès amélioré/nouveau aux communautés rurales, sont monnaie courante.

### A.2.3 Scénario « à faible coût »

Les budgets d'investissement et d'entretien de plusieurs MDA africains sont souvent insuffisants, même lorsque des fonds routiers bien gérés ont été mis en place pour gérer ces fonds. En outre, de mauvaises procédures de hiérarchisation, par exemple à travers des données et des systèmes de gestion mal établis, ont souvent entraîné une utilisation inefficace des fonds rares.

Ces dernières années, l'augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes et l'imprévisibilité des saisons des pluies ont créé un retard sans précédent dans les travaux d'entretien et de réhabilitation. Les fonds d'urgence sont souvent cruellement insuffisants pour faire face à l'ampleur croissante des dommages causés par le climat. Dans le pire des cas, les arriérés ne peuvent être rattrapés et les programmes de maintenance sont suspendus - sauf pour la maintenance de routine. La gestion de l'accès est particulièrement difficile dans ces circonstances, souvent appelées « Ne rien faire/faire le minimum ». Ce manuel traite en détail de cette situation particulièrement fréquente, appelée scénario « à faible coût ». Dans de telles circonstances, des actions et des plans spécifiques peuvent être entrepris pour réduire l'impact des événements climatiques et pour gérer l'accès grâce à un programme planifié de gestion de l'information, de systèmes d'alerte précoce, d'autoassistance communautaire, de planification d'urgence et de collaboration entre les parties prenantes.

Les **lignes directrices sur la gestion du changement** donnent des indications détaillées sur la manière de traiter un scénario budgétaire médiocre, inadéquat ou absent (voir section 2.3.3 : *Scénario faible coût*, section 2.4.4 : *Gestion de l'adaptation en cas de scénarios budgétaires médiocres ou inadéquats*, dans toute la section 3 : *Gestion du changement*, et dans la section 4.5 : *Scénario « à faible coût »*).

## A.2.4 Projection du changement climatique en Afrique

Les températures en Afrique devraient augmenter rapidement, plus vite que les températures moyennes mondiales, et dans les zones subtropicales à un rythme environ deux fois plus rapide que le taux d'augmentation des températures mondiales (Le Roux et coll., 2016). En outre, la région de l'Afrique australe et de l'Afrique du Nord méditerranéenne devrait devenir généralement plus sèche, tandis que l'Afrique de l'Est et la plus grande partie de l'Afrique tropicale devraient devenir plus humides. Une plus grande incertitude entoure les projections sur l'avenir climatique de l'Afrique de l'Ouest et du Sahel, certains modèles climatiques prévoyant des conditions plus humides et des modèles tout aussi crédibles prévoyant des conditions plus sèches. Pour la région de l'Afrique australe, des conditions généralement plus sèches et l'apparition future fréquente de périodes de sécheresse sont probables sur la plus grande partie de l'intérieur. Les trajectoires des cyclones tropicaux devraient se déplacer vers le nord, entraînant davantage d'inondations dans le nord du Mozambique et moins dans la province de Limpopo en Afrique du Sud. Plus au nord, au-dessus de la Tanzanie et du Kenya, il est plausible que des inondations de plus grande ampleur se produisent, si le futur régime climatique se caractérise par une fréquence plus élevée de forts épisodes El Niño.

De plus amples détails sur les projections en matière de changement climatique sont fournis à la section 2.2 (**Lignes directrices pour la gestion du changement**).

## A.3 Facteurs du changement

### A.3.1 Politique et plans

Bien que des politiques multisectorielles sur le changement climatique soient mises en œuvre dans de nombreux pays<sup>10</sup>, les politiques et stratégies spécifiques au secteur des routes et des infrastructures connexes sont quasiment absentes.

Les politiques du gouvernement, des MDA (ministères, départements et agences/autorités) et du Conseil national de développement en matière d'adaptation au climat définissent la portée et le contenu de la planification stratégique des programmes et des plans qui, une fois mis en œuvre, devraient créer un accès rural plus durable.

Section 2.4.2 : Options en matière d'adaptation au climat (**Lignes directrices sur la gestion du changement**), présente les options stratégiques et fournit des conseils sur la manière de les traduire en stratégies et en plans.

## A.4 Gestion de l'adaptation

La mise en œuvre d'une structure de gestion de l'adaptation dans un MDA peut permettre de prendre des mesures importantes pour créer une résilience aux effets du climat de manière rentable. Il devrait couvrir la planification, la gestion des parties prenantes et des actifs, ainsi que la formulation de stratégies et de programmes d'amélioration.

### A.4.1 Approche intégrée

En mettant en œuvre une approche intégrée, les parties prenantes peuvent anticiper et atténuer les impacts de manière plus efficace.

La section 3.1 des **lignes directrices sur la gestion du changement** définit toutes les activités et actions nécessaires pour parvenir à une approche intégrée :

- Identification et mobilisation de la participation des parties prenantes et des experts

<sup>10</sup> La planification de l'adaptation à l'échelle nationale est souvent liée aux engagements énoncés dans les contributions nationales déterminées au processus de la CCNUCC. Consulter : <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs>

- Amélioration de la gestion des réseaux et des programmes afin d'anticiper et d'atténuer les impacts
- Amélioration de la résilience de la gestion des actifs, y compris l'inventaire des actifs et l'évaluation de leur état
- Planification de la maintenance et alerte précoce
- Gestion environnementale
- Gestion hydrologique
- Améliorer les normes et les guides de conception
- Sécurité routière
- Recherche

#### A.4.2 Gérer le processus d'adaptation

Une fois que le processus, la séquence et les adaptations nécessaires ont été déterminés sur la base des évaluations initiales et des apports de la hiérarchisation, leur mise en œuvre doit être gérée avec soin.

##### A.4.2.1 Options d'adaptation dans le secteur routier

Les types de mesures qui peuvent être prises pour réduire la vulnérabilité comprennent le fait d'éviter, de résister (c'est-à-dire de renforcer la résilience) et/ou de tirer parti de la variabilité et des impacts du climat.

Voir les sections 4.3 : *Hiérarchisation des besoins d'adaptation* et 4.4 : *Options d'adaptation dans le secteur routier (lignes directrices d'ingénierie)* pour plus d'informations.

##### A.4.2.2 Hiérarchisation des besoins d'adaptation

Les communautés à faibles revenus luttent plus que d'autres pour faire face et s'adapter au changement climatique et aux risques naturels. Il y a un effet de spirale descendante lorsque le climat affecte le développement économique et crée en même temps une perte d'accès.

Selon le rapport *Shock Waves* de la Banque mondiale (Hallegatte et coll., 2016),

- les catastrophes naturelles poussent les gens dans la pauvreté et empêchent les pauvres d'en sortir ;
- une augmentation des risques naturels est déjà observée et devrait s'aggraver dans les prochaines décennies ;
- ces changements dans les risques affecteraient les pauvres et notre capacité à éradiquer la pauvreté. Les pauvres étant souvent les plus exposés aux risques naturels et perdant une part plus importante de leurs biens et de leurs revenus lorsqu'ils sont frappés par une catastrophe, les catastrophes naturelles accroissent les inégalités et peuvent contribuer à découpler la croissance économique et la réduction de la pauvreté.

Le processus de hiérarchisation des priorités devrait nécessiter une contribution importante des autorités routières ainsi que des communautés où des besoins et une importance différents peuvent prévaloir et nécessiteront généralement des décisions de nature stratégique.

Voir la section 4.3 : *Hiérarchisation des besoins d'adaptation (directives d'ingénierie)*.

Les critères types de hiérarchisation, énoncés au point 3.2.2 (**Lignes directrices pour la gestion du changement**) sont les suivants :

- Perte potentielle de vies humaines
- Disponibilité d'itinéraires alternatifs
- Coût et conséquences de la fermeture
- Les questions d'environnement et de durabilité (c'est-à-dire la perte d'habitat et la dégradation de l'environnement ; par exemple, Laurance et coll., 2015)
- Coût de la réparation

- Fonds disponibles
- Exigences d'accessibilité pour les communautés locales.

#### A.4.2.3 Aptitude au service

Il est important que toutes les routes soient soigneusement et correctement classées en fonction de leur **fonction principale** (c'est-à-dire la fourniture de mobilité ou d'accès) et de leur **niveau d'aptitude au service requise** dans le cadre du processus de hiérarchisation des priorités. Cette aptitude au service est fonction de nombreux facteurs, mais surtout du fait que la route soit purement une route d'accès ou qu'elle soit également utilisée pour la mobilité.

Du point de vue de la planification stratégique et de l'investissement, la classification de l'aptitude au service doit tenir compte de divers scénarios de mobilité et d'accessibilité le long d'un corridor, dans une sous-région, à l'échelle régionale et, finalement, à l'échelle nationale. En d'autres termes, des stratégies d'itinéraires alternatifs sont nécessaires pour assurer principalement la continuité de la mobilité, mais aussi la continuité de l'accès, à travers tous les événements climatiques/saisons.

Les classifications proposées pour le niveau d'aptitude au service des routes qui assurent principalement la mobilité et l'accessibilité sont présentées au point 3.2.2 *Hiérarchisation des besoins d'adaptation (lignes directrices pour la gestion du changement)*.

#### A.4.3 Intégration

L'intégration couvre la préparation de la documentation complète, sa mise en œuvre et la réalisation du processus d'adaptation. Les documents suivants devront tenir compte de la variabilité et du changement climatique dans le cadre du processus d'adaptation :

- Documents de politique
- Plans stratégiques et quinquennaux
- Plans de gestion
- Documents de planification
- Programmes et budgets
- Normes et spécifications
- Plans et conceptions de projets
- Plans de construction et de surveillance
- Plans d'urgence

#### A.4.4 Renforcement des capacités

Afin d'établir et de mettre en œuvre avec succès l'adaptation au climat, les capacités nationales doivent être développées par tous les acteurs concernés. Cela inclut les MDA de routes/transports, mais devrait également inclure un large éventail d'autres participants du gouvernement central (par ex. finances, environnement), en cascade jusqu'aux groupes de villages.

Voir section 3.4 : *Renforcement des capacités (Lignes directrices de gestion du changement)* pour plus de détails.

**Actions recommandées** (à diriger et/ou à coordonner par les MDA de routes/transports) Le renforcement systématique des capacités peut se faire comme suit :

- Engager les parties prenantes dans le développement des capacités.
- Évaluer les besoins et les atouts en matière de capacités.
- Formuler une réponse de développement des capacités basée sur
  - les dispositions institutionnelles - politiques, procédures, gestion des ressources, organisation, direction, cadres et communication ;
  - le leadership - une participation de haut niveau devrait aider à la définition des priorités, à la communication et à la planification stratégique ;
  - la connaissance - la connaissance est le fondement de la capacité ;
  - la responsabilité - la mise en œuvre de mesures de responsabilité facilite l'amélioration des performances et de l'efficacité.
- Mettre en œuvre une réponse de développement des capacités.
- Évaluer le développement des capacités.

## A.5 Approche et livraison

### A.5.1 Financement et budgets

Après avoir identifié et hiérarchisé les besoins de développement, la recherche des financements nécessaires à la mise en œuvre de la résilience climatique va être l'un des plus grands défis pour les autorités routières. Le financement est déjà, depuis de nombreuses années, insuffisant pour entretenir l'infrastructure existante. La réaction aux événements extrêmes actuels a pour conséquence que les fonds sont détournés vers d'autres sources, généralement les budgets de maintenance, pour être affectés à des fonds « d'urgence », ce qui aggrave les besoins de maintenance déjà sous-financés.

Jusqu'à récemment, la plupart des partenaires de développement n'ont pas mis en œuvre de solides méthodologies de risque, d'examen et d'adaptation pour les projets d'infrastructure routière. Les expériences ne sont pas bien développées ou documentées, ce qui a conduit à des cas de résilience insuffisante des actifs.

Les stratégies d'investissement des partenaires de développement sont présentées dans la section 4.1 : *Le financement et l'examen de la vulnérabilité climatique (Lignes directrices pour la gestion du changement)* ; et les considérations relatives aux nouvelles infrastructures, à la réhabilitation, à la modernisation et à la maintenance sont présentées aux sections 4.2 à 4.4 (*Lignes directrices pour la gestion du la gestion du changement*).

### A.5.2 Scénario à « faible coût »

Le fait de ne pas prendre de mesures pour faire face aux risques associés aux événements climatiques extrêmes découle, entre autres, des trois principaux obstacles à l'adaptation suivants (cf. Eisenack et coll., 2014) :

- **Manque de connaissance** : pas familier avec, ou incapacité à comprendre, la forme ou l'ampleur du problème
- **Inaction** : incapacité à mettre en place des mesures appropriées ou refus de s'attaquer au problème
- **Insuffisance des fonds** : soit par la méconnaissance de l'ampleur du problème, soit par l'incapacité à obtenir un financement.

Plusieurs MDA du secteur des routes/transports en Afrique subsaharienne manquent actuellement de connaissances et de compréhension de l'ampleur des problèmes liés au changement climatique. Même lorsqu'il y a une compréhension de base, il y a souvent une inaction parce que les politiques et stratégies adéquates ne sont pas en place. En outre, les structures de pouvoir et les profondes inégalités sociales peuvent conduire à des bénéfices très inégaux des interventions d'adaptation (cf. Clay et King, 2019). En tant que tels, les programmes d'accès aux zones rurales bénéficieront à certains ménages plus qu'à d'autres, et il est donc nécessaire de prendre des dispositions pour remédier à ces inégalités.

L'inaction est susceptible d'augmenter les coûts liés à la gestion des perturbations, à la perte d'accès, à la réhabilitation et au développement socio-économique. On s'attend à ce que les chocs dus à des événements climatiques extrêmes inattendus sapent gravement la résistance des communautés et des entreprises.

*Ne rien faire* serait souvent le résultat d'un financement insuffisant. Si cette voie est empruntée de manière non planifiée, elle peut entraîner de fréquentes perturbations du réseau d'infrastructure et il faudrait généralement plus de temps et de coûts à long terme pour rétablir l'accessibilité. Elle peut également avoir des effets négatifs prolongés sur le développement socio-économique.

Par nécessité, cette option est de plus en plus répandue, car les retards de maintenance augmentent et le financement devient plus problématique. Malheureusement, si elle fait partie d'un programme de gestion *réactive*, il devient difficile d'aborder de manière significative la question de la priorité des communautés touchées.

Dans de nombreuses circonstances, le budget n'est pas suffisant pour faire face à toutes les zones, routes et structures touchées par les événements climatiques ; ou que les conséquences du changement climatique sont trop graves pour justifier une adaptation physique complète d'un point de vue budgétaire. Dans ces circonstances, la hiérarchisation doit se faire sur la base des effets socio-économiques et des analyses coûts-avantages (voir section B.3.4). Un programme planifié de dialogue avec les communautés touchées, comprenant des informations bien dispersées et des programmes d'urgence, est nécessaire pour modérer les effets négatifs de ces décisions sur ceux qui sont susceptibles d'être touchés.

Les conséquences d'une insuffisance de fonds d'urgence ou d'un retard dans l'entretien sont que la maintenance de routine et la réhabilitation planifiée pourraient être suspendues. De nombreux pays africains connaissent des pénuries de fonds pour la maintenance de base des routes rurales à faible trafic. Dans certains cas, des routes ou des structures pourraient être abandonnées par manque de fonds, ou en raison de décisions stratégiques lors de la hiérarchisation des décisions d'investissement. Dans d'autres, les actifs sont laissés impraticables pendant les saisons des pluies ou une partie de celles-ci.

Un plan stratégique pour un scénario de *budget insuffisant* doit être préparé dans ces circonstances, comme indiqué à la section B.3.3.

#### **Actions recommandées (par les MDA de routes/transports)**

- Prendre des mesures proactives pour déterminer l'ampleur du problème.
- Consulter toutes les parties prenantes concernées pour convenir du type de mesures pouvant être financées, le cas échéant.
- Élaborer un plan stratégique pour un scénario de budget insuffisant.
- Élaborer des plans d'urgence.

Le sujet est traité plus en détail à la section B.3.4 : *Analyse socio-économique des notions d'« agir » et de « ne rien faire »*, **Manuel d'adaptation au climat**.

### **A.5.3 Gestion de la livraison**

Pour de nombreux pays africains, le financement est la principale pierre d'achoppement pour assurer la résilience des infrastructures dans n'importe quel domaine. Les nouvelles constructions ou les grands programmes de réhabilitation sont souvent financés par les banques multilatérales de développement, mais certains peuvent nécessiter un financement supplémentaire de la part du trésor public. La réhabilitation/modernisation ne peut être que partiellement financée par des organismes extérieurs, mais elle est principalement financée par le trésor national (souvent complétée par des fonds routiers spécifiques). Il est probable qu'elle soit appliquée de manière sélective à des projets hautement prioritaires, les autres projets n'obtenant que peu ou pas de financement. La maintenance est généralement entièrement financée par des sources locales et est inévitablement sous-financée de manière significative.

En général, seuls les projets prioritaires sélectionnés sont entièrement financés. La réhabilitation et la modernisation peuvent être partiellement financées par des programmes sélectifs hautement prioritaires, mais le reste du réseau d'infrastructures serait soumis à des budgets opérationnels qui, dans de nombreux cas, pourraient aboutir à « *ne rien faire* » ou « *ne pas faire grand-chose* » en raison de contraintes budgétaires.

## A.6 Gestion efficace des données et des actifs

Les chocs liés au climat se produisent fréquemment, même pendant le cycle de vie des actifs routiers à courte durée de vie, et doivent donc être considérés comme faisant partie des activités quotidiennes de l'autorité routière. La gestion d'actifs est un outil décisionnel primordial et essentiel pour la hiérarchisation des investissements. En intégrant les aspects pertinents du changement climatique dans les systèmes de gestion du patrimoine d'infrastructure, elle devrait constituer la base à partir de laquelle les initiatives en matière de changement climatique pourraient être facilement mises en œuvre dans une administration routière.

Pour que les besoins et les priorités en matière d'adaptation au climat soient intégrés dans la gestion d'actifs, il faudrait recueillir des informations supplémentaires, telles que des évaluations des risques/vulnérabilités potentiels des actifs, afin de pouvoir identifier les zones/structures à problèmes.

Description plus en détail dans la section 2.5 (**Lignes directrices sur les risques et la vulnérabilité**), et dans la section 5 : *Gestion efficace des données* (**Lignes directrices sur la gestion du changement**).

Toutes les données disponibles concernant le changement et les modèles climatiques doivent être identifiées et analysées pour en déterminer l'utilité. Il en serait de même pour l'inventaire des actifs d'infrastructure et leur état.

Toutes les routes doivent être soigneusement et correctement classées en fonction de leur niveau d'aptitude au service requis dans le cadre du processus de hiérarchisation des priorités. Cette classification peut différer des classifications routières existantes, qui peuvent être basées sur les comptages de trafic, la démographie ou l'objectif. Comme il n'est pas économiquement possible de résoudre tous les problèmes potentiels de résilience au climat, il est nécessaire de donner la priorité aux routes dans une zone donnée. Ce dernier devrait être basé sur le niveau d'aptitude au service fourni par la route. Les décisions relatives à la **classification du niveau d'aptitude au service** doivent être basées sur une analyse multicritères (AMC) et inclure des considérations sociales, de trafic, de connectivité et économiques. Ces analyses doivent être effectuées à un **niveau stratégique** sur la base de l'**inventaire des routes** développé dans le cadre du système de gestion du patrimoine routier (RAMS) ainsi que de l'état actuel des routes, afin d'identifier toute amélioration préliminaire.

Du point de vue de la planification stratégique et de l'investissement, la classification de l'aptitude au service doit tenir compte de divers scénarios d'accessibilité le long d'un corridor, dans une sous-région, à l'échelle régionale et, finalement, à l'échelle nationale. En d'autres termes, des stratégies d'itinéraires alternatifs sont nécessaires pour assurer la continuité de l'accès à travers tous les événements climatiques/saisons

Chaque projet devrait être évalué en termes de coûts d'adaptation par rapport au coût de l'*inaction*, en tenant compte de tous les coûts techniques, sociaux et environnementaux et des coûts globaux actualisés du cycle de vie pour permettre des comparaisons équitables.

Le changement climatique pourrait avoir un impact de 3,1 milliards USD sur les routes éthiopiennes si l'on prend en compte les effets de l'augmentation des températures, des précipitations et des inondations jusqu'en 2100 (Banque mondiale, 2010). Ces coûts pourraient être réduits de 54 % si les politiques d'adaptation sont adoptées par le gouvernement dans le cadre de changements de politique. Toutefois, même avec ces adaptations, le coût potentiel du changement climatique pour les routes éthiopiennes pourrait atteindre 1,4 milliard USD (Chinowsky et coll., 2011).

Afin de mettre en œuvre les adaptations nécessaires pour rendre les routes plus résistantes au climat et de contribuer à la hiérarchisation des priorités, il est nécessaire que les MDA des routes/du transport effectuent

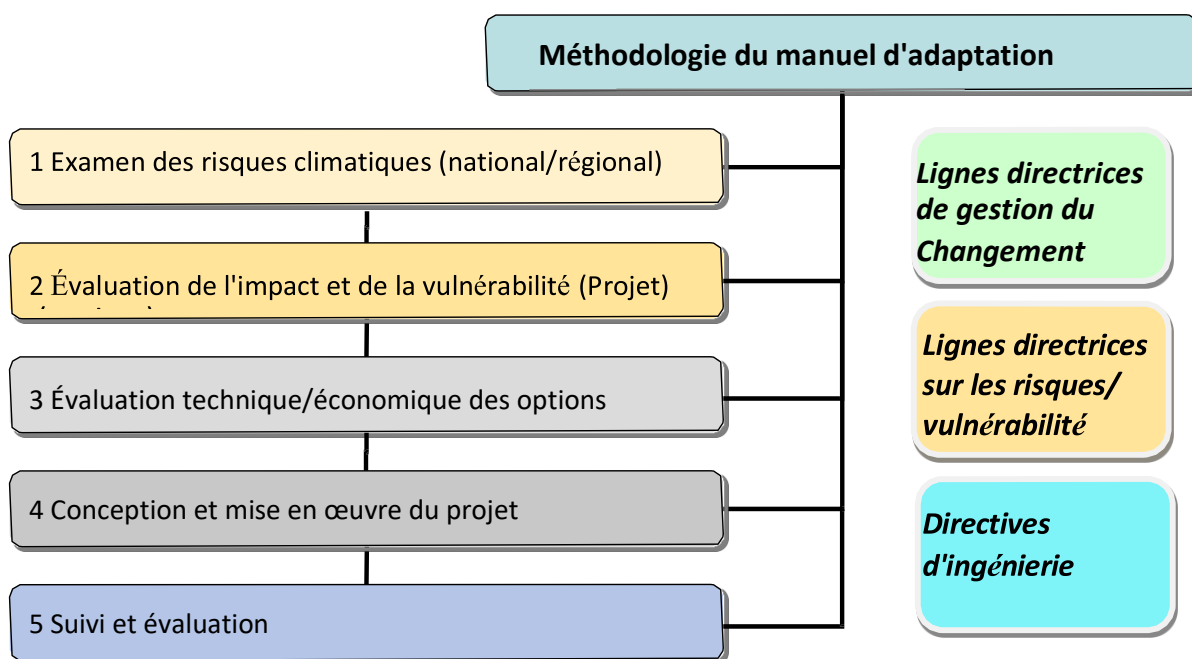
des évaluations visuelles des routes existantes en accordant une attention particulière aux problèmes spécifiquement liés aux effets climatiques.

## PARTIE B : Méthodologie

La méthodologie d'adaptation identifie les risques et les vulnérabilités, définit des stratégies et des options et guide la conception pour la mise en œuvre et la révision. L'adaptation peut être définie comme :

*Dans les systèmes humains, le processus d'ajustement au climat réel ou prévu et à ses effets, afin de modérer les dommages ou d'exploiter les opportunités bénéfiques (c'est-à-dire les actions qui réduisent le danger, l'exposition et la vulnérabilité).*

Elle comporte cinq étapes, comme suit :



Ce manuel est le document de référence et illustre les principes fondamentaux, les processus et les étapes nécessaires à la résilience climatique. Les détails concernant les mesures d'adaptation effectives sont inclus dans les **documents d'accompagnement des lignes directrices** couvrant la *gestion du changement*, *l'évaluation des risques et de la vulnérabilité climatiques* et *l'adaptation d'ingénierie*. Dans le contexte de l'évaluation des impacts climatiques, le terme de risque est souvent utilisé pour désigner les conséquences négatives potentielles d'un aléa climatique, ou des réponses d'adaptation ou d'atténuation à un tel aléa, sur les vies, les moyens de subsistance, la santé et le bien-être, les écosystèmes et les espèces, les biens économiques, sociaux et culturels, les services (y compris les services d'écosystème) et les infrastructures. Dans le contexte de ces lignes directrices, le risque est défini comme une fonction des dangers, de l'exposition des routes d'accès rurales et de la vulnérabilité en termes d'accès des communautés rurales (le Roux et coll., 2016). Les définitions suivantes s'appliquent en particulier :

- **Dangers** : Les événements liés au climat qui peuvent éventuellement causer des dommages et/ou l'interruption du service des infrastructures routières rurales à faible trafic d'accès ainsi que des pertes potentielles de vies (par exemple, inondations, glissements de terrain) ;
- **Exposition** : Localisation des installations routières à faible trafic, des structures associées et de l'environnement routier ainsi que des communautés rurales dans des endroits qui pourraient être affectés négativement (dans l'empreinte du danger). Cela inclut également les impacts indirects, tels que la perturbation de l'accès en raison d'un impact climatique sur un autre partie du réseau routier <sup>11</sup>;

<sup>11</sup> Pour un examen des recherches récentes sur la résilience des réseaux de transport, voir Mattsson and Jenelius (2015). Idéalement, la planification de l'adaptation devrait adopter une approche intégrée du secteur des transports (c'est-à-dire les dépendances entre, par exemple, la route et le rail, ou la route et le transport maritime)

- **Vulnérabilité** : La propension à être affecté négativement, compte tenu de la dépendance des communautés rurales à l'égard de ces routes d'accès à faible trafic.

Une évaluation nationale des menaces et de la vulnérabilité (« examen des risques climatiques », *étape 1*) doit être effectuée en premier lieu. Bien que l'examen des risques climatiques soit d'une importance capitale pour la planification et la prise de décision multisectorielles au niveau national, il n'est pas nécessairement nécessaire pour la mise en œuvre d'une méthodologie d'adaptation au niveau des projets (*étapes 2 à 5*).

La méthode d'examen des risques climatiques présentée à l'*étape 1* propose donc une méthode d'évaluation des risques et de la vulnérabilité des routes rurales qui s'adresse aux décideurs nationaux, tandis que les *étapes 2 à 5* proposent une méthode d'évaluation des risques et de la vulnérabilité des routes d'accès rurales au niveau des projets et l'identification, la hiérarchisation et la mise en œuvre des options d'adaptation, et s'adresse aux professionnels de la construction et de l'ingénierie routière.

## B.1 ÉTAPE 1 : Examen des risques climatiques

Une évaluation géospatiale des risques et de la vulnérabilité de l'infrastructure routière liée au climat peut fournir des informations géographiques clés destinées à aider les décideurs à identifier les routes qui devraient être prioritaires pour la réparation, l'amélioration ou le développement à la lumière des conditions climatiques changeantes.

Le niveau de détail et l'aide à la décision fournis par une évaluation des risques et de la vulnérabilité dépendent fortement de la question et de l'ampleur de l'étude. À l'échelle nationale, une stratégie sur la vulnérabilité, les risques et l'adaptation au climat apporte un soutien stratégique aux politiques nationales en matière de routes et de climat. À des échelles plus fines, les analyses au niveau des régions et des districts jouent un rôle essentiel dans la prise de décisions futures en matière de planification et de développement en donnant la priorité aux zones à haut risque, tandis que les analyses à l'échelle locale fournissent des évaluations très détaillées au niveau des projets qui aident les gestionnaires de projets tout en adaptant des tronçons de route ou des corridors routiers individuels.

### B.1.1 Détermination des besoins

Une enquête sur les pays touchés (Verhaeghe et coll., 2017), suivie de réunions avec des responsables gouvernementaux et d'ateliers, a révélé des expériences et des problèmes similaires à traiter d'urgence :

- L'adaptation au climat est souvent abordée dans le cadre d'une approche nationale multisectorielle, mais les transports et les routes ne sont actuellement pas inclus de manière significative.
- Les risques climatiques et les vulnérabilités des réseaux routiers ruraux à faible trafic doivent être identifiés et traités.
- Des données pertinentes sur le climat doivent être collectées pour soutenir une nouvelle approche.
- De nouvelles politiques et stratégies appropriées qui tiennent compte du changement climatique doivent être intégrées dans tous les programmes.
- Les dommages routiers dus aux effets climatiques augmentent à un rythme alarmant et nécessitent des orientations appropriées pour être traités.
- Les budgets de maintenance pour les travaux d'équipement et d'entretien ne sont pas suffisants pour faire face efficacement aux effets du climat.
- Le manque de financement est si aigu dans de nombreux pays qu'il faut des scénarios spécifiques pour relever les défis avec un financement faible, inadéquat ou absent.
- Les connaissances et les capacités en matière d'adaptation au climat doivent être renforcées, en particulier dans le cadre des accords de développement multilatéraux sur les routes et les transports.

#### Actions recommandées

- Effectuer des analyses des besoins dans le secteur des routes et des transports afin de déterminer l'étendue des activités à mener et les résultats nécessaires.
- Consulter toutes les parties prenantes concernées afin d'établir des lignes de communication et de coopération claires.

### B.1.2 Identifier et mobiliser la participation des parties prenantes/partenaires

La communication et la participation des parties prenantes doivent avoir lieu dès le début et doivent être permanentes tout au long du processus d'évaluation, et être facilitées par des sessions de travail et des ateliers de collaboration. Ces séances de partage des connaissances devraient se tenir tout au long de l'année pour permettre et soutenir la coordination et la collaboration interdisciplinaires et interministérielles entre le secteur public, le secteur privé et les acteurs locaux afin d'évaluer les impacts, les vulnérabilités et les options d'adaptation.

La communication et la participation des parties prenantes doivent inclure un large éventail de participants, des agences du gouvernement central jusqu'aux communautés locales. L'évaluation au niveau national/régional peut cependant être plus pertinente pour les parties prenantes nationales ou internationales. Ces parties prenantes peuvent être des ministères, des agences ou des autorités nationales, des bailleurs de fonds de projets d'investissement dans les infrastructures routières gouvernementales ainsi que d'autres acteurs des secteurs public et privé qui ont un intérêt direct dans la planification et le développement des infrastructures routières.

#### Actions recommandées

- Assurer un engagement continu avec un large éventail de participants afin de promouvoir une communication, une collaboration et une implication des parties prenantes qui soient inclusives, efficaces et efficientes pendant le processus de travail.
- Inclure les parties prenantes suivantes dans un dialogue ouvert et continu :
  - Les organismes du gouvernement central qui ont un intérêt direct dans la planification et le développement des infrastructures routières
  - Les départements nationaux de planification
  - Les parties prenantes nationales du secteur des transports, y compris les ministères, départements et agences/autorités des transports et des routes (MDA)
  - Les bailleurs de fonds des projets d'investissement dans les actifs routiers
  - Les banques multilatérales de développement (BMD)
  - Les autres ministères/départements gouvernementaux concernés (par exemple, agriculture, environnement, science et secteurs technologiques pertinents)
  - Les comités sur le changement climatique
  - Les instituts s'occupant de météorologie/hydrologie (par exemple, ressources en eau, hydrologie et lutte contre les inondations)
  - Les services d'urgence et/ou le département national chargé de la gestion des catastrophes
  - Les parties prenantes locales directement concernées par les activités du projet (cela devrait aller jusqu'aux groupes de villages touchés)
- Consulter les parties prenantes suivantes en cas de scénarios de financement médiocres, inadéquats ou absents :
  - Communautés et entreprises locales
  - Écoles, cliniques et hôpitaux locaux
  - Agriculteurs et commerçants
  - Organisations caritatives, groupes confessionnels et ONG

### B.1.3 Définition de la politique, des objectifs et de l'étendue (niveau du réseau)

L'application d'un prisme climatique est recommandée au niveau national ou à l'examen sectoriel (OCDE, 2009) :

- La mesure dans laquelle la politique, la stratégie, la réglementation ou le plan envisagé pourrait être vulnérable aux risques découlant de la variabilité et du changement climatiques
- La mesure dans laquelle les risques liés au changement climatique ont été pris en considération lors de l'élaboration des programmes
- La mesure dans laquelle la politique, la stratégie, la réglementation ou le plan pourrait entraîner une vulnérabilité accrue, conduisant à une mauvaise adaptation ou, à l'inverse, à la perte d'opportunités importantes découlant du changement climatique

- Les avantages potentiellement inégaux/répartis du plan (ou des projets), et
- Les politiques, stratégies, réglementations ou plans préexistants qui sont en cours de révision, les modifications qui pourraient être justifiées afin de faire face aux risques et aux opportunités liés au climat.

#### Actions recommandées

- Nommer un responsable du programme d'adaptation au climat pour la mise en œuvre
- Les effets du changement climatique ne sont pas fixés par les frontières nationales ; leurs effets nécessitent une coordination régionale (par exemple pour les projets qui dépassent les frontières des États et impliquent plusieurs nations). L'harmonisation des activités de développement des réseaux routiers nationaux et régionaux nécessite une coordination à un niveau élevé.
- L'intégration de considérations d'adaptation dans les plans directeurs de transport, par exemple, devrait permettre de garantir davantage la probabilité d'atteindre les objectifs liés aux transports et peut également permettre de définir de nouvelles priorités. La façon la plus simple pour un plan de transport d'intégrer l'adaptation au changement climatique est de reconnaître la relation entre les impacts du changement climatique et les objectifs du plan, tels que des réseaux routiers sûrs et efficaces.
- Aligner les politiques d'aménagement du territoire, les normes techniques nationales et internationales, ainsi que les politiques et réglementations économiques pour favoriser la résilience des transports et des infrastructures routières.
- La collecte d'informations orientées sur les politiques ou le lien explicite entre le projet pilote et l'intégration des politiques. Les stratégies d'adaptation sont testées et évaluées dans le contexte d'une sphère politique donnée et les mesures réussies sont réinjectées dans la politique en question. Cette intégration peut contribuer à améliorer l'orientation générale de la politique et la réalisation de ses objectifs.

#### B.1.4 Analyse des effets climatiques observés et prévus

Les impacts climatiques observés pour les pays partenaires de l'AfCAP sont présentés dans la figure 5 : *Catastrophes météorologiques enregistrées et populations touchées* et la figure 6 : *Occurrence des catastrophes météorologiques enregistrées et nombre total de personnes touchées par an de 1975 à 2015* (cf. section A.1). Les données sources peuvent être extraites de la base de données des événements d'urgence (EM-DAT ; <https://www.emdat.be/database>).

Des évaluations des risques et de la vulnérabilité au niveau des districts sont nécessaires pour faciliter l'identification des districts où les routes sont les plus vulnérables au changement climatique en termes d'impact sur l'accessibilité des zones rurales. Pour ce faire, on utilise largement le réseau routier existant et les principes de conception des routes pour déterminer les endroits où les routes pourraient être le plus touchées par les changements climatiques et les modèles socio-économiques, et on se base plus en détail sur les évaluations visuelles de la vulnérabilité. Le résultat de l'évaluation au niveau du district identifie les zones à haut risque potentiel (zones qui devraient être prioritaires pour l'adaptation des routes). Ces résultats peuvent ensuite être utilisés pour déterminer où des évaluations approfondies du risque routier et de la vulnérabilité au niveau local seraient les plus bénéfiques.

Les recommandations présentées dans cette section sont basées sur des méthodologies qui ont été appliquées et testées dans trois pays africains de l'AfCAP, à savoir l'Éthiopie, le Ghana et le Mozambique.

#### Principaux changements climatiques prévus (2071-2100) pour les pays AfCAP (le Roux et coll., 2016) :

##### Zambie

Des hausses de température drastiques sont prévues en Zambie avec une faible atténuation - dépassant 6 °C dans les parties occidentales vers la fin du siècle. La partie occidentale du pays devrait également devenir généralement plus sèche avec une diminution des événements pluvieux extrêmes. Cependant, dans les régions de l'extrême nord-est, il est probable que les précipitations augmentent et que des événements pluvieux extrêmes se produisent.

### ***Mozambique***

Une augmentation générale des précipitations totales, des précipitations extrêmes et l'arrivée de cyclones tropicaux sont probables dans le nord du Mozambique en raison du changement climatique. Sur les parties méridionales, y compris la région du bassin fluvial du Limpopo, il est probable que les précipitations diminuent (il convient toutefois de noter que certains modèles climatiques étendent la région des conditions plus humides sous l'effet du changement climatique au sud du Mozambique). Les changements prévus de la température maximale sont moins importants que dans l'intérieur sud à l'ouest, mais peuvent tout de même dépasser 4 °C.

### ***Malawi***

Le Malawi est situé dans une région considérée comme marginale en termes de changement prévu des précipitations. Il est situé entre une grande partie de l'intérieur de l'Afrique australe qui devrait devenir généralement plus sèche et une grande partie de l'Afrique de l'Est (du nord du Mozambique au sud jusqu'à la Corne de l'Afrique) qui devrait devenir généralement plus humide. Par conséquent, une certaine incertitude entoure le signal de pluie projeté pour le Malawi, certains modèles prévoyant une augmentation générale des précipitations et des événements pluvieux plus extrêmes, mais d'autres modèles prévoyant le signal inverse. Les changements prévus de la température maximale sont plus faibles que dans les zones subtropicales, mais peuvent tout de même dépasser 4 °C pour le scénario où le pays devient également généralement plus sec.

### ***Kenya, Tanzanie et Ouganda***

La plupart des modèles climatiques prévoient une augmentation générale des précipitations en Afrique de l'Est dans le cadre du changement climatique, notamment dans la région du Kenya, de la Tanzanie et de l'Ouganda. On prévoit constamment une augmentation des phénomènes de précipitations extrêmes. Les changements prévus de la température maximale sont moins importants que dans les régions subtropicales, mais peuvent tout de même dépasser 4 °C.

### ***Éthiopie***

La plupart des modèles climatiques prévoient une augmentation générale des précipitations sur la Corne de l'Afrique dans le cadre du changement climatique, y compris sur les parties orientales de l'Éthiopie. Dans les régions montagneuses de l'ouest, il est probable que les précipitations diminuent. On prévoit constamment une augmentation des phénomènes de précipitations extrêmes. Les changements prévus de la température maximale sont moins importants que plus au nord, mais peuvent encore atteindre 4 °C.

### ***Soudan du Sud***

La plupart des modèles climatiques pour le Soudan du Sud prévoient une diminution générale des précipitations, avec, dans le cadre du changement climatique, une augmentation associée des événements pluvieux extrêmes. Cependant, une minorité de modèles climatiques indiquent qu'un avenir généralement plus sec avec une diminution des événements extrêmes est également probable. Les changements de température prévus sont moins importants que sur l'Afrique du Nord à l'ouest, mais pourraient tout de même dépasser 4 °C.

### ***République démocratique du Congo (RDC)***

Une augmentation générale des précipitations et des pluies extrêmes est probable dans une grande partie des tropiques africains, y compris la RDC. L'augmentation de la température peut atteindre 4 °C.

### ***Ghana, Liberia et Sierra Leone***

Le Ghana, le Liberia et la Sierra Leone se trouvent dans une partie de l'Afrique de l'Ouest pour laquelle les modèles climatiques prévoient des précipitations très diverses à l'avenir, allant de beaucoup plus humides avec plus d'événements extrêmes, à beaucoup plus sèches avec moins d'événements extrêmes. L'augmentation de la température pourrait bien dépasser 4 °C.

La méthodologie pour entreprendre une évaluation des risques et de la vulnérabilité au niveau du district se compose de cinq phases, chacune contenant un certain nombre d'étapes d'action :

**Phase 1 : Identification des dangers affectant la vulnérabilité des routes**

- Étape 1.1 : Identifier les risques climatiques actuels qui affectent la vulnérabilité des routes (sur la base de données historiques)
- Étape 1.2 : Comprendre les futurs risques climatiques susceptibles d'affecter la vulnérabilité des routes (sur la base des données climatiques projetées)

**Phase 2 : Collecte et préparation des données**

- Étape 2.1 : Collecte de données
  - Quelles données collecter
  - Où collecter les données
- Étape 2.2 : Préparation des données, y compris l'assurance de la qualité des données

**Phase 3 : Analyse des données**

- Étape 3.1 : Déterminer l'exposition des routes aux dangers identifiés
- Étape 3.2 : Déterminer la criticité de la route (en fonction de l'accessibilité rurale)
- Étape 3.3 : Déterminer les districts les plus vulnérables
  - Districts les plus vulnérables dans les conditions climatiques et socio-économiques actuelles
  - Futurs quartiers vulnérables dans un contexte de changement climatique et d'accroissement de la population

**Phase 4 : Intégration dans le système de gestion du patrimoine routier**

- Étape 4.1 : Envisager l'inclusion d'indicateurs de risques climatiques dans le RAMS
- Étape 4.2 : Exportation des données vers le RAMS
- Étape 4.3 : Analyser les données dans le RAMS

**Phase 5 : Adaptation au climat** (en termes de priorités)

- Consulter les lignes directrices sur la gestion du changement et l'adaptation de l'ingénierie

Voir la section 3.2 : *Pilotage d'une évaluation des risques et de la vulnérabilité au niveau du district (Lignes directrices sur les risques et la vulnérabilité)* pour une explication complète.

L'objectif de l'identification des risques affectant la vulnérabilité des routes est double : *premièrement*, analyser les données climatiques historiques afin d'identifier les menaces climatiques actuelles qui affectent le plus la vulnérabilité des routes, et *deuxièmement*, utiliser les menaces climatiques actuelles identifiées pour éclairer une enquête sur les dangers futurs qui sont susceptibles d'affecter la vulnérabilité des routes dans les conditions prévues de changement climatique.

### Actions recommandées

- Formuler une image nationale, des documents, des données et des statistiques de la menace climatique provenant d'évaluations au niveau national indiquant le type, la fréquence et l'intensité des catastrophes historiques induites par le climat.
- Examiner les archives de données climatiques historiques, des rapports d'évaluation au niveau des pays et des ateliers de partage des connaissances afin d'éclairer le processus d'identification des menaces climatiques qui affectent le plus la vulnérabilité des routes. Identifier et signaler les forces motrices de la vulnérabilité en vue d'une analyse plus approfondie dans le cadre de ce processus d'évaluation.
- Les risques d'inondation ont le plus grand impact sur l'infrastructure routière rurale où une inondation centennale pourrait endommager jusqu'à 30 % et 10 % des routes non revêtues et revêtues respectivement (Chinowsky *et coll.*, 2012).
- Considérons deux principaux types d'impacts liés au climat pour les routes rurales, à savoir les risques liés à l'eau (inondations et glissements de terrain) résultant des précipitations extrêmes, et la dégradation des routes résultant des changements progressifs des précipitations et des températures moyennes.
- Tenir également compte d'autres risques courants induites par le climat, telles que les tempêtes, les sécheresses, le vent et les incendies (s'il est déterminé qu'elles sont de fréquence, d'ampleur et de portée élevées).
- Cartographier les résultats de l'enquête sur la menace climatique.

Les paramètres et données climatiques suivants peuvent être évalués pour déterminer les risques climatiques :

- Niveau de la mer, action des vagues et taux d'érosion côtière (pour les routes côtières)
- Intensité des précipitations et pente du terrain (pour les régions montagneuses)
- Fréquence de durée d'intensité des pics de précipitations (pour la conception du drainage et la protection des infrastructures)
- Profils des événements météorologiques extrêmes passés
- Modification du début et de la durée des saisons des pluies (pour l'entretien des routes et le calendrier des travaux)
- Vitesse du vent (pour l'évaluation des risques d'érosion, de déplacement de la poussière et d'incendie de forêt)
- Combinaisons multirisques des éléments ci-dessus (par exemple, ondes de tempête, vents violents et fortes pluies avec inondations fluviales (Gill et Malamud, 2017)

Il est également important de comprendre comment les menaces climatiques devraient évoluer à moyen (2050) et long terme (2100) termes. Pour ce faire, des études de scénarios prospectifs sont menées à l'aide de modèles climatiques et de données projetées.

### Actions recommandées

- Utiliser les résultats des risques actuelles pour informer le point de départ de la conduite d'enquêtes prospectives.
- Utiliser des projections à moyen terme (2021-2050) qui sont généralement moins incertaines que les projections à long terme (2070-2100).
- Effectuer des évaluations climatiques futures basées sur les résultats de la modélisation physique du changement climatique à haute résolution (cf. le Roux et coll., 2016). Il s'agit notamment des changements prévus du climat en ce qui concerne la température et les précipitations, ainsi que des modifications des événements extrêmes et, le cas échéant, des changements prévus de l'élévation du niveau de la mer et de la vitesse du vent dans les environnements côtiers (il convient toutefois de noter que les vitesses du vent prévues par les modèles climatiques peuvent ne pas être fiables).
- Cartographier les résultats de la future enquête sur les risques climatiques.

### B.1.5 Collecte de données et analyse des risques

Une série de données doit être fournie en appui aux analyses de risque et de vulnérabilité. Pour commencer, les données sur le réseau routier, les données sur les risques climatiques et les données socio-économiques doivent provenir des autorités nationales et/ou de référentiels de sources ouvertes. Les ensembles de données qui soutiennent l'analyse, tels que les données sur les limites des districts et les données sur la hiérarchie des villes, doivent également être fournis. Les données destinées à étayer les analyses de risque et de vulnérabilité au niveau des districts devraient, dans l'idéal, provenir des autorités nationales compétentes de chaque pays qui ont été désignées comme dépositaires des données.

Une fois les données obtenues, il convient de les préparer afin de les transformer de leur état initial en variables pour l'évaluation des dangers spécifiques aux routes de rase campagne.

Le tableau 2 présente les données possibles nécessaires pour effectuer une analyse des risques et de la vulnérabilité au niveau du district ainsi que les autorités nationales suggérées chargées de la conservation de données spécifiques ou, en l'absence de telles données, des référentiels de données source ouverte où les données peuvent être obtenues librement.

La première étape de l'analyse des risques consiste à réaliser une **évaluation de l'exposition et de la vulnérabilité des routes** en déterminant quels sont les districts les plus exposés aux risques climatiques, et dans quel état sont les routes et les structures de ces districts. Ces informations peuvent ensuite être utilisées pour déterminer la vulnérabilité des routes, là où les routes et/ou les structures en mauvais état situées dans des districts exposés à de graves menaces climatiques sont plus à risque.

#### Actions recommandées

- Déterminer les districts les plus touchés par les risques climatiques historiques ; par exemple, agréger le nombre d'événements de menace climatique par district en obtenant les dossiers de menaces les plus longs possibles. En l'absence de données, des sources informelles pourraient être utilisées (par exemple, des articles de journaux, des enquêtes sur des événements mémorables).
- Superposer les données sur l'état du réseau routier avec les districts les plus touchés par les menaces climatiques.
- Cartographier les résultats de l'exposition des routes aux menaces identifiées (sur la base de l'état du réseau routier [résilience] et de l'exposition aux menaces climatiques).

Deuxièmement, déterminer la criticité des routes en termes d'accessibilité rurale. Au niveau du district, une évaluation de la criticité est utilisée pour évaluer l'importance des routes d'accès rurales pour les communautés (districts) qu'elles desservent (par exemple, le nombre de personnes desservies par une route et/ou le nombre de personnes sans accès). Pour permettre à l'évaluation de la criticité d'avoir une orientation spécifique à la région, elle est considérée comme une annexe à l'indice de vulnérabilité du patrimoine routier. L'exposition et la vulnérabilité des routes sont considérées comme une dimension dans l'évaluation de la criticité, tandis que d'autres dimensions comprennent la capacité et la fonction des routes.

L'indice d'accès rural (RAI) a été développé par la Banque mondiale et mesure la proportion de la population rurale qui vit à moins de 2 km (20-25 minutes de marche) d'une route d'accès par rapport à la population rurale totale (Roberts *et coll.*, 2004). Quelques-uns des facteurs à prendre en compte dans un indice d'accès rural :

- Distribution et densité de la population
- Densité du réseau routier (couverture)
- Population à moins de 2 km d'une route d'accès
- Population sans accès routier (en termes de nombre de personnes et de pourcentage de la population)
- Disponibilité d'itinéraires alternatifs

**Tableau 2** Données suggérées nécessaires pour effectuer une analyse des risques et de la vulnérabilité au niveau du district et des éventuelles données source

Composants d'évaluation	Type de données	Sources de données spécifiques à chaque pays	Données source ouverte
<b>Classification du réseau routier</b>	Données sur le réseau routier (Lignes du centre de la rue avec attributs)	Agence ou autorité routière nationale Système national de gestion du patrimoine routier	DIVA-GIS
<b>Évaluation des dangers climatiques</b>	Données climatiques historiques (échelle nationale)	Département national de gestion des catastrophes Service météorologique national	EM-DAT ERA-Interim CRUTEMP4v
	Données sur les risques liés au climat (par exemple, données sur les incidents liés aux inondations à l'échelle du district)	Département national de gestion des catastrophes Service météorologique national Département national de l'environnement	Dartmouth Flood Observatory
	Données climatiques projetées (Résolution spatiale fine, par exemple 8 km de résolution)	Service météorologique national	CORDEX Afrique ACCESS1-0 CNRM-CM5
<b>Analyse socio-économique</b>	Données sur la population actuelle	Office national de la statistique	WorldPop
	Hiérarchie des données sur les établissements	Bureau de l'arpenteur général	DIVA-GIS
	Données sur la population projetée	Office national de la statistique	UN ESA
<b>Soutenir le traitement des données géographiques</b>	Limites des districts	Bureau de l'arpenteur général	DIVA-GIS
	L'imagerie satellite Couverture végétale Élévation numérique Géologie Classification des sols	Agence spatiale nationale	Landsat (USGS EROS) Images de l'ESRI

#### Actions recommandées

- Calculer l'indice d'accès rural et/ou un indicateur d'éloignement (voir section 3.2 : **Directives sur les risques et la vulnérabilité**).
- Obtenir une vue consolidée de la criticité des actifs par district en agrégeant l'indice d'exposition et de vulnérabilité des routes et l'indice d'accès rural, puis en dressant une carte.
- L'importance de la pondération dans l'étape d'agrégation dépend de la nécessité de prendre en compte les informations préférentielles. Utiliser une analyse multicritères spécifique au pays comme outil pour évaluer le risque global des routes d'accès rurales, compte tenu des différents points de vue sur l'importance des différentes composantes.

Des sous-ensembles de données doivent être agrégés pour produire des cartes supplémentaires permettant de déterminer les districts les plus vulnérables, et donc les réseaux routiers. Ces cartes devraient comprendre les éléments suivants :

- Districts les plus vulnérables dans les conditions climatiques et socio-économiques actuelles
- Futurs quartiers vulnérables dans un climat changeant et avec une population croissante

Une liste complète des indicateurs pertinents pour une évaluation de la vulnérabilité basée sur des indicateurs est présentée dans le tableau 4 de la section 3.3 : *Résumé des indicateurs proposés (lignes directrices sur les risques et la vulnérabilité)*.

## B.2 ÉTAPE 2 : Évaluation de l'impact et de la vulnérabilité (niveau projet/local)

### B.2.1 Examen des risques climatiques au niveau des projets

Lors de la conception de nouvelles infrastructures, les impacts climatiques doivent être déterminés et inclus dans le cadre de l'évaluation des incidences sur l'environnement ou de l'évaluation environnementale stratégique. Ces impacts doivent être pris en compte dans la conception, ainsi que les données à utiliser pour intégrer les mesures d'adaptation nécessaires. Ceci est particulièrement pertinent pour les grandes structures, qui devraient normalement avoir une durée de vie qui s'étend jusqu'au siècle prochain. Les ingénieurs en structure doivent être conscients des menaces climatiques spécifiques futures (événements plus extrêmes, températures plus élevées, etc.) et en tenir compte dans la conception.



**Figure 8** Dommages causés par les inondations à l'approche du pont et à la structure du pont

Pour les routes existantes, cependant, pendant (ou parallèlement à) l'évaluation visuelle de routine des routes en vue de leur entrée dans les systèmes de gestion du patrimoine routier (RAMS), il serait jugé essentiel d'inclure une évaluation de la vulnérabilité de la route et des structures associées (ponts, ponceaux, remblais, pentes, etc.) à la variabilité et aux changements climatiques. Les vulnérabilités potentielles et leur atténuation devront être identifiées. Des lignes directrices ont été élaborées à cet effet (**manuel d'évaluation visuelle pour la vulnérabilité du climat**) en conjonction avec les manuels d'évaluation visuelle existants pour le système de gestion des actifs afin d'aider les évaluateurs à prendre ces décisions. Contrairement au processus d'hierarchisation, l'évaluation de la vulnérabilité serait une opération plus tactique. La sensibilité au climat de tous les composants de l'infrastructure routière doit être identifiée en termes de dommages et d'effondrements lors des évaluations de routine de l'état des routes. Les évaluations de la vulnérabilité devraient, pour minimiser le coût d'acquisition des données sur la vulnérabilité climatique des actifs, être effectuées simultanément avec les évaluations de routine de l'état des routes et tous les éléments de données nécessaires devraient être saisis. Bien que cela implique une formation supplémentaire des évaluateurs, il est possible que le travail puisse être effectué simultanément.

Voir la section 4.1 : *L'objectif d'une évaluation de la vulnérabilité des routes locales (Lignes directrices sur les risques et la vulnérabilité)*.  
Voir la section 5.1 : *Dangers, exposition et vulnérabilité (Lignes directrices d'ingénierie)*

## B.2.2 Évaluations des impacts relatifs au climat

L'objectif d'une évaluation de la vulnérabilité des routes au niveau local/du projet est d'identifier les menaces spécifiques qui affectent actuellement un segment de route particulier et d'évaluer la probabilité que ces menaces s'intensifient ou se réduisent à l'avenir. Les menaces particulières sont l'érosion des talus, l'inondation des surfaces de route, la perte d'intégrité de la structure de la route, la perte d'intégrité de la chaussée, etc. (Falemo *et coll.*, 2015). L'intention est d'utiliser les résultats de l'évaluation locale de la manière suivante :

- Éclairer les décisions de conception d'ingénierie depuis le niveau du segment de route jusqu'au niveau du bassin versant d'un réseau routier
- Identifier les données supplémentaires qui doivent être incluses dans les systèmes de gestion du patrimoine routier pour surveiller les risques climatiques et environnementaux
- Identifier d'autres facteurs qui aggravent les effets du changement climatique sur les routes et qui peuvent être gérés en modifiant les pratiques des communautés, de l'industrie et des décideurs politiques

L'évaluation locale implique un processus en cinq phases, dont le concept est similaire à celui de l'évaluation de la vulnérabilité des districts. Les différences entre l'évaluation au niveau du district et au niveau local se situent dans le détail de chaque étape. Le cadre d'évaluation locale comprend les phases suivantes, chacune comportant un certain nombre d'actions :

### **Phase 1 : Contextualisation de la zone locale**

- Étape 1.1 : Collecter et préparer les données au niveau local

### **Phase 2 : Évaluation visuelle sensible au climat**

- Étape 2.1 : Saisir les données grâce au travail de terrain et à la cartographie participative des communautés

### **Phase 3 : Analyse de la vulnérabilité des routes sensibles au climat**

- Étape 3.1 : Évaluer les carences de l'état des routes
- Étape 3.2 : Évaluer l'entretien des routes
- Étape 3.3 : Évaluer la criticité de la route
- Étape 3.4 : Calculer l'indice de vulnérabilité des routes

### **Phase 4 : Intégration dans le système de gestion du patrimoine routier (RAMS)**

- Étape 4.1 : Exportation des données vers le RAMS
- Étape 4.2 : Communiquer avec les parties prenantes

### **Phase 5 : Adaptation au climat**

- Adapter la route en fonction des priorités et des conceptions d'ingénierie sensibles au climat (voir les lignes directrices sur la gestion du changement et l'adaptation de l'ingénierie)

Voir la section 4.3 : *Méthodes d'évaluation locale de la vulnérabilité des routes aux risques climatiques (Lignes directrices sur les risques et la vulnérabilité)* pour une explication complète.

La méthode proposée pour l'évaluation de l'impact et de la vulnérabilité du climat au niveau local repose sur des données d'évaluation au niveau micro, en plus des données extraites des bases de données spatiales nationales et internationales. Dans ce cas, l'évaluation au niveau micro se réfère aux enquêtes de terrain (ou routières) menées périodiquement par les ingénieurs routiers locaux/districts pour rendre compte de l'état des réserves routières. Dans le cas de l'adaptation au climat, des données sur les aspects de la résilience sont également collectées lors de l'évaluation visuelle sensible au climat. Cela comprend des observations sur les conditions environnementales en dehors de la réserve routière, notamment la topographie, la couverture et l'utilisation des terres, l'identification des voies d'écoulement de surface, les phénomènes météorologiques extrêmes ou les incidences de catastrophes. Cette dernière activité peut être renforcée par l'utilisation d'outils de **cartographie participative de la communauté** comme techniques qui considèrent les habitants locaux

comme des dépositaires de connaissances expertes sur l'environnement - qui peuvent toutes être saisies dans un cadre géographique.

Les autorités et les communautés routières sous-régionales ou locales sont donc des acteurs clés dans une évaluation des risques climatiques et de la vulnérabilité des routes au niveau local. L'implication des communautés dans la collecte de données est cruciale. Il est également crucial qu'ils comprennent les facteurs qui rendent les routes de leur communauté vulnérables aux impacts climatiques.

#### Remarques générales

- Si une évaluation au niveau du district a été faite avant l'évaluation locale, alors des couches SIG peuvent être extraites sur les dangers actuels et futurs qui ont été identifiés pour ce district. Toutefois, dans une évaluation au niveau du district, certains dangers qui affectent directement des routes particulières dans un district sont susceptibles de ne pas être pris en compte dans les rapports et les bases de données des ministères spécifiques au pays (c'est-à-dire les sources principales). Par conséquent, les dangers qui affectent cet environnement routier particulier (érosion des talus, inondation de la surface de la route, perte d'intégrité de la structure de la route, perte d'intégrité du revêtement, glissements de terrain, etc.) doivent également être identifiés à l'aide des données des autorités routières de district et des services gouvernementaux locaux.
- Dans le cas où une évaluation au niveau du district n'a pas été effectuée avant l'évaluation locale, les données relatives à un district particulier peuvent être extraites des bases de données mondiales, départementales et nationales, en plus des sources de données spécifiques au district.
- L'impact du changement climatique sur les routes exige que les sections vulnérables de l'infrastructure routière soient identifiées et que des adaptations techniques soient apportées pour minimiser les dommages potentiels futurs liés au climat. La prise en compte des impacts climatiques sur la route nécessite un type d'évaluation sur le terrain différent de l'évaluation standard de l'état des routes, car il faut tenir compte de facteurs environnementaux et socio-économiques qui dépassent la réserve routière.
- Un exemple de formulaire d'évaluation sur le terrain qui permet la saisie de données environnementales est le formulaire d'évaluation visuelle sensible au climat, qui est expliqué en détail dans les **lignes directrices sur l'adaptation de l'ingénierie** et dans le **manuel d'évaluation visuelle**.

### B.2.3 Collecte de données et évaluation de la vulnérabilité

Une série de données devrait être obtenue pour contextualiser et donner un contexte à la zone locale où les ingénieurs routiers devraient effectuer des évaluations visuelles de la résilience au climat, y compris des données sur les menaces climatiques, des données environnementales, des données sur le réseau routier et des données socio-économiques (voir la phase 1 : Contextualisation de zone locale dans la section 4.3.2 Étapes d'analyse de vulnérabilité et de risques au niveau local et directives des **lignes directrices sur les risques et la vulnérabilité**). Cela se fait en identifiant, en recherchant et en cartographiant des données qui aideraient à contextualiser l'environnement autour des routes évaluées. Une évaluation locale axée sur le climat nécessite des données d'attribut sur le segment de route évalué et sur le milieu environnant (végétation, sol et bassins versants), y compris les dangers qui ont affecté et peuvent continuer à affecter cette route particulière. Il est également important de recueillir des données sur la disponibilité d'itinéraires alternatifs lorsque la route est inaccessible et d'obtenir des précisions sur l'utilisation de la route par la communauté. Les autorités routières locales et les départements gouvernementaux seraient les gardiens des données spatiales locales sur ces catégories. En outre, les données provenant de la route/du site du projet sont d'une importance vitale dans une analyse au niveau local. L'idéal serait de les extraire du RAMS. Dans le cas où les données d'évaluation sur le terrain ne sont pas stockées dans un RAMS en tant que données spatiales, il y aura une étape supplémentaire de numérisation des données dans l'espace.

Les données provenant de sources locales ne sont probablement pas dans un format SIG ; par conséquent, des mesures appropriées doivent être prises pour numériser les données dans un SIG, ou pour cartographier les données obtenues à partir d'exercices de cartographie participative de la communauté. Dans l'évaluation locale, la vulnérabilité à des menaces spécifiques est considérée séparément, ce qui est différent de

l'évaluation par district où les districts reçoivent une seule note globale de vulnérabilité, basée sur la combinaison de toutes les menaces.

La vulnérabilité des routes rurales aux menaces suivantes est évaluée :

- Inondation de la surface des routes
- Érosion des berges et des fondations
- Déformations
- Perte d'intégrité de la chaussée (fissuration et perte de granulats)
- Défaillance des structures de drainage

L'évaluateur qui utilise le formulaire d'évaluation visuelle de la résilience climatique note chaque élément sur cinq (0 n'étant pas applicable ; 1-2 étant acceptable et 4-5 étant des domaines de préoccupation) tant pour le degré que pour l'étendue.

Voir le **Manuel d'évaluation visuelle** où le processus d'évaluation visuelle de la résilience climatique est longuement expliqué.

### Remarques générales

À l'échelle locale, les impacts des changements climatiques ne peuvent pas être évalués isolément. Les conditions environnementales doivent être prises en compte à l'aide de variables environnementales. Les paramètres suivants peuvent être évalués pour déterminer les plus grandes menaces liées au climat :

- Distance à la côte pour les routes côtières en raison du risque posé par l'érosion côtière et par l'élévation du niveau de la mer et la hauteur des vagues dépassant certains seuils
- La combinaison de l'intensité et de la pente des précipitations pour le risque de ruissellement et de glissement de terrain dans les régions montagneuses
- Pour la conception des infrastructures de drainage, la combinaison des cartes des cours d'eau, de la topographie, de l'étendue des inondations précédentes, de l'emplacement des infrastructures routières et de la couverture terrestre (ce sont des considérations importantes pour l'évaluation des pics et des pluies modérées à fortes de longue durée)
- Les profils des événements passés de températures extrêmes et de sécheresses en combinaison avec les cartes des sols et de la couverture terrestre (ces cartes sont utiles pour évaluer l'érosion et la perte de la structure ou de l'intégrité de la surface des routes en tant que facteurs de vulnérabilité)
- Les changements dans le début ainsi que la durée et l'intensité des saisons des pluies comme menace pour l'entretien des routes et le calendrier de construction
- Déforestation et modification de la couverture des terres en général pour le risque de glissement de terrain
- La modification du couvert végétal comme facteur de modification des inondations

Les données recueillies à partir des évaluations visuelles donnent un aperçu des tronçons de route qui peuvent être vulnérables aux effets du climat en raison, par exemple, de leur conception et/ou de leur état par rapport à l'environnement dans lequel ils sont exploités (voir la phase 2 : évaluation visuelle de la résilience au climat à la section 4.3.2. Étapes d'analyse de vulnérabilité et de risques au niveau local et directives des **lignes directrices sur les risques et la vulnérabilité**). Le formulaire d'évaluation visuelle lui-même peut être utilisé par les ingénieurs pour prendre des décisions concernant les zones qui nécessitent une intervention urgente. Toutefois, une vue d'ensemble du réseau est nécessaire pour les décisions concernant les routes qui doivent être prioritaires pour l'adaptation au climat. Il est donc essentiel que les données saisies dans ces formulaires soient stockées dans un RAMS pour faciliter leur extraction lors des évaluations de la vulnérabilité des routes locales.

L'analyse des données fournit des informations sur les sections de route qui sont sujettes à différentes menaces, telles que l'engorgement et les inondations, l'érosion, les glissements de terrain et la perte de

matériaux de surface. Les informations sur la variabilité de la vulnérabilité à des menaces spécifiques le long de la route aident à décider où mettre en œuvre des options d'adaptation technique spécifiques et où il faut modifier les pratiques actuelles pour réduire le risque de dommages en cas d'événements climatiques défavorables.

En utilisant les données de terrain issues des évaluations visuelles de la résilience au climat, de la cartographie participative des communautés et des cartes de contextualisation des zones, un indice de vulnérabilité routière devrait être calculé. Il s'agit d'une valeur composite variant entre 0 et 5, et consistant en la somme des combinaisons pondérées du degré et de l'étendue des problèmes vulnérables (insuffisance de l'état des routes, entretien des routes et criticité des routes).

Un exemple de cadre de notation pour le calcul de l'indice de vulnérabilité des routes (RVI) est présenté à la section 4.3.2. Étapes et lignes directrices de l'analyse des risques et de la vulnérabilité au niveau local dans le cadre de la phase 3 : Analyse de la vulnérabilité des routes (**lignes directrices sur les risques et la vulnérabilité**).

#### Remarques sur l'analyse de la vulnérabilité des routes

- Le résultat de l'évaluation de la vulnérabilité climatique locale est un indice de vulnérabilité routière multidimensionnel (RVI), calculé d'abord par segment d'évaluation de 100 m et ensuite pour l'ensemble de la section de route, de nœud à nœud dans le RAMS.
- Le RVI intègre trois indicateurs composites, à savoir un indicateur d'*insuffisance de l'état des routes par rapport aux impacts du climat* (le score Di), un indicateur d'*efficacité de la maintenance* (le score Mn) et un indicateur de *criticité des routes* (le score Cr).
  - L'insuffisance de l'état des routes est un indicateur composite des déficiences de l'état des routes spécifiques au climat et est une agrégation de facteurs de vulnérabilité spécifiques qui représentent l'insuffisance physique/structurelle de l'infrastructure pour résister aux impacts climatiques négatifs.
  - Le facteur de maintenance des routes est un indicateur de l'efficacité de l'entretien en termes de fréquence (quantité) et de qualité des activités d'entretien.
  - La criticité de la route est liée à l'importance de cette route particulière pour l'accès aux marchés et aux équipements publics. À l'échelle locale, il est important de raconter l'utilisation d'une route particulière par la communauté afin de mettre en perspective les pertes subies par celle-ci lorsque l'accès est interrompu en raison d'événements climatiques.
- L'analyse de la vulnérabilité des routes devrait idéalement être effectuée dans une base de données orientée objet telle qu'un RAMS pour faciliter l'extraction et le calcul pour des sections importantes du réseau routier national, comme il est recommandé pour l'intégration de l'adaptation climatique dans le secteur des routes rurales.

Pour un futur scénario de vulnérabilité au niveau local/projet, prenant en compte les changements climatiques et démographiques, le RVI peut être modifié de manière multiplicative en fonction des modifications du scénario dans les scores de déficience, de maintenance et de criticité. L'approche par scénario est préférable, car elle permet de tenir compte de l'incertitude des projections démographiques et donc de dériver des scores de criticité correspondant aux différentes trajectoires de croissance. De même, dans le cas du changement climatique, il est possible d'utiliser les résultats d'un ensemble de modèles de simulation du climat et d'intégrer ainsi l'incertitude associée aux projections climatiques dans les indicateurs de carence et de maintenance. Il est recommandé de limiter à trois les scénarios de changement climatique et démographique, car cela se traduit déjà par neuf permutations pour le calcul du RVI. Il convient de noter que si les limites supérieure et inférieure des fourchettes d'incertitude pour la population et le climat étaient utilisées, cela donnerait une

matrice deux par deux sans scénario central. Que l'on utilise une matrice trois par trois ou deux par deux, les décideurs choisiront très probablement le résultat central ou moyen.

#### Remarques générales

- Les données sur les conditions climatiques futures prévues sont utilisées pour déterminer comment les risques identifiés au niveau local sont susceptibles de changer dans le cadre de scénarios de changement climatique.
- L'évaluation nécessite des informations sur le climat futur, qui devraient idéalement être le résultat de modèles de réduction d'échelle régionaux issus des modèles de changement climatique mondial (les mêmes données que celles utilisées dans l'évaluation au niveau des districts).
- Le choix de la période de projection à moyen terme (2021-2050) est basé sur des termes pratiques pour les perspectives démographiques et économiques et pour la durée de vie des routes, tandis qu'une période de projection à long terme (2071-2100) pourrait être utilisée pour la durée de vie des structures majeures telles que les ponts. (Voir le tableau 7 de la section 3.2.2 des **lignes directrices sur la gestion du changement** pour une indication de la durée de vie utile prévue des actifs routiers).

L'utilisation d'un SIG rend la gestion de toutes les données d'entrée et de sortie efficace, et permet également une communication plus facile avec les parties prenantes grâce aux cartes. Les données peuvent en outre être facilement partagées pour une évaluation et des applications ultérieures.

La façon recommandée d'intégrer le changement climatique en tant que risque dans un RAMS est d'intégrer les données saisies à partir de l'évaluation visuelle sensible au climat ainsi que des évaluations et des indicateurs de vulnérabilité au niveau local quantifiés dans le RAMS des autorités routières. Ainsi, le changement climatique peut être considéré comme un risque lors de l'utilisation des données du RAMS pour la planification.

### B.3 ÉTAPE 3 : Évaluation technique et économique des options

#### B.3.1 Stratégies et mesures d'adaptation potentielles

L'objectif d'une évaluation de la vulnérabilité climatique est de faire en sorte que les informations générées par l'exercice permettent de hiérarchiser les options d'adaptation techniques et non techniques. Ces stratégies et mesures sont censées être exceptionnelles et aller au-delà des solutions techniques habituelles, mais elles pourraient devenir la norme à l'avenir si les effets du climat devaient affecter plus fréquemment les infrastructures routières. Sur la base d'une compréhension des impacts et des vulnérabilités attendus et actuels du changement climatique, l'équipe du projet peut identifier des stratégies pour un large éventail d'options d'adaptation. Les stratégies d'adaptation visent à réduire l'**impact** de certains types d'effets climatiques en identifiant et en hiérarchisant les options d'adaptation telles que les suivantes :

Des exemples de stratégie d'adaptation sont fournis à la section 4.1: *Stratégies d'adaptation (Lignes directrices d'ingénierie)*.

- Protéger les actifs existants ou les déplacer loin des zones vulnérables pour préserver leur fonctionnalité
- Rénovation d'installations vulnérables
- Amélioration du captage et de l'évacuation des eaux pluviales
- Construction de nouvelles installations
- Adoption d'une approche de scénario de *financement inadéquat* et détournement des fonds/efforts vers des installations plus prioritaires

En choisissant une stratégie d'adaptation, il faut être conscient du fait que le changement climatique n'est pas une science exacte. La modélisation du changement climatique fournit des projections sur les futurs possibles, et non des données fiables pour l'ingénierie des infrastructures routières. Les cadres décisionnels devraient

donc tenir compte de cette incertitude, même s'il est fort probable que les infrastructures devront faire face à un éventail plus large de conditions climatiques qu'auparavant. Pour ces cadres et stratégies d'adaptation, les exemples suivants d'approches pourraient être envisagées (Hallegatte, 2009)<sup>12</sup> :

- *Stratégie « sans regret »* : stratégies qui produiront des avantages même en l'absence de changement climatique (exemples d'options d'adaptation : aménagement du territoire restrictif ; développement de systèmes d'alerte précoce, de réaction d'urgence et de plans d'évacuation, soutenus par des réseaux de surveillance météorologique bien entretenus ; protection des nouvelles infrastructures contre le climat ; infrastructures résistantes aux tempêtes/inondations)
- *Stratégies réversibles* : stratégies qui sont réversibles et flexibles par rapport à des choix irréversibles dans le but de maintenir aussi bas que possible le coût d'une erreur sur le changement climatique futur (exemples d'options d'adaptation : construction en étapes, protection côtière facile à rénover, « reconstruire en mieux » de manière responsable)
- *Stratégies de marge de sécurité* : stratégies qui réduisent la vulnérabilité à un coût nul ou faible (exemple : doublement des périodes de retour des tempêtes classiques pour toutes les nouvelles conceptions d'infrastructures de drainage ou la réhabilitation/réadaptation des infrastructures existantes)
- *Un mélange des stratégies ci-dessus*

Dans certains cas, la ou les meilleures options d'adaptation peuvent dépasser la portée d'un projet existant ou les attributions de l'autorité routière. Par exemple, le réaligement des routes loin des plaines inondables peut être l'option la plus appropriée dans certaines situations, mais il peut être difficile à traiter au stade du projet et presque impossible à traiter lorsque l'installation existe déjà ; l'immobilisation des actifs peut être un problème important. D'autres options peuvent inclure la protection de l'infrastructure routière au détriment de l'accessibilité en cas d'inondation (c'est-à-dire placer l'infrastructure au niveau du sol plutôt que sur des remblais - ces derniers présentant un risque plus important d'être endommagés en cas d'inondation). De même, le reboisement des bassins versants peut être l'option la plus appropriée dans certaines situations. Ils doivent être pris en compte dans le cadre d'un processus de planification en amont et peuvent être signalés pour des discussions de plus haut niveau.

L'objectif principal lors de la conception de mesures d'adaptation est de comprendre le problème géotechnique ou structurel et de développer ensuite des techniques pour résister aux menaces attendues. Dans la plupart des cas, il s'agirait uniquement d'une bonne ingénierie, utilisant des techniques bien comprises et souvent conventionnelles.

### **B.3.2 Consultations des parties prenantes**

Comme indiqué à l'étape B.1.2, la communication et la participation des parties prenantes doivent avoir lieu dès le début et doivent être continues tout au long du processus d'évaluation, de conception et de mise en œuvre. L'identification des options d'adaptation devra donc nécessairement faire intervenir un certain nombre de parties prenantes. La tenue de tables rondes permet d'obtenir des informations utiles pour le processus d'identification et d'évaluation de l'ensemble des options d'adaptation.

Les autorités et les communautés routières sous-régionales ou locales sont des acteurs clés dans une évaluation des risques climatiques et de la vulnérabilité des routes au niveau local. L'implication des communautés dans la collecte de données est cruciale. Il est également crucial que les habitants comprennent les facteurs qui rendent les routes de leur communauté vulnérables au climat. L'avantage d'une sensibilisation accrue de la communauté est notamment que les autorités routières sont averties à temps de l'apparition de dommages structurels sur les routes, que les impacts climatiques sont réduits grâce à la modification des pratiques d'utilisation des sols et à l'élimination fréquente des débris et de la végétation des ponceaux, des ponts, etc. Les représentants des gouvernements locaux des départements de l'environnement, de la gestion

<sup>12</sup> On pourrait également faire une distinction entre les adaptations progressives et les adaptations transformationnelles (voir : Kates et coll., 2012).

des urgences et des catastrophes, de l'agriculture et du développement social sont des acteurs importants en termes de fourniture et d'utilisation des informations pour garantir que les données supplémentaires recueillies à partir des évaluations locales soient intégrées dans les référentiels nationaux de données spatiales. Ils sont également bien placés pour mettre en œuvre les recommandations de gestion du changement concernant des facteurs qui ne sont pas intrinsèques à l'infrastructure routière, tels que la gestion de l'utilisation des terres (par exemple, la prévention de l'érosion par le reboisement/la revégétalisation, la préparation des communautés en cas de perte d'accès, etc.)

Il est recommandé de consulter pleinement les parties prenantes, en particulier lorsque des options de scénarios de *financement inadéquats* sont envisagées, afin d'examiner les conséquences et les stratégies d'atténuation.

### B.3.3 Stratégie « à faible coût »

Lorsque l'absence de politiques, de plans et de programmes d'adaptation et le manque de financement créent de graves contraintes à la bonne gestion de l'infrastructure routière, il convient d'élaborer une stratégie pour un scénario « à faible coût ». L'expression « *ne rien faire* » est souvent utilisée à tort pour signifier qu'il n'y a pas ou peu de budgets ou de fonds désignés pour faire face aux adaptations liées aux menaces de vulnérabilité, aux arriérés de dommages existants ou aux problèmes d'entretien des actifs routiers. Le terme est également utilisé à tort pour signifier que peu d'actions peuvent être entreprises. Dans un scénario de « *faible coût* » des stratégies de gestion proactive devraient encore être développées pour minimiser la perturbation de l'accès rural et du développement socio-économique.

Lorsque les politiques pertinentes sont absentes ou limitées, elles doivent être développées ou complétées pour couvrir l'adaptation au sens large et tenir compte du scénario « *faible coût* » en particulier.

La stratégie doit être orientée vers les zones ou régions où il existe des preuves d'effets négatifs et où l'évaluation de la vulnérabilité a identifié les plus grands risques pour les actifs, les entreprises et les communautés. La stratégie « *faible coût* » devrait mettre en œuvre les types de composants suivants pour permettre une gestion active maximale du réseau et aider les communautés et les économies locales :

- Un centre de communication communautaire pour la sensibilisation et la formation à la préparation, la planification, la logistique intercommunautaire et la mobilisation des actions de secours en cas d'urgence, entre autres
- Plans d'urgence convenus avec la police, les services d'urgence et l'armée (cette dernière en dernier recours)
- Critères d'aptitude au service et d'accessibilité préférés (c'est la base de référence à laquelle toutes les options peuvent être évaluées)
- Principaux points de contact nécessitant un accès normal et d'urgence
- Un centre d'alerte précoce
- Un centre/unité d'intervention d'urgence
- Collaboration au sein des structures des communautés vulnérables pour aider à maintenir l'accès d'urgence (par exemple, cordes ou autres ponts temporaires pour faciliter l'accès aux fournitures d'urgence)
- Élaboration de plans d'urgence prêts à être mis en œuvre dans les communautés isolées
- Itinéraires clés A à B avec des déviations actives : à déployer dans le cadre d'une campagne de communication ; déviations temporaires à développer et à gérer
- Itinéraires fermés pour des périodes courtes/longues et de manière permanente : plans d'urgence à élaborer.

Bon nombre des activités énumérées ci-dessus sont généralement décrites comme des mesures habilitantes ou à faible regret (cf Wilby et Keenan, 2012). Notez également que certains, comme le système d'alerte précoce, peuvent être coûteux à mettre en œuvre ; la plupart impliquent des coûts de main-d'œuvre. La

stratégie devrait être un équilibre entre la gestion active et réactive, impliquant toutes les parties prenantes et les communautés. Elle nécessite un plan de **plan de gestion, un plan de communication** et un **plan de mise en œuvre** avec les actions et responsabilités associées. Ces plans devraient constituer la base d'une **campagne de communication et d'action coopérative**. Les téléphones intelligents modernes permettent de diffuser des indications photographiques presque immédiates et détaillées sur les problèmes qui surviennent à la suite d'impacts climatiques, à partir de presque partout aux personnes impliquées dans la mise en œuvre d'une intervention de réponse rapide<sup>13</sup>.

#### Actions recommandées

Les actions nécessaires au maintien d'un réseau sûr et fonctionnel devraient comprendre les éléments suivants :

- Élaborer une stratégie et des programmes proactifs afin d'identifier les zones dans lesquelles les options peuvent être appliquées de manière stratégique.
- Élaborer des plans d'urgence basés, entre autres, sur l'anticipation des besoins des communautés lorsqu'elles sont isolées.
- Assurer la délimitation des itinéraires alternatifs.
- Traiter les implications et les conséquences de l'*inaction* et mettre en place des plans d'atténuation.

Des détails et des conseils complets sont présentés à la section 2.4 : *Moteurs de changement* (**Lignes directrices pour la gestion du changement**).

#### B.3.4 Analyse socio-économique des notions d'« agir » et de « ne rien faire »

L'objectif d'une analyse économique des options d'adaptation est de fournir aux décideurs des informations sur les coûts et les avantages attendus de chaque option techniquement réalisable identifiée, et de classer ces options

en fonction de l'avantage total net (mesuré en valeur actuelle à l'aide d'un taux d'actualisation représentatif<sup>14</sup>) que chacun d'entre eux procure. Les options devraient ensuite être comparées à un scénario équivalent de « *ne rien faire* » afin d'apprécier pleinement les implications. Une fois ces deux scénarios définis, l'avantage de l'option d'adaptation est évalué comme étant la différence entre les impacts quantifiés et monétarisés avec et sans les options en place.

Lors de la mise en œuvre d'une stratégie « *ne rien faire* », plusieurs sous-scénarios doivent être élaborés et testés afin de déterminer quelles actions réduisent le moins les coûts et les avantages.

Compte tenu de l'incertitude importante liée aux effets prévus du changement climatique, la réalisation d'une analyse coûts-avantages des options d'adaptation nécessite d'accorder une attention particulière au traitement du risque et de l'incertitude.

Entre autres, il convient de prendre en considération au moins les éléments suivants (BAD, 2011) :

- Certaines options d'adaptation peuvent également apporter des avantages (co-bénéfices) en plus des avantages liés à la résistance au climat (par exemple, le reboisement d'un flanc de colline pour protéger la route des glissements de terrain peut également donner lieu à des cultures fruitières). Ces avantages supplémentaires positifs doivent être pris en considération et peuvent affecter le classement des options d'adaptation sur la base d'un critère de valeur actuelle nette.

<sup>13</sup> Voir aussi Douvinet et coll. (2017)

<sup>14</sup> Le choix d'un taux d'actualisation économique est essentiel pour déterminer les arguments en faveur de l'adaptation (pour des orientations, voir : Stakhiv, 2011). En règle générale, il convient d'utiliser des taux d'actualisation faibles (disons 2 à 3 %) pour les infrastructures à longue durée de vie (par exemple, les ponts) et des taux d'actualisation plus élevés (disons 6 à 7 %) pour les actifs ayant une espérance de vie de 10 à 15 ans (par exemple, les revêtements routiers).

- Si toutes les options d'adaptation doivent viser à rendre les infrastructures de transport « résistantes au climat », certaines options d'adaptation peuvent le faire aux dépens d'autres secteurs de l'économie. Par exemple, une option de dérivation des eaux de crue peut maintenir l'infrastructure de transport fonctionnelle mais augmenter les inondations dans une autre zone. Ces coûts indirects, qu'ils soient intentionnels ou non, doivent être pris en compte.
- La vulnérabilité peut changer au cours de la durée de vie du projet. Les avantages de l'adaptation peuvent être considérablement différents s'ils reposent uniquement sur une hypothèse de population ou d'utilisation des terres existantes, et si l'on ignore que la population ou l'utilisation des terres futures peuvent changer. Ces changements de vulnérabilité doivent être explicitement pris en compte dans l'analyse coûts-avantages.

La prise en compte du risque et de l'incertitude est particulièrement aiguë dans le contexte du changement climatique. La BAD (2011) recommande les deux approches suivantes :

### **Approche 1 : Analyse de sensibilité**

Pour effectuer une analyse coûts-avantages d'une option d'adaptation, ce type d'analyse simple consiste à modifier la valeur d'une ou de plusieurs variables à la fois et à recalculer la valeur actuelle nette de l'option pour chaque modification. Cet exercice peut être répété autant de fois que nécessaire. Dans les tests de sensibilité, les valeurs de commutation sont souvent calculées où une valeur de commutation est la valeur d'une variable spécifique qui fait passer la valeur actuelle nette de positive à négative, ou inversement.

L'objectif de ces tests de sensibilité est d'augmenter le niveau de confiance lorsqu'il s'agit de recommander l'adoption ou le rejet d'une option d'adaptation.

L'un des principaux avantages des tests de sensibilité est qu'ils sont extrêmement faciles à réaliser, mais présentent un certain nombre de limitations importantes, notamment les suivantes :

- Les tests sont très subjectifs en ce sens qu'il n'y a souvent aucune raison spécifique justifiant la direction (plus ou moins grande) ou la mesure dans laquelle la valeur d'une variable spécifique peut être supposée changer.
- Les tests ne tiennent pas compte de la probabilité que la valeur d'une variable spécifique puisse différer de la valeur initialement estimée. Si l'analyse de sensibilité permet de calculer une fourchette de valeurs actuelles nettes dans laquelle la valeur actuelle nette réelle de l'option d'adaptation peut se situer, elle ne permet pas de calculer la valeur actuelle nette attendue de l'option d'adaptation.

### **Approche 2 : Analyse probabiliste (ou du risque)**

La réalisation d'une « analyse probabiliste des coûts et des bénéfices » implique d'attacher une distribution de probabilité à la valeur possible de tout élément spécifique de coût ou de bénéfice du projet, au lieu d'attacher une valeur déterministe unique. Ces distributions de probabilité peuvent être construites en utilisant des données historiques.

L'analyse probabiliste (ou de risque) permet de sélectionner plusieurs variables qui peuvent toutes être modifiées simultanément en fonction de la distribution de probabilité spécifique attachée à chaque variable. Ce processus, connu sous le nom d'analyse de simulation Monte-Carlo, consiste à générer de manière aléatoire une valeur spécifique pour chaque variable individuelle (élément de coût ou élément de bénéfice) en fonction de la distribution de probabilité spécifique attachée à chaque variable. Pour chaque tirage de valeurs spécifiques, la valeur actuelle nette de l'option d'adaptation est calculée. Ce processus est ensuite répété plusieurs milliers de fois par ordinateur.

Le résultat de l'analyse est une distribution de probabilité des valeurs actuelles nettes. Cette distribution de probabilité permet de calculer une valeur actuelle nette « attendue » de l'option, au lieu d'une valeur actuelle nette donnée ou d'une fourchette de valeurs actuelles nettes. La même distribution de probabilité permet également de calculer la probabilité que la valeur actuelle nette de l'option d'adaptation soit négative.

La réalisation d'une analyse probabiliste (ou de risque) peut être exigeante si elle est effectuée manuellement. Toutefois, les logiciels intégrés permettent de réaliser des analyses de simulation Monte-Carlo de manière relativement simple.

D'un point de vue économique, et en utilisant un taux d'actualisation élevé par exemple, le fait de ne pas rendre une infrastructure de transport résistante au climat peut sembler être la meilleure solution dans certaines circonstances. Le résultat de l'analyse des options, résumé sous la forme de la valeur actuelle nette (VAN) de ces options, devrait guider la nature des recommandations. La *règle de décision* qui guide la sélection des adaptations est similaire à la règle de décision pour tout projet d'investissement. S'il n'existe qu'une seule option d'adaptation techniquement réalisable, la *règle de décision* est la suivante :

- Si VAN attendue > 0 : recommander la mise en œuvre de l'option d'adaptation en fonction des résultats de l'analyse économique.
- Si Van attendue < 0 : Recommander le rejet de l'option d'adaptation (ne rien faire) en fonction des résultats de l'analyse économique.

S'il existe plus d'une option d'adaptation techniquement réalisable, la *règle de décision* consiste à choisir l'option dont la VAN attendue est la plus élevée. Si toutes les options d'adaptation produisent une valeur actualisée nette négative, la meilleure option est de ne rien faire.

### B.3.5 Hiérarchisation et sélection des mesures d'adaptation

L'évaluation de l'adaptation aboutit à une liste de priorités pour la mise en œuvre des options d'adaptation, qui sont choisies parmi plusieurs possibilités ou scénarios. Leur hiérarchisation peut être fondée sur une évaluation de leur faisabilité technique, de leurs avantages et de leurs coûts, de leur acceptabilité sociale, des possibilités de synergies qu'ils peuvent offrir avec les priorités nationales et de leurs avantages connexes. Bien que l'on accorde souvent plus de poids à l'utilisation et aux résultats d'une analyse coûts-avantages dans le processus de hiérarchisation des priorités, il est important de reconnaître que d'autres facteurs et critères peuvent également influencer la prise de décision.

L'expertise requise est multidisciplinaire et, en tant que telle, elle constitue l'un des aspects les plus difficiles de la planification de l'adaptation. Les tables rondes impliquant différentes parties prenantes peuvent fonctionner correctement et peuvent inclure, par exemple, des ingénieurs de projet, des spécialistes de l'environnement, des experts en protection sociale, des organisations non gouvernementales, des entités de mise en œuvre et des représentants nationaux du changement climatique.

Lorsque les budgets sont limités, les options devraient tourner autour de la maintenance et des mesures d'urgence. En l'absence de budget, les mesures doivent porter sur la participation communautaire et l'autoassistance.

Quelles que soient les mesures d'adaptation au climat mises en œuvre, elles vont presque inévitablement augmenter le coût de la construction de la majorité des nouvelles routes ou entraîner des coûts pour la mise en place de ces mesures dans les infrastructures existantes.

Une étude de la Banque mondiale (Hughes et coll., 2010) a montré que le coût de l'adaptation au changement climatique, compte tenu du niveau de base de la fourniture d'infrastructures<sup>15</sup>, ne représente pas plus de 1 à 2 % du coût total de la fourniture de ces infrastructures. Toutefois, la résilience au climat peut réduire les coûts sur une période plus longue en prévenant les dommages et les interruptions des infrastructures, ainsi qu'en améliorant les conditions sociales. En général, le coût de l'adaptation est faible par rapport à d'autres facteurs qui pourraient influencer les coûts futurs de l'infrastructure.

L'adaptation nécessite dans un premier temps la hiérarchisation des besoins. Le processus de hiérarchisation des priorités nécessite une contribution importante de la part des autorités routières et des communautés où

<sup>15</sup> Il convient de noter que l'hypothèse semble porter sur les coûts d'adaptation différentiels plutôt que sur les coûts de transformation. Voir également Kates et coll. (2012).

des besoins et des priorités différents peuvent prévaloir. Cela nécessiterait généralement des décisions de nature stratégique, comme indiqué à la section A.4.2.2.

En général, les considérations de sécurité (pertes de vies humaines) doivent primer sur les autres. Toutefois, à l'exception des glissements de terrain, les conséquences des défaillances de la route sur la sécurité sont généralement minimales. Il convient de garder à l'esprit que les routes utilisées pour la mobilité (c'est-à-dire les réseaux de routes primaires et secondaires) road network) attirent généralement une priorité plus élevée pour que les routes d'accès (c'est-à-dire les routes rurales tertiaires à faible volume) pour s'assurer qu'elles sont touchées au minimum par des effets climatiques « de choc », non seulement pour soutenir l'activité socio-économique, mais aussi pour faciliter la réponse et l'accès de proximité aux communautés isolées. Cette dernière dépendrait toutefois de la densité des réseaux routiers primaires et secondaires.

Pour plus d'informations, voir la section 4.2 : **Méthodologie (Lignes directrices d'ingénierie)**.

La compréhension des impacts et des vulnérabilités actuels et futurs du changement climatique permet d'identifier un large éventail d'options d'adaptation. Une fois que toutes les options d'adaptation ont été identifiées, des consultations doivent avoir lieu, suivies d'une analyse économique et d'une hiérarchisation des options.



Figure 9 Exemple de mesure d'adaptation pour protéger une tranchée/gué contre les dommages causés par les inondations

#### B.4 ÉTAPE 4 : Conception et mise en œuvre de projet

Les guides de conception nationaux actuels sont probablement suffisants pour les infrastructures critiques s'ils sont mis en œuvre correctement (c'est-à-dire en tenant compte des modifications des périodes de retour des tempêtes, par exemple) et s'ils prévoient des installations de *drainage adéquates pour les événements extrêmes*.<sup>16</sup> L'application des conceptions, cependant, nécessite une compréhension approfondie des effets et des impacts des questions climatiques sur les routes et les structures, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de ses limites. Un problème majeur qui affecte la résilience est le *manque d'entretien approprié et opportun*.

##### B.4.1 Élaboration d'un plan de mise en œuvre

Les types de mesures qui peuvent être prises pour réduire la vulnérabilité comprennent le fait d'éviter, de supporter et/ou de profiter de la variabilité et des impacts du climat (cf. Hallegatte, 2009). Éviter les zones dont on prévoit qu'elles présentent un risque plus élevé d'impacts climatiques potentiellement importants est un facteur important dans la prise de décisions de planification, mais il est souvent limité par d'autres contraintes (par exemple économiques, environnementales ou sociales). Si de tels emplacements ne peuvent être évités, des mesures doivent être prises pour s'assurer que l'infrastructure routière peut résister aux

<sup>16</sup> Il convient de noter que certaines autorités nationales intègrent des quotas de changement climatique dans les plans d'ingénierie détaillés. Voir par exemple l'Agence pour l'environnement (2016), la BAD (2018) et l'UDGS (2013).

changements prévus. Par exemple, la possibilité d'une augmentation des inondations pourrait être une raison d'augmenter la hauteur des ponts au-delà de ce que les données historiques pourraient suggérer.

Deuxièmement, le résultat de l'action adaptative soit diminue la vulnérabilité d'un système à des conditions modifiées, soit augmente sa résilience aux impacts négatifs. Par exemple, l'augmentation des températures pourrait entraîner une défaillance plus précoce que prévu des revêtements bitumineux sur le réseau routier. L'utilisation de matériaux différents ou d'approches différentes qui reconnaissent cette vulnérabilité devrait permettre aux chaussées de mieux résister aux températures plus élevées attendues.

En ce qui concerne la résilience, des améliorations opérationnelles pourraient être apportées pour renforcer les itinéraires de déviation autour des zones inondables. Un autre exemple de résilience est celui des plans d'intervention d'urgence bien conçus qui peuvent accroître la résilience en fournissant rapidement des informations et des alternatives de voyage lorsque les routes sont fermées et en facilitant la restauration rapide des structures endommagées. Cela pourrait souvent impliquer des changements institutionnels qui permettent des processus d'approvisionnement rapides et des réserves (stocks) de ressources et d'usines nécessaires. En augmentant la résilience du système, même si une installation particulière peut être perturbée, le réseau routier dans son ensemble devrait continuer à fonctionner.

Voici les principales options d'ingénierie :

- *Conditions du sous-sol* : La stabilité de tout type d'infrastructure dépend des matériaux sur lesquels elle est construite (sous-sol). Un facteur important concerne le degré de saturation du sol, les fluctuations de la teneur en humidité et le comportement attendu du sol dans des conditions de saturation.
- *Spécifications des matériaux* : Des matériaux de qualité appropriée doivent être utilisés pour les routes non revêtues et les routes revêtues, et il peut être nécessaire de remplacer ou d'améliorer les matériaux inadaptés pour préserver la durée de vie prévue de la route ou de la structure.
- *Section transversale et dimensions standard* : Les normes peuvent devoir être révisées, par exemple pour augmenter la pente transversale des trottoirs dans les zones où l'on peut s'attendre à devoir retirer plus d'eau de la route. De même, les normes (ou lignes directrices) relatives à l'élévation des routes ou à la hauteur libre des ponts peuvent devoir être revues à la hausse.
- *Drainage et érosion* : Il est nécessaire d'améliorer les conceptions standard des systèmes de drainage, des canaux ouverts, des tuyaux, des ponceaux et des options de revêtement (par exemple pour les sections de route en pente raide) pour tenir compte des changements dans le ruissellement ou le débit d'eau prévu à l'avenir, et des dommages potentiels consécutifs causés par l'érosion.
- *Ouvrage civil de protection* : Ils peuvent être utilisés pour faire face aux inondations, à l'élévation du niveau des mers et aux ondes de tempête. Les structures peuvent comprendre des tranchées, des digues, des murs de mer, des tabliers rocheux et des systèmes de brise-lames.
- *Maintenance* : Il est essentiel que tous les aspects de l'entretien liés aux routes, aux drains, aux structures et au contrôle de la végétation soient traités avec diligence et en temps voulu. La plupart des problèmes devraient être évités grâce à un bon entretien.

Les points ci-dessus sont traités plus en détail dans le chapitre 5 des **lignes directrices d'ingénierie**.

#### **Actions recommandées**

L'élaboration d'un plan de mise en œuvre nécessiterait les éléments suivants :

- Réduire la vulnérabilité en évitant, réduisant ou profitant des impacts (Hallegatte, 2009).
- Prendre des mesures pour que l'infrastructure routière puisse résister aux changements prévus.
- Renforcer les plans de déviation et d'intervention d'urgence.
- Suivre les options d'ingénierie primaire comme indiqué ci-dessus.

#### 8.4.1.1 Scénario de fonds insuffisants

Souvent, le budget ne prévoit pas suffisamment de fonds pour traiter toutes les zones, routes et structures touchées, ou les conséquences du changement climatique sont tout simplement trop graves pour justifier une adaptation physique complète. Dans ces circonstances, un programme planifié de dialogue avec les communautés touchées, des informations bien dispersées et des programmes d'urgence sont nécessaires pour minimiser les effets négatifs de ces décisions.

Cette option est traitée plus en détail dans la section A.5.2 : *Scénario « à faible coût »* et dans la Section B.3.3 : *stratégie « à faible coût »* (**Manuel d'adaptation au changement climatique**).

Dans ces circonstances, un programme continu de suivi et d'évaluation est nécessaire dans les zones où aucune intervention physique n'a lieu afin de pouvoir faire face à toutes les circonstances imprévues, y compris les interventions d'urgence.

#### 8.4.1.2 Résumé de la méthodologie d'adaptation

Des méthodologies appropriées et économiques pour l'évaluation des risques et de la vulnérabilité, la hiérarchisation des interventions d'adaptation et l'optimisation de la résilience des actifs dans le contexte des routes d'accès rurales à faible trafic devraient être élaborées et communiquées. En outre, il est nécessaire de prouver que les communautés rurales bénéficient de liens économiques et sociaux découlant d'un accès rural plus résistant pour soutenir l'adoption de politiques plus larges dans toute l'Afrique. L'évaluation se concentre sur les futurs scénarios routiers pour lesquels des projections climatiques sont disponibles.

Les objectifs sont atteints par les moyens suivants :

- Achèvement des évaluations de la vulnérabilité climatique et élaboration de stratégies d'adaptation
- Une méthodologie pour l'adaptation
- Fourniture d'options pour créer une résilience
- Fournir des orientations pour l'intégration de stratégies d'adaptation dans la politique, la planification et les normes routières
- Gestion prudente d'un scénario « *ne rien faire* »

Les activités suivantes doivent être menées/développées :

- Produire des cartes climatiques spécifiques à chaque pays contenant toutes les informations essentielles pour aider les ingénieurs routiers dans la conception et la mise en œuvre.
- Faire l'inventaire de tous les éléments routiers qui doivent être pris en compte dans la lutte contre les effets du changement climatique.
- Donner la priorité aux besoins et aux options en matière de stratégies d'adaptation, y compris les options techniques et non techniques.
- Identifier les dangers potentiels liés aux différents facteurs de stress climatique prévus pour toutes les installations concernées.
- Intégrer un drainage adéquat dans les bonnes pratiques de maintenance et en temps utile, car il est d'une importance capitale.

Parmi les stratégies d'adaptation types qui sont proposées, on peut citer les suivantes :

- Améliorer les routes en terre au moins pour qu'elles répondent aux normes des routes en terre ou en gravier.
- Améliorer la sélection des matériaux, les pratiques de construction, ainsi que les pratiques de compactage et d'entretien.
- Utiliser des techniques de compactage et des technologies de réduction de l'eau innovantes.
- Sur les routes pavées, utiliser des conceptions et des revêtements appropriés, y compris un bon drainage et un bon entretien.
- Appliquer les procédures correctes de correction pour les sous-grades problématiques.
- Améliorer la conception des ponceaux et des ponts et les entretenir correctement.

- Améliorer les procédures de maintenance et la formation, et envisager des programmes de maintenance communautaires.
- Rénover les routes en gravier pour les rendre conformes aux normes de revêtement, le cas échéant.
- Stabiliser les pentes en appliquant des techniques de végétation, de bio-ingénierie.
- Utiliser des liants bitumineux appropriés pour les routes revêtues (par exemple, des liants plus visqueux mais résistants au vieillissement pour les environnements à température de surface élevée).
- Améliorer la conception des mélanges de béton et le renforcement.
- Appliquer des mesures de précaution contre l'accumulation de sable due à l'augmentation du vent.
- Utiliser des plans de fondation trempés pour augmenter les ondes de tempête.
- Augmenter le niveau des routes jusqu'à un minimum de 0,5 à 0,65 m au-dessus du niveau normal des eaux souterraines lorsque cela est possible et approprié.
- Protéger les sous-niveaux les plus faibles avec des chaussées plus épaisses.
- Utiliser des systèmes de drainage souterrains, le cas échéant.

Idéalement, certaines des mesures susmentionnées devraient être intégrées dans des normes et des standards afin de garantir leur application systématique.

Les mesures d'adaptation possibles pour chaque variable climatique et chaque problème d'ingénierie sont présentées sous forme de tableau à la section 5.10 des **Lignes directrices d'ingénierie**.

#### B.4.2 Paramètres de conception et optimisation

Lors de la conception de nouveaux projets, il est essentiel d'identifier autant d'adaptations appropriées que possible pour améliorer la résilience des composantes du projet aux effets climatiques, et de les intégrer dans la conception de la manière la plus économique possible. L'importance de ces adaptations dépendrait de la nature des composantes du projet. Par exemple :

- Une route non asphaltée est censée être toujours sensible (à des degrés divers) aux caprices des influences climatiques et doit être conçue avec une vision à relativement court terme, car l'entretien périodique est fréquent et permet de surmonter la plupart des problèmes liés au climat.
- En revanche, les ponts, même associés à des routes relativement peu importantes, sont conçus pour assurer un service beaucoup plus long et doivent comporter autant d'adaptations que nécessaire pour garantir leur viabilité à long terme.

Il est difficile et coûteux de remettre en état des éléments de pont prématurément défectueux ou de reconstruire des ponts qui sont abimés. De même, le revêtement bitumineux des structures routières pavées est rajeuni ou recouvert régulièrement et peut être « réparé » au cours de ces interventions. Les structures de la chaussée et les couches de support doivent durer pour la durée de vie de conception de la chaussée et devrait donc intégrer autant de mesures d'adaptation que nécessaire, car les réparations ultérieures de la chaussée sont coûteuses.

Il est plus difficile de mettre en œuvre des mesures d'adaptation sur les routes existantes. Bien que les problèmes potentiels et les zones vulnérables soient souvent identifiés lors des mauvaises conditions météorologiques actuelles, il existe rarement des fonds disponibles pour la rectification de tous (ou souvent même de certains) ces problèmes et pour la mise en œuvre efficace des adaptations de résilience. Toutefois, il est important de mettre en œuvre autant d'ingénierie de résilience que possible dans les domaines les plus prioritaires et de mettre en œuvre les mesures restantes (c'est-à-dire « reconstruire en mieux ») lors de toute modernisation, reconstruction ou réhabilitation.

##### 8.4.2.1 Conception pour améliorer la résilience

Si les solutions techniques pour rendre une route résistante au climat sont similaires à celles que l'on trouve dans les manuels de conception nationaux existants, la connaissance de l'hydrologie appropriée (périodes de

retour des tempêtes, eaux souterraines et flux d'eau) est généralement faible. Il existe de nombreuses adaptations ou décisions de conception spécifiques qui peuvent accroître la résilience des routes au changement climatique. Il convient également d'incorporer des allocations pour le changement climatique ou des marges de sécurité dans les normes de conception technique détaillée.

Une description complète de ceux-ci, ainsi que des considérations relatives à la conception, est présentée à la section 5.3 : *Routes* et à la section 5.4 : *Sols de fondation (Lignes directrices d'ingénierie)*.

Les adaptations requises pour les différents attributs de la route expliqués dans les **lignes directrices d'ingénierie**, ainsi que les *considérations de conception* respectives, sont classées comme suit :

- Routes
  - Routes non goudronnées
    - Des routes de terre non-aménagées
    - Des routes de terre aménagées
    - Routes de gravier
  - Routes pavées
    - Revêtement bitumineux mince
    - Revêtement d'asphalte
    - Revêtement en béton
    - Autres revêtements non-bitumineux
  - Terrassements
    - Déblais
    - Remblais
    - Érosion
- Sols de fondation
  - Argiles expansives
  - Matériaux dispersifs/érodables/étouffants
  - Sols salins
  - Argiles molles
  - Zones humides/nappes phréatiques élevées
  - Sols déformables

#### 8.4.2.2 Drainage

L'eau qui tombe directement sur la chaussée, les accotements et les talus et qui finit par s'écouler dans les drains latéraux, nécessite un contrôle particulièrement efficace. L'objectif premier est de s'assurer que cette eau ne s'infilte pas dans la structure de la chaussée ou dans la couche de fondation - qu'il s'agisse d'une route non pavée ou pavée. Les autres exigences sont les suivantes :

- L'eau ne s'accumule pas sur la surface des routes non pavées (ce qui entraîne un ramollissement et une déformation).
- L'eau s'écoule des routes pavées afin de minimiser le risque de dérapage ou d'aquaplanage. Le mouvement de l'eau de la surface n'entraîne pas l'érosion de la surface de la route (pavée ou non) ou des accotements.
- L'eau s'écoule en fait dans les drains latéraux où elle peut être efficacement évacuée de l'environnement routier dans des saignées transversales ou des ponceaux.

Il convient d'envisager la possibilité d'une allocation pour le changement climatique dans certaines des options de conception, afin de faire face à des intensités de précipitations plus élevées et/ou à un risque d'inondation accru.

La manière de traiter l'eau provenant de l'intérieur et de l'extérieur de la réserve routière est abordée dans les sections 5.5 et 5.6 : *Drainage (Lignes directrices d'ingénierie)*. Des considérations relatives à la conception des ponts et des ponceaux sont fournies.

### B.4.3 Construction, entretien et supervision

Pendant les longues périodes de *sécheresse* prévues dans certaines régions (où il fait également *plus chaud*), la disponibilité de l'eau de construction peut être limitée pendant de longues périodes et des distances de transport plus longues peuvent être nécessaires. Le coût de l'eau devrait alors également augmenter, car la construction est en concurrence avec d'autres utilisations, et la qualité de l'eau disponible pour la construction devrait se détériorer. En outre, l'eau appliquée sur les couches pendant ces périodes de compactage devrait s'évaporer beaucoup plus rapidement et de plus grandes quantités d'eau seraient nécessaires.

Pendant les *périodes humides* prolongées, l'accès au *site* peut devenir difficile, voire impossible, et le respect des spécifications peut être impossible. De nombreux pays cessent à la fois la construction et l'entretien pendant la saison des pluies.

Le principal problème de construction affectant la résistance des routes aux conditions climatiques extrêmes est l'absence de compactage. Un mauvais compactage dans les matériaux de la formation/du remblai, les matériaux des accotements ou même les couches structurelles se manifeste généralement par des ornières, des ondulations ou une déformation verticale excessive dans les zones touchées. Ces conditions doivent être identifiées, car la perméabilité des matériaux dans ces zones devrait être sensiblement plus élevée que celle des matériaux bien compactés et le risque de défaillances prématurées dues à l'infiltration d'eau est accru.

Il est peu probable que les techniques de maintenance changent de manière significative pour les besoins de l'adaptation : cependant, la fréquence et les types de maintenance pourraient devoir être augmentés pour faire face aux changements climatiques, en particulier aux phénomènes météorologiques extrêmes. La maintenance est un élément essentiel de la préservation de toute route et doit être effectuée de manière judicieuse. Avec l'évolution des conditions climatiques, la nécessité d'une maintenance plus importante et de bonne qualité va devenir de plus en plus critique. Au cours des évaluations, il convient de noter les problèmes suivants : le maintien de la forme des accotements, la coupe et le défrichage de la végétation, l'élimination des nids de termites et des buissons sur les berges (qui sont susceptibles d'induire un écoulement turbulent de l'eau sur la berge), le nettoyage et le façonnage des drains latéraux et des saignées transversales, et la garantie que les ponceaux et les drains ne sont pas bloqués.

Des orientations supplémentaires sont fournies dans la section 5.8 : *Maintenance (Lignes directrices d'ingénierie)*.

On ne saurait trop insister sur l'importance de réduire au minimum le risque de feux de friches provoqués par le vent qui brûlent la végétation et la couverture du sol, permettant ainsi d'exposer le sol à des tempêtes intenses (dont on s'attend à ce qu'elles soient plus nombreuses) et à l'érosion qui en résulte. Cela est particulièrement important sur les talus et les pentes coupées, autour des structures de drainage et dans les zones où les sols sont intrinsèquement sensibles à l'érosion. On peut également s'attendre à une augmentation des dommages causés aux structures en bois et au mobilier routier si la croissance de la végétation n'est pas contrôlée.

Il est en outre essentiel de réparer régulièrement les nids de poule avec un asphalte à froid bien compacté, imperméable et de qualité, et de colmater régulièrement toutes les fissures de la chaussée.

## B.5 ÉTAPE 5 : Suivi et évaluation

### B.5.1 Élaboration d'un plan de suivi et d'évaluation

C'est l'un des aspects les plus importants de l'adaptation au climat. Il est essentiel que l'efficacité et la performance de toute mesure d'adaptation soient pleinement contrôlées et évaluées. Ce n'est que de cette manière que les lacunes, les problèmes et les inefficacités peuvent être identifiés et que des modifications

futures ou des solutions alternatives peuvent être mises en œuvre avec le recul. Cela est plus facile à réaliser pour les routes et les structures dont la durée de vie est courte, mais plus problématique pour les structures plus importantes dont la durée de vie est de 50 ou 100 ans.

Il y a peu d'expérience dans le monde sur le niveau réel d'efficacité des différentes options pour réduire la vulnérabilité au changement climatique, et cela rend le suivi et l'évaluation d'autant plus importants pour développer et améliorer les connaissances. Pour ce faire, il faut relever un certain nombre de défis, notamment la nature à long terme du changement climatique réel, la nécessité d'acquérir des données de base et des paramètres appropriés pour mesurer la vulnérabilité et isoler la vulnérabilité au changement climatique des autres sources de pression.

L'élaboration d'indicateurs au niveau des résultats et des produits pour évaluer les impacts des investissements d'adaptation sont en cours<sup>17</sup>. La BAD (2011) identifie trois niveaux de suivi des résultats, à savoir les impacts, les résultats et les produits.

Diverses questions peuvent être suivies pour déterminer l'efficacité des adaptations :

- Réduction des délais : Nombre de jours pendant lesquels les routes du réseau sont impraticables ou les temps de trajet sont augmentés
- Implications en termes de coûts : Évolution des coûts de maintenance et de réparation du réseau routier après les effets climatiques
- Implications sociales : Amélioration de l'accessibilité, de la mobilité et du développement économique, mesurée, observée ou perçue par les communautés locales

Le tableau 3 donne quelques exemples d'indicateurs à chaque niveau. Compte tenu des défis liés à la mesure de l'impact (qui peut se produire au-delà de la durée de vie du projet), les indicateurs de niveau de sortie sont peut-être les plus robustes.

**Tableau 3 Indicateurs types de suivi des résultats (adapté de la BAD, 2011)**

Type d'indicateur	Indicateur
<b>Impacts (effet à long terme)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Robustesse accrue de la conception des infrastructures et développement des investissements à long terme</li> <li>▪ Renforcement de la résilience des systèmes naturels et gérés vulnérables, tels que la gestion des inondations</li> </ul>
<b>Résultats (indicateurs de processus)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pourcentage de réduction des fermetures de routes dues à des défaillances structurelles, des glissements de terrain ou des inondations</li> <li>▪ Pourcentage de réduction des inondations où la capacité de drainage a été augmentée</li> <li>▪ Nombre de plans sectoriels et de districts qui incluent explicitement des considérations climatiques</li> <li>▪ Amélioration de l'accès aux zones rurales</li> </ul>
<b>Résultats</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La planification et les documents du secteur des transports comprennent des stratégies d'adaptation</li> <li>▪ Les documents de conception et de spécification comportent des mesures de résilience intégrées</li> <li>▪ Les programmes de maintenance couvrent régulièrement des mesures préventives</li> <li>▪ La longueur de route construite pour résister aux impacts du changement climatique</li> <li>▪ Zone de mesures de protection environnementale</li> </ul>

<sup>17</sup> Il est à noter qu'il existe de nombreuses façons différentes d'évaluer l'efficacité des adaptations, Voir : Adger et al (2005) ; Moser and Boykoff (2013). Il y a aussi la question de l'adaptation des institutions, Voir : Wilby and Vaughan (2011)

### B.5.2 Rapport et partage des expériences de mise en œuvre

Une stratégie d'adaptation adéquate sera probablement composée d'un certain nombre d'activités, notamment des mesures d'*ingénierie* (par exemple, l'incorporation de modifications de la conception) et des *mesures non techniques* (par exemple, des mesures de résilience des écosystèmes et des systèmes d'alerte précoce pour les catastrophes). Les enseignements tirés des mesures d'adaptation prises au niveau des projets devraient informer les décideurs politiques sur les approches appropriées au niveau sectoriel et/ou national.

Il existe plusieurs façons recommandées de rendre compte et de partager les expériences, notamment les suivantes :

- Documents d'information, pour diffusion et distribution
- Rapports sur les programmes/projets
- Rapports de suivi et d'évaluation ; fiches d'information
- Rapports de retour d'information aux parties prenantes, tant au niveau politique qu'au niveau des donateurs
- Publication d'études de cas et de démonstrations
- Conférences et forums de discussion
- Séminaires, ateliers et formations
- Programmes de renforcement des capacités, y compris les programmes de formation des formateurs.

## 4 Conclusion

Le Manuel d'adaptation au climat est un document général qui fournit des informations sur les procédures d'adaptation au climat pour l'accès aux routes rurales. Il propose des instructions et des conseils sur les méthodes permettant de faire face aux risques climatiques et à la vulnérabilité des actifs afin de gérer la résilience au climat de manière responsable et systématique.

Il fournit des informations pertinentes sur les procédures d'adaptation pour les accès routiers ruraux nouveaux et existants. Il couvre un large éventail de circonstances climatiques, géomorphologiques et hydrologiques, en se basant sur l'application au Mozambique, au Ghana et en Éthiopie, mais est également applicable à tout pays d'Afrique subsaharienne. De même, bien qu'ils aient été élaborés pour les routes à faible trafic, la plupart des principes s'appliquent également aux routes à fort trafic, même si les priorités et les paramètres de conception à prendre en compte pour ces routes sont différents.

Le manuel a été conçu pour fournir des conseils et des orientations succincts mais informatifs aux lecteurs. Cela a été fait intentionnellement. Si le manuel est le document de base qui décrit les principes, les processus et les étapes de base nécessaires pour relever les défis de la variabilité et du changement climatique, il est soutenu par trois lignes directrices et un manuel visant à donner aux praticiens et aux parties prenantes les informations, les processus et les conseils nécessaires dont ils auront besoin. Ces quatre documents sont :

- 1) *Lignes directrices pour la gestion du changement :*  
Ces lignes directrices couvrent, entre autres, la politique et la planification, la gestion des parties prenantes et des actifs, et des recommandations pour la formulation de stratégies et de programmes d'amélioration.
- 2) *Lignes directrices pour l'évaluation des risques et de la vulnérabilité climatiques :*  
Ces lignes directrices guident les utilisateurs à travers les étapes de la réalisation d'une évaluation des risques et de la vulnérabilité au niveau national/district, ainsi que d'une étude des risques et de la vulnérabilité au niveau local/du projet lors de la mise en œuvre de nouvelles infrastructures ou de la maintenance/rénovation d'infrastructures existantes.
- 3) *Lignes directrices d'adaptation de l'ingénierie :*  
Ces lignes directrices présentent les principales caractéristiques climatiques et leurs effets potentiels, puis proposent des mesures d'adaptation recommandées pour chaque élément d'infrastructure, en soulignant également l'importance cruciale d'un système de drainage efficace et d'un entretien approprié et en temps voulu des actifs routiers.
- 4) *Manuel d'évaluation visuelle :*  
Le manuel soutient les lignes directrices (2) et (3) ci-dessus. Il décrit la nature et la collecte de données qui ne font normalement pas partie de la collecte de données sur l'état des actifs à des fins de gestion des actifs. Cela comprend des problèmes tels que l'érosion, les sols problématiques, le drainage de la route et de son environnement proche ainsi que de l'extérieur de la réserve routière, l'instabilité des remblais et des déblais, les problèmes de construction ainsi que les problèmes d'entretien.

## Références

- Adger, W.N., Arnell, N.W. and Tompkins, E.L. (2005). Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change*, 15, 77-86.
- African Development Bank. (2011). *The Cost of Adaptation to Climate Change in Africa*. Abidjan, October 2011.
- African Development Bank (2018). *Climate change challenges facing Africa*. [EN LIGNE] Disponible à l'adresse suivante : <https://www.cop24afdb.org/en/page/implications-africa>. [consulté le 25 novembre 2018].
- ASCE. (1996). *Hydrology Handbook*. American Society of Civil Engineering (ASCE). doi:10.1061/9780784401385.
- Asian Development Bank. (2011). *Guidelines for Climate Proofing Investment in the Transport Sector: Road Transport Projects*. Manila, Philippines.
- Asian Development Bank. (2018). *ADB Strategy 2030: Achieving a Prosperous, Inclusive, Resilient, and Sustainable Asia and the Pacific*. Manila, Philippines.
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) (2016) and the United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). (2015). *The Human Cost of Weather-related Disasters 1995-2015*.
- Chinowsky, P., Schweikert, A., Strzepek, N., Manahan, K., Strzepek, K. (2011). *Adaptation advantage to climate change impacts on road infrastructure in Africa through 2100*, WIDER Working Paper, No. 2011/25, ISBN 978-92-9230-388-4, The United Nations University World Institute for Development Economics Research (UNU-WIDER), Helsinki.
- Chinowsky, P. & Arndt, C. (2012). Climate change and roads: A dynamic stressor-response model. *Review of Development Economics* 16(3) 448–462.
- Clay, N. and King, B. (2019). Smallholders' uneven capacities to adapt to climate change amid Africa's 'green revolution': Case study of Rwanda's crop intensification program. *World Development*, 116, 1-14.
- Douvinet, J., Kouadio, J., Bonnet, E. and Gensel, J. (2017). Crowdsourcing and crisis-mapping in the event of floods: Tools and challenges. *Floods*, 2, 209-223.
- Eisenack, K., Moser, S.C., Hoffmann, E., Klein, R.J., Oberlack, C., Pechan, A., Rotter, M. and Termeer, C.J. (2014). Explaining and overcoming barriers to climate change adaptation. *Nature Climate Change*, 4, 867-872.
- Environment Agency (2016). *Adapting to Climate Change: Advice for Flood and Coastal Erosion Risk Management Authorities*. Environment Agency, Bristol.
- Falemo, S., Blied, L. and Danielsson, P. (2015). *ROADAPT: Roads for today, adapted for tomorrow. Guideline – Part C: GIS-aided vulnerability assessment of roads – Existing methods and new suggestions*. Final version: 05.2015. Conference of European Directors of Roads (CEDR).
- Gill, J.C. and Malamud, B.D. (2017). Anthropogenic processes, natural hazards, and interactions in a multi-hazard framework. *Earth-Science Reviews*, 166, 246-269.
- Halsnæs, K. and Trærup, S. (2009). Development and climate change: a mainstreaming approach for assessing economic, social, and environmental impacts of adaptation measures. *Environmental Management*, 43, 765-778.
- Hallegatte, S. (2009). Strategies to adapt to an uncertain climate. *Global Environmental Change*, 19, 240-247.

- Hallegatte, S., Bangalore, M., Bonzanigo, L., Fay, M., Kane, T., Narloch, U., Rozenberg, J., Treguer, D. and Vogt-Schilb, A. (2016). *Shock Waves : Managing the Impacts of Climate Change on Poverty*. Climate Change and Development. Washington, DC: World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/22787> License: CC BY 3.0 IGO.
- Head, M. and Verhaeghe, B. (2019). *Climate Adaptation: Risk Management and Resilience Optimisation for Vulnerable Road Access in Africa: Change Management Guidelines*, GEN2014C. London: ReCAP for DFID.
- Hearn, G. (2015). Managing road transport in a world of changing climate and land use. *Proceedings of the ICE - Municipal Engineer*. 169. 1-14. 10.1680/muen.15.00009.
- Hughes, G., Chinowsky, P. and Strzepek, K. (2010). *The Cost of Adapting to Climate Change for Infrastructure*. Discussion Paper No.2. Washington, D.C.: World Bank Group.
- IPCC (2018). Annex I: Glossary [Matthews, J.B.R. (ed.)]. In: *Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press
- Kates, R.W., Travis, W.R. and Wilbanks, T.J. (2012). Transformational adaptation when incremental adaptations to climate change are insufficient. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 7156-7161.
- Laurance, W.F., Sloan, S., Weng, L. and Sayer, J.A. (2015). Estimating the environmental costs of Africa's massive "development corridors. *Current Biology*, 25, 3202-3208.
- Le Roux, A., Engelbrecht, F., Paige-Green, P., Verhaeghe, B., Khuluse-Makhanya, S., McKelly, D., Dedekind, Z., Muthige, M., van der Merwe, J. and Maditse, K. (2016). *Climate Adaptation: Risk Management and Resilience Optimisation for Vulnerable Road Access in Africa: Climate Threats Report*, GEN2014C. London: ReCAP for DFID.
- Le Roux, A., Makhanya, S., Arnold, K. and Roux, M. (2019). *Climate Adaptation: Risk Management and Resilience Optimisation for Vulnerable Road Access in Africa: Climate Risk and Vulnerability Assessment Guidelines*, GEN2014C. London: ReCAP for DFID.
- Mattsson, L.G. and Jenelius, E. (2015). Vulnerability and resilience of transport systems—A discussion of recent research. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 81, 16-34.
- Moser, S.C. and Boykoff, M.T. (eds.) (2013). *Successful adaptation to climate change: Linking science and policy in a rapidly changing world*. Routledge.
- OECD. (2009). *Integrating Climate Change Adaptation into Development Co-operation*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Paige-Green, P., Verhaeghe, B. and Head, M. (2019). *Climate Adaptation: Risk Management and Resilience Optimisation for Vulnerable Road Access in Africa: Engineering Adaptation Guidelines*, GEN2014C. London: ReCAP for DFID.
- Peres, D.J. and Cancelliere, A. (2016). Estimating return period of landslide triggering by Monte Carlo simulation. *Journal of Hydrology* 541 256–271.
- Právělie, R., Bandoc, G., Patriche, C. and Sternberg, T. (2019). Recent changes in global drylands: Evidences from two major aridity databases. *Catena*, 178, 209-231.
- Roberts, P., Shyam, K.C. and Rastogi, C. (2004). *Rural Access Index: A key development indicator*. Transport Papers, World Bank, Washington D.C.

- Southern Africa Transport and Communications Commission (SATCC). (2003). Guideline, Low-Volume Sealed Roads. Gaborone: South African Development Community (SADC).
- Schweikert, A., Chinowsky, P., Kwiatkowski, K., Johnson, A., Shilling, E., Strzepek, K. and Strzepek, N. (2014). Road infrastructure and climate change: Impacts and adaptations for South Africa. *Journal of Infrastructure Systems* 21, no. 3: 04014046.
- Stakhiv, E.Z. (2011). Pragmatic Approaches for water management under climate change uncertainty 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 47, 1183-1196.
- Thambiran, T. and Diab, R.D. 2011. Air pollution and climate change co-benefit opportunities in the road transportation sector in Durban, South Africa. *Atmospheric Environment*, 45, 2683-2689.
- United States Army Corps of Engineers (2013). Incorporating Sea Level Change in Civil Works ER 1110-28162: Sea Level Change Calculator
- Verhaeghe, B., Rust, F.C., Head, M., le Roux, A. and Paige-Green, P. (2017). Climate Adaptation: Risk Management and Resilience Optimisation for Vulnerable Road Access in Africa: Final Report for Phase 1, GEN2014C. London: ReCAP for DFID.
- Wilby, R.L. and Dessai, S. (2010). Robust adaptation to climate change. *Weather*, 65, 180-185.
- Wilby, R.L. and Keenan, R. (2012). Adapting to flood risk under climate change. *Progress in Physical Geography*, 36, 349-379.
- Wilby, R.L. and Vaughan, K. (2011). Hallmarks of organisations that are adapting to climate change. *Water and Environment Journal*, 25, 271-281.
- Willows, R. and Connell, R. (eds). (2003). Climate adaptation: Risk, uncertainty and decision-making. UK Climate Impacts Programme Technical Report. UKCIP, Oxford.
- World Bank. (2010). Ethiopia - Economics of adaptation to climate change: Main report (English). Washington, DC: World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/310391468340238724/Main-report>
- “World Bank. (2018). Accelerating Climate-Resilient and Low-Carbon Development: Africa Climate Business Plan – Third Implementation Progress Report and Forward Look. World Bank, Washington, DC