



Madagascar – Adaptation aux changements climatiques dans la planification urbaine

GUIDE METHODOLOGIQUE

« Cette publication a été produite avec le soutien financier de l'Union Européenne, de l'AFD et de la coopération Suisse. Les opinions exprimées dans le présent document ne peuvent en aucun cas être interprétées comme reflétant l'opinion officielle de l'Union européenne l'AFD et la coopération Suisse. »



Préparé pour :
Agence française de développement (AFD)

Préparé par:
ARTELIA Eau & Environnement (SIRET N°. 503 646 572 00019)
6 rue de Lorraine 38100 Echirolles - France

Madagascar – Adaptation aux changements climatiques dans la planification urbaine

VERSION	DESCRIPTION	ÉTABLI(E) PAR	CONTROLÉ(E) PAR	APPROUVÉ(E) PAR	DATE
1.0	<i>Version préliminaire</i> – Guide méthodologique	Clotilde GOULEY	Guillaume PRUDENT-RICHARD	Anne-Laure SOLNON	19/06/2019
2.0	<i>Version préliminaire</i> – Guide méthodologique	Clotilde GOULEY	Anne-Laure SOLNON	Anne-Laure SOLNON	15/07/2019
2.0	<i>Version finale</i> – Guide méthodologique	Clotilde GOULEY	Anne-Laure SOLNON	Anne-Laure SOLNON	26/07/2019
3.0	<i>Version finale</i> – Guide méthodologique	Clotilde GOULEY	Anne-Laure SOLNON	Anne-Laure SOLNON	02/08/2019
4.0	<i>Version finale</i> – Guide méthodologique	Anne-Laure SOLNON	Anne-Laure SOLNON	Anne-Laure SOLNON	02/09/2019

SOMMAIRE

Table des figures.....	5
Sigles et acronymes	6
Glossaire 7	
INTRODUCTION	11
A. VUE D’ENSEMBLE DE LA DEMARCHE	12
1. Les grandes étapes	13
2. La participation des parties prenantes	15
Questions à se poser.....	19
Pour aller plus loin.....	20
B. ETABLIR LE DIAGNOSTIC	21
1. Répertorier les dangers spécifiques à chaque ville	24
1.1. Identifier les dangers présents et futurs.....	24
1.2. Caractériser les dangers	27
1.3. Cartographier les dangers	28
Questions à se poser.....	29
Pour aller plus loin.....	30
2. Collecter et interpréter les informations climatiques	31
2.1. Sélectionner les paramètres climatiques pertinents à l’échelle locale	31
2.2. Comprendre les scénarios et sélectionner les projections climatiques	34
2.3. « Descendre d’échelle » pour comprendre les enjeux spécifiques aux villes	39
Questions à se poser.....	42
Pour aller plus loin.....	43
3. Déterminer la vulnérabilité.....	45
3.1. Observer l’exposition	45
3.2. Caractériser la vulnérabilité	50
3.3. Evaluer les risques.....	61
Questions à se poser.....	63
Pour aller plus loin.....	64
C. AJUSTER LES SCENARIOS URBAINS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	65
1. Principes clés.....	67

2.	Options stratégiques possibles.....	69
	Questions à se poser.....	71
	Pour aller plus loin.....	72

D. FIXER LA STRATEGIE ET SELECTIONNER LES MESURES D'ADAPTATION..... 73

1.	Typologie des mesures d'adaptation relevant de la planification urbaine.....	75
2.	Financement des mesures d'adaptation	81
	Questions à se poser.....	82
	Pour aller plus loin.....	83

RÉFÉRENCES 86

ANNEXES 90

Planification urbaine et changement climatique	91
Exemples d'Indices de changement climatique	94
Fiches thématiques	96

Table des figures

Figure 1- Atténuation et adaptation	7
Figure 2- Changements climatiques et risques urbains	13
Figure 3- Schéma logique du processus de planification	14
Figure 4- Contributions potentielles des parties prenantes	15
Figure 5- Modalités d'implication des parties prenantes	17
Figure 6- Bonnes pratiques pour réaliser une carte participative	18
Figure 7- Les étapes du diagnostic	23
Figure 8- Impacts sectoriels des changements climatiques sur les villes malagasy	25
Figure 9- Impacts possibles des changements climatiques sur les villes malagasy	26
Figure 10- Incidence du changement climatique sur les cyclones tropicaux.....	27
Figure 11- Echelles des cartes de danger selon leur utilisation	28
Figure 12- Exemple de carte de danger participative	29
Figure 13- Principaux facteurs de changements climatiques à Madagascar	32
Figure 14- Synthèse schématique des données climatiques à collecter.....	33
Figure 15- Clés de compréhension des scénarios RCP du GIEC	34
Figure 16- Modèle régional d'évolution des températures et précipitations en Afrique.....	35
Figure 17- Types de données climatiques disponibles	36
Figure 18- Evolution et projections climatique pour la ville d'Antsiranana.....	39
Figure 19- Les projections climatiques de haute résolution sont-elles indispensables pour la planification urbaine ?	40
Figure 20- « Descendre d'échelle » pour comprendre les effets locaux des changements climatiques	41
Figure 21- Images satellite de Tolagnaro (GoogleEarth)	46
Figure 22- Exemple de cartographie de l'exposition au risque inondation	47
Figure 23- Bonnes pratiques : la collecte de données participative à Kathmandu (Népal)	48
Figure 24- Types et sources de données possibles pour analyser l'exposition.....	49
Figure 25- Illustration de la différence entre exposition et vulnérabilité.....	50
Figure 26- Facteurs de vulnérabilité physique, humaine et organisationnelle.....	51
Figure 27- Exemple de cadre d'analyse sectoriel de la vulnérabilité urbaine	55
Figure 28- Facteurs de vulnérabilité spécifiques aux quartiers informels	57
Figure 29- Exemple de carte de vulnérabilité	58
Figure 30- Types et sources de données possibles pour caractériser la vulnérabilité.....	59
Figure 31- Approche sectorielle de l'évaluation des risques urbains	61
Figure 32- Pertes annuelles moyennes pour les cyclones	62
Figure 33- Logique de planification urbaine adaptée aux risques climatiques.....	68
Figure 34- Les scénarios d'aménagement urbain au regard de l'adaptation aux changements climatiques..	70
Figure 35- Bonnes pratiques : aménagement de bassins de rétention en amont des oueds de Maroua (Cameroun)	75
Figure 36- Arbre de mesures d'adaptation qui peuvent être prises en compte lors de la planification urbaine	76
Figure 37- Bonnes pratiques : réhabilitation de logements à Ganvié (Bénin)	78
Figure 38- Bonnes pratiques : aménagement d'espaces verts en zone urbaine (Canal des Jardiniers à N'Djamena, au Tchad).....	80
Figure 39- Exemples d'outils de financement pour les mesures d'adaptation.....	81

Sigles et acronymes

AFD	Agence française de développement
BNCCC-REDD+	Bureau national des changements climatiques, du carbone et de la REDD+
CCKP	<i>Climate Change Knowledge Portal</i>
CCNUCC	Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques
CDAAS	<i>Climate Data Access and Analysis System</i>
CICLIA	<i>Cities and Climate Change in Sub-Saharan Africa Initiative</i>
DGM	Direction générale de la météorologie
DiMSUR	Centre technique pour la réduction des risques de catastrophe, la durabilité et la résilience urbaine
FVC	Fonds vert pour le climat
GES	Emissions de gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
IRC	Indice mondial des risques climatiques
ISIMIP	<i>Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project</i>
LUH	Loi d'urbanisme et de l'habitat
OMM	Organisation météorologique mondiale
OMS	Organisation mondiale de la santé
ONG	Organisation non-gouvernementale
PANA	Programme d'action national d'adaptation au changement climatique
PPP	Partenariat public-privé
PUDé	Plan d'urbanisme détaillé
PUDi	Plan d'urbanisme directeur, Plan d'urbanisme directeur
RGPH	Recensement général de la population et de l'habitat
SAC	Schéma d'aménagement communal
SAIC	Schéma d'aménagement intercommunal
SIG	Système d'information géographique
SNAT	Schéma national de l'aménagement du territoire
UNDDR	Bureau des Nations unies pour la réduction des risques

Glossaire

Dans la littérature sur le sujet, chaque terme (exposition, risques, vulnérabilité, etc.) fait l'objet de multiples définitions, souvent complexes, qui peuvent prêter à confusion. Il est cependant indispensable de comprendre les notions les plus utilisées pour pouvoir rechercher, interpréter et intégrer les informations disponibles dans le processus de planification.

La principale source de définitions utilisée dans ce glossaire est le cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Lorsque la source est autre, la référence est mentionnée. Etant donné que de nombreuses publications sont en anglais, le glossaire donne la traduction de chaque terme.

Acceptabilité

Acceptability

L'acceptabilité est le seuil de tolérance d'une personne, d'une population ou d'une collectivité à faire face à un **risque**. Ce seuil dépend des informations disponibles pour évaluer les risques, de l'estimation des dommages potentiels, de la représentation des enjeux économiques, sociaux ou politiques, et du système de valeurs des personnes ou des groupes concernés.

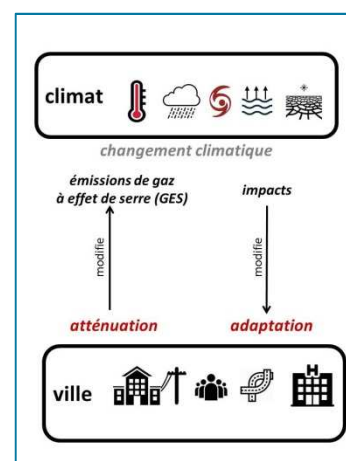
Adaptation

Adaptation

L'adaptation et l'**atténuation** sont des stratégies complémentaires qui permettent de réduire les risques liés au changement climatique. L'adaptation est une démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences, de manière à en réduire ou à en éviter les effets préjudiciables et à *en exploiter les effets bénéfiques*.

La capacité d'adaptation est la capacité d'ajustement des systèmes (les villes par exemple), des institutions et des populations à se prémunir contre les risques de dégâts, et de tirer parti des opportunités ou de réagir aux conséquences. En s'adaptant, les villes réduisent leur vulnérabilité aux impacts du changement climatique.

Figure 1- Atténuation et



Source : Artelia

adaptation

Atténuation

Mitigation

L'atténuation est la démarche consistant à réduire les émissions de gaz à effet de serre ou à renforcer l'absorption de ces gaz afin de limiter le changement climatique à venir (voir **adaptation**).

Changement climatique

Climate Change

Variation de l'état du climat qui peut être décelée par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus.

Cyclone

Cyclon

On distingue trois classes de phénomènes cycloniques : dépression tropicale si le vent est inférieur à 63 km/h, tempête tropicale entre 63 et 117 km/h et cyclone au-delà de 117 km/h. A Madagascar, la saison cyclonique s'étend habituellement de novembre à avril. Le rapport scientifique du GIEC sur les événements extrêmes (2012a) estime qu'il est probable que la fréquence des cyclones intenses augmente, mais souligne le fait qu'il est difficile d'établir des projections sur l'activité cyclonique en général (fréquence, intensité et durée).

Danger	Phénomène ou tendance naturel ou anthropique (dû à une activité humaine) – ou ses conséquences – pouvant entraîner des pertes en vies humaines, des blessures ou autres effets sur la santé, ainsi que des dégâts et pertes touchant les biens, les infrastructures, les moyens de subsistance, la fourniture de services, les écosystèmes et les ressources naturelles.
<i>Hazard</i>	
Étalement urbain	L'étalement urbain désigne un mode d'urbanisation caractérisé par une extension (rapide) des surfaces urbanisées, une faible densité moyenne de population, et souvent, une urbanisation discontinue et éparpillée.
<i>Urban sprawl</i>	
Exposition	Présence de personnes, de moyens de subsistance, d'espèces ou d'écosystèmes, de fonctions, ressources ou services environnementaux, d'éléments d'infrastructure ou de biens économiques, sociaux ou culturels dans un lieu susceptible de subir des dommages (générés par un événement naturel ou anthropique). Par exemple, des zones densément bâties et peuplées sur des fortes pentes sont particulièrement exposées au risque de glissement de terrain.
<i>Exposure</i>	
Phénomène météorologique extrême	Phénomène rare et intense en un endroit et à un moment de l'année particuliers. Par définition, les caractéristiques de conditions météorologiques extrêmes peuvent varier d'un endroit à un autre. Lorsque ces conditions <i>météorologiques</i> extrêmes se prolongent pendant un certain temps, l'espace d'une saison par exemple, elles peuvent être considérées comme un phénomène <i>climatique</i> extrême (par exemple une sécheresse).
<i>Extreme Weather Event</i>	
Gestion des risques	Plans, mesures ou politiques visant à réduire la probabilité de dommages ou à réagir aux conséquences.
<i>Risk management</i>	
Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)	Le GIEC a pour mission d'évaluer de façon la plus précise et la plus complète possible les informations internationales scientifiques, techniques et socio-économiques sur l'évolution du climat. Le GIEC a publié son premier rapport en 1990 et délivre depuis, tous les 5 à 6 ans, des rapports d'évaluation qui servent de référence dans le monde entier.
<i>Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)</i>	Les résultats des travaux du GIEC sont publiés dans des rapports d'évaluation et des rapports spéciaux sur des méthodologies ou thèmes ciblés. Les prochaines publications du GIEC, pour le sixième cycle d'évaluation, sont prévues pour 2021-2022. Un chapitre sera dédié au changement climatique dans les villes. Tous les rapports sont en anglais ; un rapport de synthèse est disponible en français.



Incertitude	Degré de connaissance incomplète pouvant découler d'un manque d'information ou d'un désaccord sur ce qui est connu, voire connaissable. L'incertitude peut résulter d'une imprécision dans les données, d'une ambiguïté dans la définition des concepts ou de projections incertaines. Bien que l'ensemble des connaissances climatiques augmente de plus en plus, et donc aussi la confiance dans les projections effectuées, la science du climat présente encore beaucoup d'incertitudes. Dans les rapports scientifiques (par exemple ceux du GIEC), l'incertitude est exprimée sous forme de probabilité des événements (pratiquement certain, très probable, probable, très peu probable, etc.).
<i>Uncertainty</i>	
Irréversibilité	De nombreux aspects des changements climatiques et de leurs répercussions (élévation du niveau de la mer et réchauffement par exemple) continueront de se manifester pendant des siècles, même si les émissions anthropiques de gaz à effet de serre sont stoppées. Les risques de changements abrupts ou irréversibles augmentent à mesure que le réchauffement s'amplifie. Dans ce contexte, accentué par la croissance démographique, l'urbanisation et le développement économique, les mesures d' adaptation sont indispensables.
<i>Irreversibility</i>	
Mal-adaptation	La mal-adaptation fait référence à des actions (ou inaction) qui peuvent : <ul style="list-style-type: none"> • augmenter fortement les émissions de gaz à effet de serre ; • transférer la vulnérabilité d'une période à une autre, d'un groupe à un autre ou d'un secteur à un autre, sans gestion efficace ; • peser de façon disproportionnée sur les plus vulnérables ; • mobiliser de façon inefficace des ressources.
<i>Mal-adaptation</i>	
Mesures « sans regret »	Les mesures dites « sans regret » ou « gagnant-gagnant » ont des avantages immédiats ou de court terme pour les villes et leurs populations, en termes de conditions de vie, d'économie, de sécurité des biens et de préservation des ressources naturelles, quels que soient les effets des changements climatiques.
<i>No Regrets Measures</i>	
	Par exemple, entretenir les réseaux d'eau afin de prévenir les fuites constitue une mesure pertinente et efficace (moins d'utilisation de la ressource, baisse du coût du service) <i>aujourd'hui</i> – hors considérations du changement climatique – et pour les futures périodes de sécheresse prolongée –liée aux effets du changement climatique. Les ressources sont investies de manière efficace et efficiente, quelle que soit l'évolution des tendances et événements climatiques.
Modèle climatique	Simulations des conditions futures élaborées par des instituts de recherche. Ils reflètent des informations historiques et des projections (jusque 2100) pour une douzaine de variables (température de l'air, précipitations, niveau de la mer, etc.). Les modèles climatiques sont d'une complexité variable. Ce sont des outils de recherche pour l'étude et la simulation du climat.
<i>Climate Model</i>	
Projections climatiques	Les projections climatiques résultent d'une compilation de modèles et permettent d'anticiper des tendances de températures et de précipitations ; elles ne permettent pas de prévoir la formation de cyclones ou les inondations provoquées par l'élévation du niveau de la mer, mais elles donnent des indications sur les conditions globales qui peuvent favoriser ces phénomènes. Les projections climatiques se distinguent des prévisions météorologiques qui n'intègrent pas d'hypothèses socio-économiques ou technologiques.
<i>Climate Projection</i>	
Réchauffement mondial	Augmentation progressive, prévue ou observée, de la température à la surface du globe et des océans, résultant en partie des émissions
<i>Global Warming</i>	

Résilience urbaine <i>Urban resilience</i>	<p>Capacité des systèmes urbains (sociaux, économiques ou environnementaux) à faire face à une perturbation, une tendance ou un événement dangereux, leur permettant d’y réagir ou de se réorganiser de façon à conserver ou recouvrer rapidement leurs fonctions essentielles, leur identité et leur structure.</p>
Risque <i>Risk</i>	<p>Le risque désigne l’éventualité d’effets néfastes sur les personnes, les modes de subsistance, la santé, les écosystèmes, le patrimoine économique, social et culturel, les services et les infrastructures. Dans ce guide, qui suit l’approche méthodologique proposée par le GIEC, le risque résulte de l’exposition aux dangers et de la vulnérabilité des populations, infrastructures, services et fonctions de la ville.</p>
Trajectoires représentatives d’évolution des concentrations (RCP) <i>Representative concentration Pathways (RCP)</i>	<p>Le GIEC a défini quatre trajectoires de référence (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 et RCP 8.5), qualifiés de profil représentatif d’évolution des concentrations de gaz à effet de serre. Chaque RCP correspond à une évolution différente des émissions de gaz à effet de serre, de la plus extrême ou pessimiste (RCP 8.5) à la plus optimiste (RCP 2.6). Les climatologues ont estimé les effets climatiques associés à chacune.</p>
Sécheresse <i>Drought</i>	<p>Période de temps anormalement sèche suffisamment longue pour causer un grave déséquilibre hydrologique. La notion de sécheresse étant relative, il faut étudier le déficit de précipitations sur une activité donnée (agriculture par exemple).</p>
Vagues de chaleur <i>Heatwave</i>	<p>Réchauffement important de l’air, ou invasion d’air très chaud, sur un vaste territoire et sur une durée de quelques jours à quelques semaines (Organisation météorologique mondiale, OMM).</p> <p>Contrairement à nombre d’aléas climatiques, tels que les cyclones tropicaux et les inondations, les vagues de chaleur sont géographiquement diffuses et étendues. Les effets de ces périodes de temps inhabituellement chaud peuvent être accentués dans les grandes zones urbaines, en raison des « îlots de chaleur » qui se produisent localement : le tissu urbain emmagasine la chaleur du soleil pendant la journée et la rediffuse lentement dans l’environnement la nuit, sans phénomène d’évaporation rafraîchissante. Les vagues de chaleur peuvent avoir un impact significatif sur la population, les infrastructures et les services.</p>
Vulnérabilité <i>Vulnerability</i>	<p>Propension ou prédisposition à subir des dommages. La vulnérabilité englobe divers concepts ou éléments, notamment les notions de sensibilité ou de fragilité et l’incapacité de faire face et de s’adapter aux effets des changements climatiques. La vulnérabilité peut être physique (architecture non résistante aux cyclones par exemple), humaine (personnes âgées, personnes malades, enfants, etc.), sociale (femme cheffe de ménage avec enfants en bas âge, personnes isolées, migrant-e-s, etc.), économique (extrême pauvreté, dépendance des moyens de subsistance aux ressources naturelles) ou organisationnelle (manque de moyens et de capacités pour gérer les situations d’urgence).</p>

INTRODUCTION

Dans son cinquième et plus récent rapport d'évaluation, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) montre les évidences de la responsabilité humaine dans l'**accélération des changements climatiques** observés depuis l'ère préindustrielle. Les villes et agglomérations urbaines ont un impact critique sur les changements climatiques : elles représentent près des trois-quarts de la consommation énergétique mondiale et la moitié des émissions de CO₂ (GIEC, 2014b). D'une part, les espaces urbains sont à la fois vecteurs et révélateurs des effets des changements climatiques : d'un côté, les villes participent à une part importante des émissions de gaz à effet de serre (GES) – de 60 à 70% selon ONU-Habitat et le GIEC; d'un autre, elles concentrent des populations, activités, infrastructures et services (logements, transport, énergie, industries, approvisionnement en eau, etc.) particulièrement sensibles à l'évolution des tendances climatiques et à l'augmentation de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes.

Les **publications sur les liens entre milieux urbains et changements climatiques** sont relativement récentes. Aujourd'hui, le foisonnement d'informations disponibles en ligne (articles, guides de bonnes pratiques, rapports techniques, données géo-spatiales, etc.) permet de constituer facilement un socle de connaissances sur le sujet, mais peut aussi perdre les non-spécialistes qui cherchent des informations particulières.

Madagascar est le 7^e pays le plus exposé et le plus vulnérable au changement climatique selon la classification de l'indice mondial des risques climatiques (IRC) de 2019. Avec des taux de croissance démographique urbaine avoisinants les 5% annuels, les villes de Madagascar font face à une série de **défis liés aux effets des changements climatiques**. L'adaptation est devenue un sujet incontournable de la planification territoriale : les collectivités locales doivent acquérir ou renforcer leurs compétences en la matière pour concevoir et mettre en œuvre les mesures appropriées à chaque contexte urbain.

Le gouvernement malagasy s'est engagé à contribuer aux efforts internationaux pour l'adaptation au changement climatique : il a ratifié la **Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques** (CCNUCC) en 1998 et le protocole de Kyoto en 2003, adopté un programme d'action national d'adaptation au changement climatique (PANA) et une politique nationale sur le changement climatique et mis en place des structures dédiées (Bureau national de coordination du changement climatique ou BNCCC-REDD+). Les collectivités locales, et notamment les municipalités, constituent des relais essentiels pour concrétiser les orientations des politiques climatiques et prendre des actions avec effet immédiat ou de plus long terme.

L'objectif du guide est d'**accompagner** les responsables techniques, administratifs et politiques pour mieux intégrer l'adaptation aux changements climatiques dans le processus de planification des villes de Madagascar. Le schéma national de l'aménagement du territoire (SNAT) définit la ville comme « un établissement humain de plus de 5000 habitant-e-s agglomérés ». Bien que centré sur les villes, ce guide peut être utile à d'autres échelons territoriaux (quartiers, communes rurales, régions) qui ont pour certains déjà un document dédié au changement climatique, tels que les Schémas d'aménagement communaux (SAC).

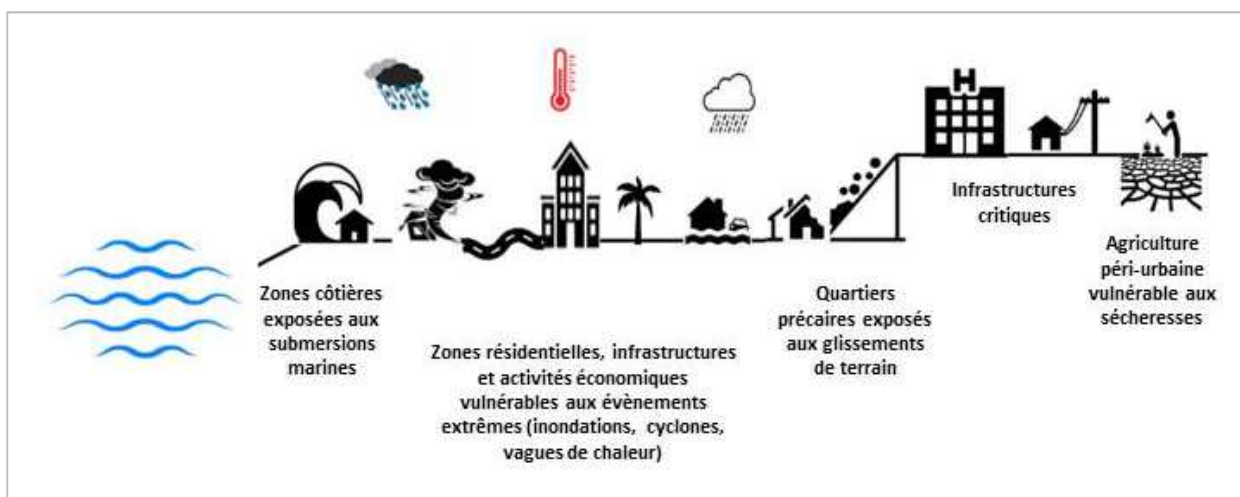
Ce guide propose des principes généraux, des **clés de lecture** des données scientifiques, des **outils** (cartographie de l'exposition et méthodes d'évaluation des risques par exemple) et des **ressources** (sources d'information et fiches thématiques). Il n'a pas vocation à décrire tout le processus de planification urbaine ni à couvrir tous les sujets ou enjeux qui s'y réfèrent. Son périmètre porte exclusivement sur l'intégration de l'adaptation au changement climatique dans les différentes composantes et étapes de la planification urbaine : le guide est focalisé sur les enjeux propres aux villes et les solutions qui relèvent des compétences des autorités municipales et autres parties prenantes.

A. VUE D'ENSEMBLE DE LA DEMARCHE

1. Les grandes étapes

Le processus d'élaboration de la stratégie d'adaptation est aussi important que le résultat, c'est-à-dire les règles fixées et les mesures à mettre en œuvre. La stratégie d'adaptation au changement climatique ne forme pas un document à part, mais s'intègre à chaque étape ou à chaque niveau de la planification urbaine. Les schémas d'aménagement intercommunaux (SAIC) et communaux (SAC), les plans d'urbanisme directeur (PUDi) et les plans d'urbanisme détaillés (PUDé), les plans de développement de quartiers et les schémas directeurs sectoriels (transports et assainissement par exemple) doivent incorporer une réflexion sur les effets des changements climatiques et des mesures ciblées pour y répondre.

Figure 2- Changements climatiques et risques urbains



Source : Artelia, adapté du guide de la Banque asiatique de développement (2016)

A Madagascar, les plans d'urbanisme directeurs (PUDi) règlementent l'utilisation générale des sols (équipements, infrastructures, transport, localisation des services et activités importantes), déterminent des zonages et fixent les orientations générales d'extension de l'urbanisation ou de la restructuration des espaces à un horizon de 15 années (article 30 de la loi d'urbanisme et de l'habitat - LUH). Les PUDi doivent contenir :

- les objectifs et les options d'aménagement pour les nouveaux territoires à urbaniser et les priorités en matière d'ouverture à l'urbanisation ;
- les territoires où toute urbanisation est interdite ;
- les terres agricoles et les zones forestières à préserver ;
- les territoires à préserver, tels que les sites naturels, historiques ou archéologiques ;
- les périmètres d'aménagement foncier ;
- la programmation des équipements et des voiries structurants ;
- les principes d'organisation des transports et des déplacements ;
- les principes d'assainissement et de gestion des déchets.

Les PUDé, réalisés à une plus petite échelle, s'intéressent à des zones particulières des PUDi. Ils fixent les règles d'utilisation du sol à un horizon de 10 années (article 33 à 35 de la loi LUH) et prévoient, entre autres l'aménagement et le développement des quartiers, les actions de rénovation urbaine et d'amélioration de l'habitat insalubre et les modalités de prévention des pollutions.

Le processus de planification urbaine comprend quatre étapes principales : (1) le diagnostic, (2) la prospective et l'élaboration des scénarios de développement urbain, (3) la définition de la vision à long terme et la planification spatiale et sectorielle à long terme, déclinés en programme d'investissements prioritaires pour le scénario retenu et (4) la conception du plan d'urbanisme. A chacune de ces étapes correspondent des opportunités pour intégrer l'adaptation au changement climatique, comme indiqué dans le schéma suivant (

Figure 3).

Figure 3- Schéma logique du processus de planification



2. La participation des parties prenantes

La participation des parties prenantes et du public est essentielle pour que les risques et les options de développement urbain soient bien compris. Les politiques d'adaptation seront probablement controversées : les échanges entre les résident-e-s, les promoteurs privés, les fournisseurs de services, les élus et les expert-e-s techniques pourront aider à obtenir les appuis nécessaires à l'efficacité des actions adoptées. Chaque municipalité peut contribuer à faire émerger ou renforcer une **culture de l'adaptation au changement climatique**.

Quelques grands principes doivent guider la démarche d'implication des parties prenantes :

- **Eviter** de faire du **degré d'expertise** l'unique filtre de sélection des parties prenantes : les habitant-e-s, les associations locales et autres organisations de la société civile apporteront une vision complémentaire et nécessaire aux données techniques exposées par les spécialistes ;
- **Améliorer** la **compréhension des enjeux du changement climatiques** pour chaque ville et des besoins en termes de réponses locales. Les villes peuvent par exemple organiser des ateliers de discussion sur le changement climatique ou des journées avec des actions mobilisant les habitant-e-s.
- **Renforcer** la **capacité des parties prenantes** à identifier les risques, facteurs de vulnérabilité, opportunités et options adaptées au contexte local ;
- **Sensibiliser** les parties prenantes (y compris le secteur privé) à l'importance d'intégrer le changement climatique dans les actions et activités locales ;
- **Encourager** la **collaboration** entre les parties prenantes locales, régionales et nationales, à travers l'échange d'expériences, de données et d'outils ;
- **Communiquer** régulièrement sur le changement climatique, les risques, les incertitudes et les mesures d'adaptation (sujet qui peut susciter des discours de déni, de catastrophisme, etc.)

Tous les secteurs de la planification territoriale sont potentiellement concernés par les effets du changement climatique. Les comités de pilotage ou les commissions municipales d'urbanisme formés à l'occasion de l'élaboration des Plans d'urbanisme directeur (PUDI) ou autres documents directeurs pour l'aménagement des villes et communes (plans communaux, plans détaillés d'urbanisme, etc.) doivent être impliqués.

Figure 4- Contributions potentielles des parties prenantes

Exemples de parties prenantes	Contributions potentielles – liens avec l'adaptation aux changements climatiques
Bureau national des changements climatiques, du carbone et de la REDD+(BNCCC-REDD+)	Coordination des actions liées à la lutte contre le changement climatique Appui technique Cadre national
Ministère de l'aménagement, de l'habitat et des travaux publics (MAHTP) Ministère des transports, du tourisme et de la météorologie Ministère de l'industrie, du commerce, et de l'artisanat Ministère de la Santé publique Ministère de l'environnement et du développement durable Ministère de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche	Appui technique Cadre national Règlementation
Préfecture et services de l'Etat	Prévention et gestion des risques naturels
Commissions municipales d'Urbanisme	Suivi de l'élaboration et de la mise en œuvre des PUDI (ou des plans communaux)

Exemples de parties prenantes	Contributions potentielles – liens avec l’adaptation aux changements climatiques
Services municipaux (urbanisme, habitat, travaux publics, assainissement, etc.)	Expertise technique sectorielle Plans des infrastructures existantes Exposition et vulnérabilité des populations et infrastructures
Elu·e·s	Suivi et pilotage de l’ensemble de la démarche Identification des zones exposées Compréhension des vulnérabilités locales
Représentant·e·s des fokontany	Données démographiques (pour l’exposition) Expérience des évènements passés (mémoire collective) Représentation des risques Identification des groupes et quartiers ou zones vulnérables
Direction générale de la météorologie (DGM)	Données climatiques locales et nationales
INSTAT Madagascar	Données démographiques
Jiro sy Rano Malagasy (JIRAMA) (Eau et Electricité)	Expérience des évènements passés Exposition et vulnérabilité des réseaux
Associations locales	Expérience des évènements passés (mémoire collective et individuelle) Représentation des risques Identification des groupes et quartiers ou zones vulnérables
Secteur privé	Expérience des évènements passés Représentation des risques Partenariat de financement
Universités et centres de recherche	Informations sur les impacts des changements climatiques
Médias	Education, information, communication et sensibilisation

Il existe plusieurs niveaux d'implication des parties prenantes dans le processus de planification : la diffusion d'informations, la collecte de données, la consultation, la concertation et la co-décision.

Figure 5- Modalités d'implication des parties prenantes

Modalité de participation	Partage d'informations	Collecte de données	Consultation	Concertation	Co-décision
Objectif	<ul style="list-style-type: none"> Transmettre les informations permettant de comprendre les effets du changement climatique Diffuser dans un langage accessible les informations scientifiques disponibles Présenter les options envisageables pour l'adaptation 	<ul style="list-style-type: none"> Rassembler des informations issues de la mémoire collective ou des expériences individuelles sur les événements extrêmes, leurs conséquences et les actions mises en place Comprendre les facteurs de vulnérabilité 	<ul style="list-style-type: none"> Demander l'avis des parties prenantes sur des sujets précis (mesures d'adaptation par exemple) Comprendre les représentations des risques Recueillir les inquiétudes sur les effets des changements climatiques Evaluer l'acceptation des mesures proposées 	<ul style="list-style-type: none"> Associer les parties prenantes à la démarche de planification afin qu'elles construisent collectivement des propositions d'adaptation 	<ul style="list-style-type: none"> Prendre des décisions avec les parties prenantes qui ont une compétence ou une responsabilité sur les sujets concernés
Concertation <i>Avec les parties prenantes</i>	<ul style="list-style-type: none"> Contexte (pourquoi l'information est diffusée) Sources des informations partagées et accessibilité Sources disponibles ou contacts pour accéder à des informations complémentaires 	<ul style="list-style-type: none"> Objectif de la collecte de données (utilisation des données) Niveau de confidentialité Format de la restitution des résultats (réunion, document) Date de la restitution des résultats 	<ul style="list-style-type: none"> Retour aux parties prenantes sur la façon dont leurs contributions ont alimenté le processus de planification et les décisions 	<ul style="list-style-type: none"> Engagement des municipalités à incorporer, dans la mesure du possible, les conclusions des échanges dans les stratégies de planification de l'adaptation 	<ul style="list-style-type: none"> Engagement des municipalités à appliquer les décisions prises collectivement (stratégies et mesures)
Etape	<ul style="list-style-type: none"> Avant toute réunion avec les parties prenantes A tout moment opportun 	<ul style="list-style-type: none"> Diagnostic 	<ul style="list-style-type: none"> Diagnostic Prospective Programmation 	<ul style="list-style-type: none"> Diagnostic Prospective Programmation 	<ul style="list-style-type: none"> Diagnostic Prospective Programmation

Source : Artelia

La participation des parties prenantes peut faire appel à un large éventail d'outils participatifs à diverses étapes du processus de prise de décision. Les outils peuvent être mobilisés pour la diffusion de l'information, la collecte de données, l'analyse des données et la prise de décisions. La démarche doit être structurée autour d'objectifs clairement exprimés sur le périmètre, la portée et l'ampleur de la participation, ainsi que l'incorporation des résultats dans les décisions.

Grâce à des repères physiques et paysagers, les habitant.e-s peuvent identifier des espaces particulièrement vulnérables aux événements extrêmes ou à l'évolution climatique sur le long terme (de plusieurs années à plusieurs décennies) : « la mer monte jusqu'à ce niveau », « les inondations ont touché ces quartiers-là », etc.

Figure 6- Bonnes pratiques pour réaliser une carte participative

La création de cartes participatives, possibles à plusieurs niveaux (exposition, vulnérabilité et risques), est un exercice aujourd'hui classique en matière de planification locale. L'objectif est de faire émerger les connaissances locales, issues des mémoires individuelles et collectives, sur les effets des tendances et événements climatiques dans des zones ciblées. Ces exercices apportent non seulement des informations utiles sur l'exposition, mais aussi sur la valeur accordée aux éléments identifiés. Ils constituent aussi des opportunités pour sensibiliser les parties prenantes sur les risques et les options de mesures envisageables, en les associant à la réflexion.

Dédier du temps à la préparation des ateliers

- Collecter au préalable les informations disponibles sur le quartier ou la zone à cartographier (historique, profil sociodémographique, dynamiques locales) ;
- Adapter la méthode au niveau d'alphabétisation des groupes cibles ;
- Planifier les visites de manière à ne pas perturber les activités quotidiennes des participant-e-s ;
- Associer les organisations locales pour mieux cibler les participant-e-s et relayer l'information (convocation) ;
- Rencontrer en amont les représentant-e-s des parties prenantes locales, y compris les leaders de la communauté ou du quartier, pour présenter l'approche et la justification de l'atelier ;
- Préparer les supports adaptés (cartes vierges, photos, images) ;
- Engager des hommes et des femmes dans les équipes de facilitateurs et anticiper les sujets ayant trait au genre ;
- Définir de manière simple et accessible les concepts du changement climatique (dangers, vulnérabilité, risques) et préparer des exemples parlants (sur les saisons, les dégâts possibles, etc.) pour les groupes cibles pour illustrer chaque concept ;
- Les questions de vulnérabilité peuvent renvoyer à des sujets sensibles et difficiles à aborder en groupe ; prévoir des espaces de discussions avec les parties prenantes qui le souhaitent à la fin de sessions.

Animer les ateliers avec des techniques sensibles aux inégalités et encourageant la participation active

- Utiliser des symboles parlants sur les cartes
- Faire dessiner les participant-e-s pour identifier les éléments exposés
- Utiliser le fond de carte ou les dessins pour lancer les discussions sur les effets des changements climatiques
- Favoriser les échanges entre les participant-e-s en respectant les règles de base des échanges en groupe (prise de parole, temps de parole, respect des points de vue, etc.)
- Prendre en compte les différences possibles de perceptions entre les hommes et les femmes : ne pas rechercher « une vérité », mais faire émerger les différentes représentations des risques et les facteurs de vulnérabilité (des ateliers dédiés aux femmes – ou à des groupes vulnérables - peuvent s'avérer indispensables dans certains contextes)
- Faire une brève synthèse des travaux à la fin de l'atelier, expliquer les étapes suivantes et s'engager à faire un retour sur l'utilisation des résultats dans la planification (restitution des résultats).

Questions à se poser

Général

1. Qui sont les parties prenantes ?
2. Comment identifier les représentant·e·s des différentes parties prenantes ?
3. Comment informer les habitant·e·s et usager·e·s des risques auxquels ces personnes sont exposé·e·s ? Quels sont les moyens disponibles ?
4. A quelles étapes du processus de planification solliciter les parties prenantes sur les sujets liés au changement climatique ?
5. Comment associer les parties prenantes à la collecte d'information, à la réflexion et à la prise de décision ?
6. Comment encourager les parties prenantes à s'approprier les sujets d'adaptation au changement climatique ?
7. Comment faire émerger une culture locale de l'adaptation ?

Genre

8. Les espaces et temps de discussions permettent-ils aux femmes de s'exprimer librement ? Les femmes et les hommes doivent-ils être consultés séparément ?
9. Les impacts différenciés des changements climatiques sur les femmes et les hommes sont-ils pris en considération ?

Population vulnérable, quartiers précaires et informels

10. Comment intégrer les groupes vulnérables et les associer aux décisions (notamment les populations en situation de pauvreté et d'extrême pauvreté ou les populations isolées)








Pour aller plus loin...

Commentaires

<p>Lisode (2017) <i>Guide de concertation territoriale et de facilitation</i></p> <p>http://www.lisode.com/wp-content/uploads/2017/02/Lisode_Guide_concertation.pdf</p>	<p>Ce guide apporte des conseils afin d'accompagner chaque phase d'une concertation : analyse du contexte, planification du processus, choix des outils et méthodes, facilitation des ateliers et évaluation de la concertation. Il décrit également une « éthique » de la concertation, formalisée à travers des principes à respecter afin d'éviter toute manipulation des participant-e-s ou les concertations « de façade ».</p>
<p>USAID (2013) <i>Stakeholder Participation in Climate Change Adaptation Planning</i></p> <p>https://www.climatelinks.org/resources/stakeholder-participation-climate-change-adaptation-planning</p>	<p>Ce guide donne un aperçu des différents modes de participation des parties prenantes (information, consultation, co-construction, etc.) dans la planification de l'adaptation au changement climatique.</p>
<p>CARE <i>Climate Vulnerability and Capacity Analysis Handbook</i></p> <p>https://www.care.org/sites/default/files/documents/CC-2009-CARE_CVCAHandbook.pdf</p>	<p>CARE met à disposition en ligne toute une palette d'outils, de guides et de méthodes participatives spécifiques aux sujets liés au changement climatique.</p>
<p>International Institute for Sustainable Development (IISD) Community-based Risk Screening Tool (CRISTAL) <i>Community-based Risk Screening Tool – Adaptation and Livelihoods</i></p> <p>https://www.iisd.org/cristaltool/</p>	<p>Conçu afin de servir de base à l'amélioration de la prise de décision dans la planification et la gestion des projets, le modèle CRISTAL aide les utilisateurs à comprendre les liens entre les moyens de subsistance des populations et le climat, à évaluer l'impact d'un projet sur les moyens d'existence et à élaborer les projets d'ajustement pour réduire la vulnérabilité et renforcer la capacité d'adaptation. C'est un outil qui comprend deux modules : la «<i>Synthèse des informations sur le climat et les moyens d'existence</i>» et la «<i>Planification et gestion des projets pour l'adaptation aux changements climatiques</i>». L'un des modules apporte un éclairage sur la façon d'impliquer les parties prenantes.</p>

B. ETABLIR LE DIAGNOSTIC

Les changements climatiques génèrent et vont générer de profonds impacts sur les différentes fonctions, infrastructures et services de la ville. Les secteurs du bâtiment, de l'eau, de l'assainissement, de l'énergie, du transport et des communications subiront les effets directs ou en cascade des pressions climatiques, et en particulier des événements extrêmes.

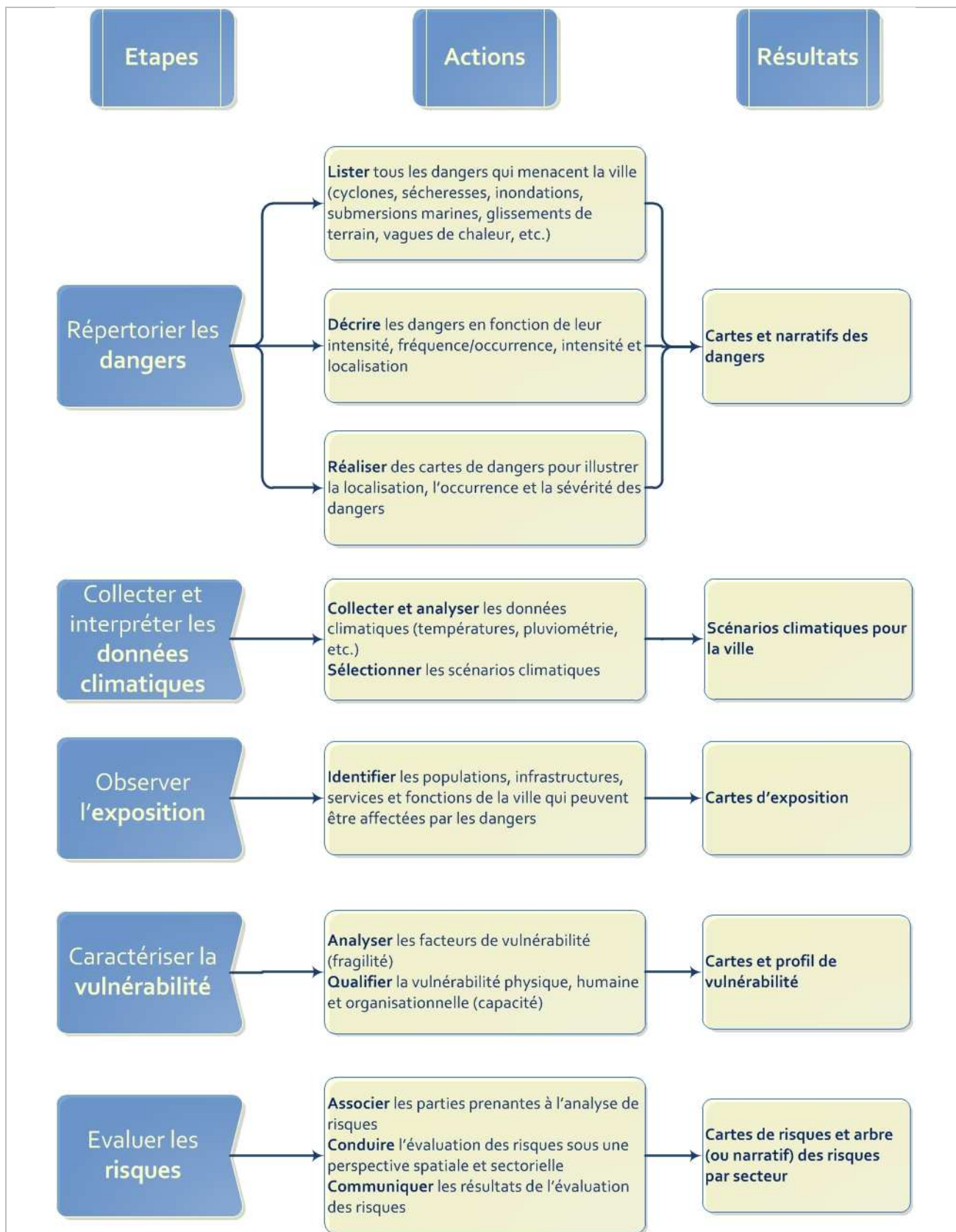
 Objectif	Identifier et caractériser les sources de risques (évolution du climat, vulnérabilité, exposition), à la plus petite échelle possible Déterminer les risques à prendre en compte dans la planification
 Questions	<ul style="list-style-type: none"> • Quelle est la réalité concrète du changement climatique sur le territoire ? • Quels sont les impacts observés sur la ville, ses infrastructures et ses services ? • Quels sont les facteurs de vulnérabilité ? • Quels risques doivent faire l'objet d'une attention particulière dans la planification urbaine ?
 Etapes	<ul style="list-style-type: none"> • Collecter les informations sur les principaux dangers et les tendances climatiques actuelles et futures • Identifier et cartographier les fonctions, infrastructures et services exposés • Caractériser leur vulnérabilité • Evaluer les risques à l'échelle de la ville et pour les zones particulièrement sensibles
 Parties prenantes	<ul style="list-style-type: none"> • Elus et autorités locales • Groupes techniques spécialisés (prévention et gestion des situations d'urgence, • Résident-e-s, associations de quartiers, organisations locales • Scientifiques et expert-e-s climatiques • Fournisseurs de services publics et gestionnaires d'infrastructures publics • Instituts de recherche, universités • Secteur privé (entreprises présentes sur le territoire)
 Défis	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilité et qualité des données, à la plus petite échelle possible • Interprétation des données scientifiques • Intégration des représentations (perceptions des parties prenantes) et des données scientifiques

Les impacts varient d'une ville à une autre et dépendent d'une combinaison de facteurs :

- **localisation** : latitude/longitude, façade maritime, bord de fleuve, région isolée, etc. ;
- **particularités géographiques** : collines, plaine alluviale, littoral, zone aride, etc. ;
- **morphologie ou forme physique** : organisation de l'espace, axes de circulation, typologie du bâti, etc. ;
- **profil socio-économique** : démographie, pyramide des âges, activités économiques et moyens de subsistance, niveaux de vie de la population.

Le diagnostic est la première étape, préalable à l'élaboration d'une stratégie d'adaptation. Face à la diversité et à la complexité des informations, il est essentiel de disposer de méthodes et d'outils permettant de structurer les données, de les analyser et d'établir des relations significatives. L'objectif de cette section est de proposer des approches pertinentes pour analyser les dangers, l'exposition, la vulnérabilité et les risques, dans l'optique spécifique d'alimenter la réflexion sur l'adaptation des villes aux changements climatiques.

Figure 7- Les étapes du diagnostic



Source : Artelia, adapté de (Asian Development Bank 2016)

Ce cadre d'analyse suit la logique adoptée par le GIEC dans son cinquième rapport d'évaluation (le plus récent).

1. Répertoire des dangers spécifiques à chaque ville

La première étape consiste à dresser une liste des dangers actuels ou potentiels qui peuvent affecter une ville et de comprendre comment les effets des changements climatiques se manifestent au niveau local. L'analyse des dangers se décompose en trois étapes :

- **Répertoire** les dangers présents ou potentiels sur le territoire urbain ;
- **Caractériser** ces dangers (intensité, fréquence, localisation) ;
- **Cartographier** les dangers (pour ceux qui peuvent être visualisés géographiquement).

1.1. Identifier les dangers présents et futurs



Résultat attendu : liste des dangers

Rappel de définition : phénomène ou tendance naturel ou anthropique (dû à une activité humaine) – ou ses conséquences – pouvant entraîner des pertes en vies humaines, des blessures ou autres effets sur la santé, ainsi que des dégâts et pertes touchant les biens, les infrastructures, les moyens de subsistance, la fourniture de services, les écosystèmes et les ressources naturelles.

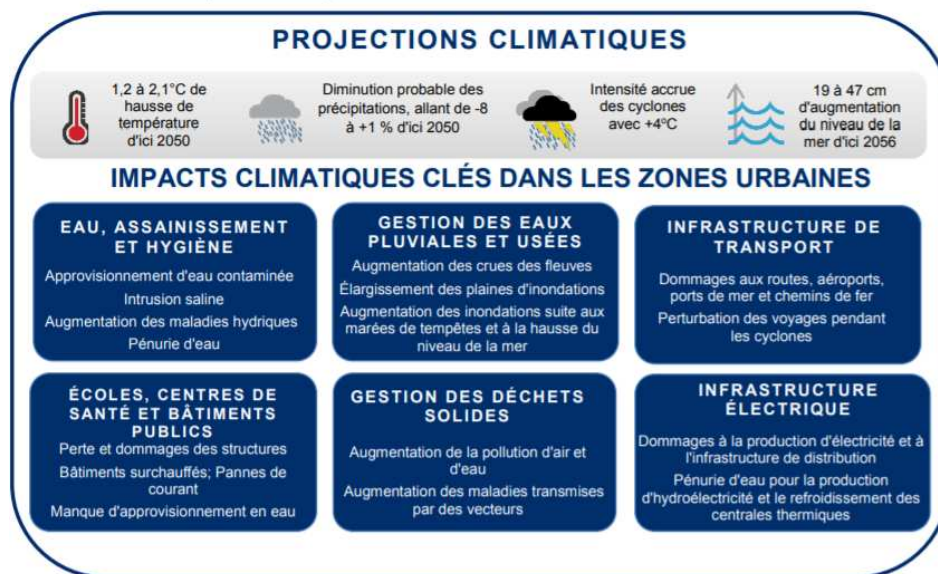
Cette étape vise à identifier tous les dangers présents et futurs sur le territoire urbain (inondations, submersions marines, glissements de terrain, feux de forêt, érosion côtière, sécheresses, vagues de chaleurs, etc.), ainsi que leurs conséquences (pression sur la ressource en eau due à l'augmentation des températures, destruction de bâtiments par les cyclones, etc.). Les sources de données sont multiples :

- Rapports de synthèse sur les risques naturels (inondations, cyclones, etc.) produits par des bureaux d'études, des services gouvernementaux, des ONG ou organisations internationales ;
- Connaissances d'expert.e.s contacté.e.s directement (universitaires, consultant.e.s, etc.) ;
- Mémoire collective des habitant.e.s et usager.e.s du territoire ;
- Des sites web comme <http://www.thinkhazard.org> ou <http://www.catnat.net> recensent les catastrophes naturelles et permettent de retracer l'historique des événements extrêmes sur le territoire.

La Figure 8 et la Figure 9 exposent les principaux changements climatiques observés et projetés à Madagascar, ainsi que leurs effets possibles sur les villes. Cet exercice doit être mené à l'échelle de chaque ville.






Il est important de considérer les **effets en cascade** que peuvent générer certains événements. Les cyclones entraînent des vents violents, de fortes houles, des ondes de tempête et de fortes précipitations qui à leur tour occasionnent des inondations côtières et des inondations à l'intérieur des terres. Les raisons de l'incertitude quant aux répercussions précises des changements climatiques sont en partie liées à la difficulté de prévoir ces effets en cascade. A noter que ces effets en cascade peuvent également faire l'objet d'une cartographie et d'une analyse territoriale.

Figure 8- Impacts sectoriels des changements climatiques sur les villes malagasy



Source : USAID (2018)

Figure 9- Impacts possibles des changements climatiques sur les villes malagasy

Paramètres climatiques	Impacts possibles sur les villes
<p>Hausse des températures</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vagues de chaleur ▪ Augmentation de la consommation énergétique (refroidissement) ▪ Baisse de la qualité de l'air ▪ Pressions sur la ressource en eau (augmentation de la demande et baisse de la qualité) ▪ Feux de forêts au voisinage des villes
<p>Variabilité du régime des précipitations</p> <p style="text-align: center;">Augmentation pendant la saison des pluies</p>  <hr/> <p style="text-align: center;">Diminution pendant la saison sèche et allongement des périodes de sécheresse</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inondations ▪ Glissements de terrain et chutes de blocs de pierre ▪ Perturbation du service d'approvisionnement en eau et des systèmes d'assainissement (baisse de la qualité des eaux de surface et souterraines) ▪ Dommages et pertes sur les infrastructures et les réseaux (routes, électricité, communication) et les activités économiques : perturbation des services ▪ Dommages et pertes sur les logements ▪ Risques de blessures ou pertes en vies humaines ▪ Risques accrus de maladies vectorielles et d'épidémies (notamment les maladies d'origine hydrique) <hr/> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pressions sur la ressource en eau (augmentation de la demande et baisse de la qualité) ▪ Dommages et pertes agricoles ; conséquences pour la sécurité alimentaire (agriculture urbaine) ▪ Conséquence sur la production énergétique ▪ Migration des populations rurales vers les zones urbaines
<p>Elévation du niveau de la mer</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erosion et submersion permanentes de terres en zones côtières ▪ Intrusions salines dans les aquifères côtiers et conséquences sur les usages de l'eau (alimentation en eau potable et agricole) et les milieux naturels ▪ Effets exacerbés des tempêtes tropicales ou cyclones (inondation des zones côtières en particulier) ▪ Altération des bétons non adaptés aux environnements salins ▪ Augmentation des durées d'inondations côtières (moindre capacité d'infiltration des eaux douces)
<p>Intensification des cyclones</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Houle cyclonique et conséquences sur l'érosion des côtes et les inondations ▪ Précipitations extrêmes et inondations ▪ Effets de site des vents cycloniques avec des incidences sur les constructions et infrastructures localisées dans des configurations particulièrement exposées (altitude, rebord de falaises ou axe de vallées encaissées) ▪ Glissements et mouvements de terrain ▪ Arbres déracinés ▪ Perturbation du service d'approvisionnement en eau et des systèmes d'assainissement (baisse de la qualité des eaux de surface et souterraines) ▪ Pertes et dommages sur les infrastructures et les réseaux (routes, électricité, communication) et les activités économiques : perturbation des services ▪ Destruction et dommages sur les logements ▪ Risques de blessures ou pertes en vies humaines ▪ Risques accrus de maladies vectorielles et d'épidémies (notamment les maladies d'origine hydrique)

1.2. Caractériser les dangers

Résultat attendu : description des dangers (narratif ou tableau)

Rappel : les événements extrêmes sont caractérisés en fonction de leur intensité, fréquence, localisation et durée.

Il est question à cette étape de détailler les dangers, en étudiant leur fréquence, leur intensité et leur localisation. Cette analyse permet de réaliser une première hiérarchisation des dangers qui menacent la ville.

- **L'intensité** désigne la sévérité ou l'amplitude du phénomène observé ou potentiel. Par exemple, les perturbations atmosphériques sont classées en fonction de la force du vent : dans l'Océan indien, les météorologues font référence à des dépressions (>62 km/h), tempêtes modérées (>89km/h) et fortes (>118km/h), cyclones tropicaux (> 166km/h), intenses (>210 km/h) et très intenses (>214km/h) et super-cyclones (>249km/h).

Figure 10- Incidence du changement climatique sur les cyclones tropicaux

Selon l'équipe d'expert-e-s de l'Organisation météorologique mondiale pour les incidences des changements climatiques sur les cyclones tropicaux, si le réchauffement se produit au cours du XXIème siècle comme l'indiquent les projections, la vitesse maximale des vents des cyclones tropicaux augmentera vraisemblablement de 2 à 11 % en moyenne mondiale, et l'intensité des précipitations augmentera approximativement de 20 % à 100 kilomètres du centre de la tempête.

En publiant les projections dans *Nature Geoscience* en mars 2010, les experts ont conclu que le nombre total de cyclones tropicaux dans le monde allait probablement soit baisser, soit demeurer inchangé. Néanmoins, une augmentation probable de l'intensité des cyclones tropicaux signifie que les tempêtes les plus fortes seront très vraisemblablement plus fréquentes dans les scénarios de réchauffement projetés.

Source : Organisation météorologique mondiale (2015)

- **La fréquence** (ou durée de retour) qualifie la périodicité ou l'occurrence des événements à un endroit particulier. Une durée de retour de cent ans pour une inondation signifie statistiquement qu'il est probable qu'une inondation extrême se produise en un endroit donné tous les cent ans. Les changements climatiques induisent également une évolution de la saisonnalité et la temporalité des événements : les observations sur les dernières décennies indiquent une tendance à la baisse du nombre de cyclones dans l'Océan indien, avec une modification des périodes d'occurrence – le cœur de l'activité cyclonique se décalant de la deuxième quinzaine de janvier à la deuxième quinzaine de février.
- **La localisation** est plus facile à déterminer pour les phénomènes extrêmes que pour les tendances climatiques. Les risques varient d'une ville à une autre, et d'une zone urbaine à une autre. Les villes côtières (Majunga, Morondava, Toliara, Tolagnaro) sont particulièrement exposées au risque de submersion marine ; les villes de l'extrême nord-est (Antsiranana) sont les plus exposées aux cyclones. A l'échelle de la ville, il convient de déterminer le plus finement possible les zones les plus exposées (zones basses inondables par exemple).

Les dangers peuvent être classés selon la « criticité » des dommages humains et matériels susceptibles d'être provoqués. La saisonnalité des dangers et son évolution sont des éléments importants dans le contexte tropical (pour les cyclones par exemple).

1.3. Cartographier les dangers

Résultat attendu : carte des dangers

Rappel : une carte des dangers ou des aléas permet de localiser et visualiser les phénomènes naturels auxquels une ville est exposée.

La cartographie des dangers (aussi appelée carte d'aléas) est essentielle car elle permet de transmettre les connaissances sur les dangers et de partager un ensemble de données utiles pour la planification. Les cartes permettent de *territorialiser* les risques, c'est-à-dire de délimiter les zones à risques et les zones non exposées (qui pourront éventuellement faire l'objet de projets de développement, voir section C).

Si les modèles numériques complexes exigent un haut degré d'expertise et de technicité, les outils de visualisation et de traitement d'informations spatialisées – grâce aux systèmes d'informations géographiques – sont de plus en plus accessibles : le logiciel QGIS et GoogleEarth permettent de créer aisément des cartes à partir de données en accès libre.

Le tableau suivant (Figure 11) donne une indication des échelles appropriées en fonction de leur utilisation.

Figure 11- Echelles des cartes de danger selon leur utilisation

Echelle	Couverture	Utilisation
1:200 < 1:2 000	Infrastructure, bâtiment	<ul style="list-style-type: none">Préparer des travaux pour adapter un bâtiment ou une infrastructure urbaine
1:2 000 < 1:25 000	Quartier Zone urbaine ciblée	<ul style="list-style-type: none">Elaborer un plan de prévention des catastrophesEtude de faisabilité pour un projet de réduction des risquesPlan de développement urbain
1 :25 000 < 1:100 000	Ville	<ul style="list-style-type: none">Planification urbaine pour l'ensemble de la ville

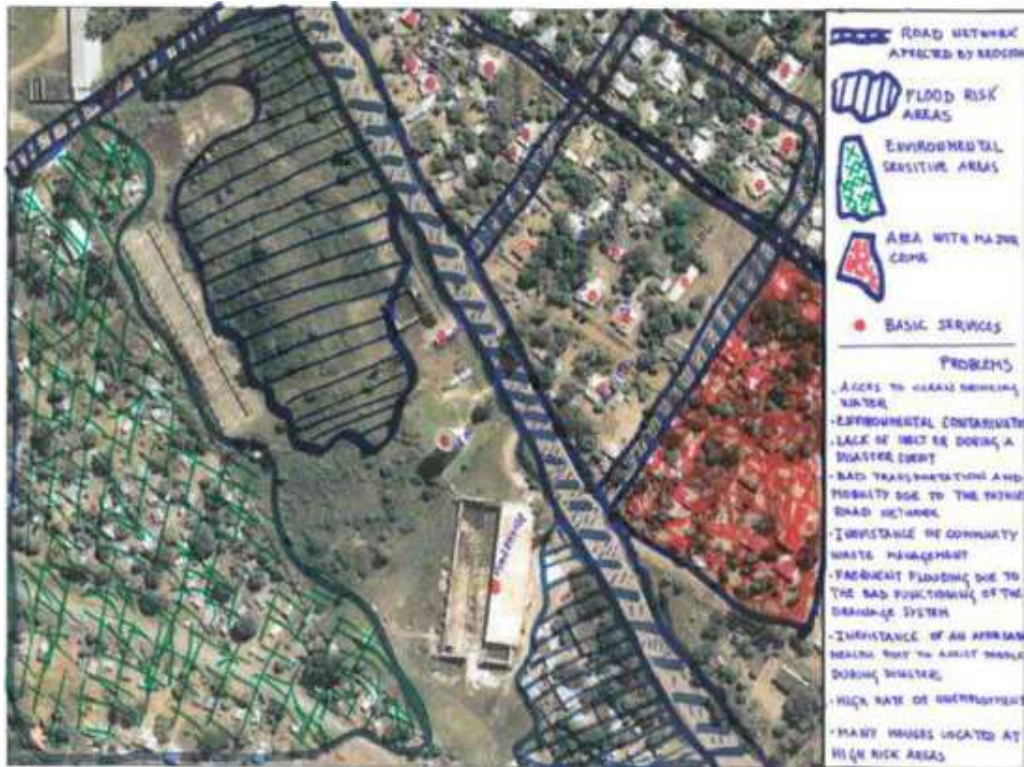
Source : adapté de la Banque asiatique de développement (2016)

Il n'est pas toujours possible de représenter la distribution spatiale des dangers, et notamment à l'échelle de la ville. L'emprise au sol des cyclones, des sécheresses et des vagues de chaleur ne peut pas être cartographiée avec un tel degré de précision (pour les projections).

Les zones inondables, d'érosion côtière, de submersions marines, de risques de feux et de mouvements de terrain pourront être représentées sur des cartes. Il s'agira par exemple de délimiter l'emprise au sol d'une crue ou d'une inondation extrême, et dans la mesure du possible, de classer les hauteurs d'eau susceptibles de submerger les différents quartiers, les infrastructures, services, activités et logements.

La modélisation numérique n'est pas la seule option disponible, ni la seule option crédible. Si les moyens ou les ressources disponibles ne le permettent pas, il est possible d'avoir recours à des outils participatifs, tels que les cartes de représentation des dangers (voir Figure 12). Ces techniques sont déjà largement utilisées pour la prévention des catastrophes naturelles.

Figure 12- Exemple de carte de danger participative



(UN Habitat 2018)

Répertoire des dangers

Questions à se poser

1. Quelles sont les sources d'information pertinentes pour recenser les dangers passés, présents et futurs ?
1. Quelles sont les parties prenantes qui peuvent contribuer à identifier les dangers ? Comment les mobiliser ?
2. Quels événements extrêmes ont marqué la ville au cours des dernières décennies (inondations, sécheresse, cyclones) ?
3. Comment caractériser les dangers recensés (intensité, fréquence, durée et localisation) ?
4. Quelle sont les projections ?
5. Quels sont les dangers à retenir ?
6. Quels sont les impacts des changements climatiques sur la ville, son territoire, sa population, ses infrastructures et ses fonctions ?
7. Comment définir le niveau d'incertitude pour chaque danger ?

 Pour aller plus loin...	Commentaires
Ministère de l'environnement et des forêts (2010) <i>Politique nationale de lutte contre le changement climatique</i>	Document stratégique au niveau national (Madagascar).
Groupe de la Banque mondiale et Banque internationale pour la reconstruction et le développement (2016) <i>Profil de risque de catastrophe. Madagascar.</i> http://documents.banquemondiale.org/curated/fr/262521494235299571/Disaster-risk-profile-Madagascar	Document récapitulatif des principaux risques identifiés à l'échelle nationale (séismes, inondations, cyclones, etc.), avec une estimation des pertes dues aux différents événements.
Site web Think Hazard ! http://thinkhazard.org/fr/	ThinkHazard! offre un panorama général des risques naturels que présente une zone géographique donnée. Cet outil met en évidence le degré de probabilité d'occurrence de divers aléas naturels dans la zone concernée (très faible, faible, modéré et élevé), fournit des directives pour réduire l'impact de ces risques et recommande des ressources documentaires pour aller plus loin. Les niveaux de risque indiqués dans l'outil reposent sur les données publiées par divers organismes privés, universitaires et publics.
USAID (2018b) <i>Risques climatiques dans les zones urbaines et en voie d'urbanisation. Madagascar.</i> https://www.climatelinks.org/sites/default/files/asset/document/180404_USAID-ATLAS_Climate-Risks-in-Urban-and-Urbanizing-Geographies-Madagascar_French.pdf	Ce guide établit un diagnostic des principaux dangers ou « risques climatiques » identifiés dans les zones urbaines de Madagascar.

2. Collecter et interpréter les informations climatiques



Résultat attendu : description des scénarios climatiques envisagés pour la ville

Rappel de définition : les projections climatiques sont des simulations des réponses d'un système (une ville par exemple) aux scénarios futurs d'émissions ou de concentration de gaz à effet de serre. Les projections climatiques se distinguent des prévisions climatiques qui n'intègrent pas d'hypothèses socio-économiques ou technologiques.






Les changements climatiques s'expriment principalement par des variations de la pluviométrie, des températures et du régime des vents, ainsi que la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes. Les climatologues décrivent avec de plus en plus de précision les évolutions climatiques, y compris à l'échelle de la ville, voire à des échelles inférieures (quartier) en prenant en compte la géométrie urbaine et les matériaux de construction. Les villes, en plus d'être influencées par le climat, influent sur celui-ci en modifiant localement les paramètres climatiques.

L'objectif est de comprendre quelles sont concrètement les grandes tendances des évolutions climatiques observées sur le territoire, dans le passé et le présent, et d'interpréter les **projections** sur les décennies à venir. Il s'agit d'identifier à la fois les évolutions « lentes » du climat, sur plusieurs années ou décennies, et les expériences des événements extrêmes, ponctuels et récurrents.

2.1. Sélectionner les paramètres climatiques pertinents à l'échelle locale

Certaines informations climatiques sont indispensables pour alimenter la réflexion sur l'adaptation des villes, d'autres sont souhaitables, mais parfois difficiles à obtenir. Les informations à collecter concernent les températures, la pluviométrie, l'élévation du niveau de la mer et les événements tels que les tempêtes, cyclones, inondations, glissements de terrain, sécheresses et vagues de chaleur.

Figure 13- Principaux facteurs de changements climatiques à Madagascar

Paramètres climatiques	Changements climatiques observés ou projetés	Exemples d'indicateurs
<p>Hausse des températures</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation significative des températures moyennes Augmentation des températures maximales pendant la saison sèche (de 1,4 à 2,3°C d'ici 2050) Augmentation projetée de 2,5°C à 3°C d'ici 2100 Augmentation des températures extrêmes et des vagues de chaleur 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre de jours par an de températures supérieures à x°C
<p>Variabilité du régime des précipitations</p> <p>Augmentation pendant la saison des pluies</p>  <p>Diminution pendant la saison sèche et allongement des périodes de sécheresse</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Grande variabilité interannuelle Evolution relative de la répartition des précipitations : diminution dans le nord et augmentation dans le sud Augmentation de l'imprévisibilité Fréquence accrue des événements de précipitations extrêmes Augmentation de l'intensité des précipitations pendant la saison des pluies (décembre-février) NB : plus grande incertitude sur les projections des précipitations dans le nord, certains modèles prévoyant des conditions plus sèches et d'autres des conditions plus humides. Périodes plus longues de sécheresse (+0 à 5 jours d'ici 2050) Diminution des précipitations pendant la saison sèche et dans les zones intérieures 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre de jours de pluie > 50mm Durée des périodes de sécheresse Volume de précipitations du semestre le plus sec
<p>Elévation du niveau de la mer</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation du niveau de la mer de 19 à 47 cm d'ici 2050 	<ul style="list-style-type: none"> Elévation moyenne par an (mm)
<p>Intensification des cyclones</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Diminution de la fréquence des cyclones dans l'Océan indien d'ici 2100, en particulier en début de saison des cyclones Augmentation de l'intensité des cyclones, avec des trajectoires d'atterrissage se déplaçant vers le nord 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre de cyclones Force des cyclones Période d'activité (mois)

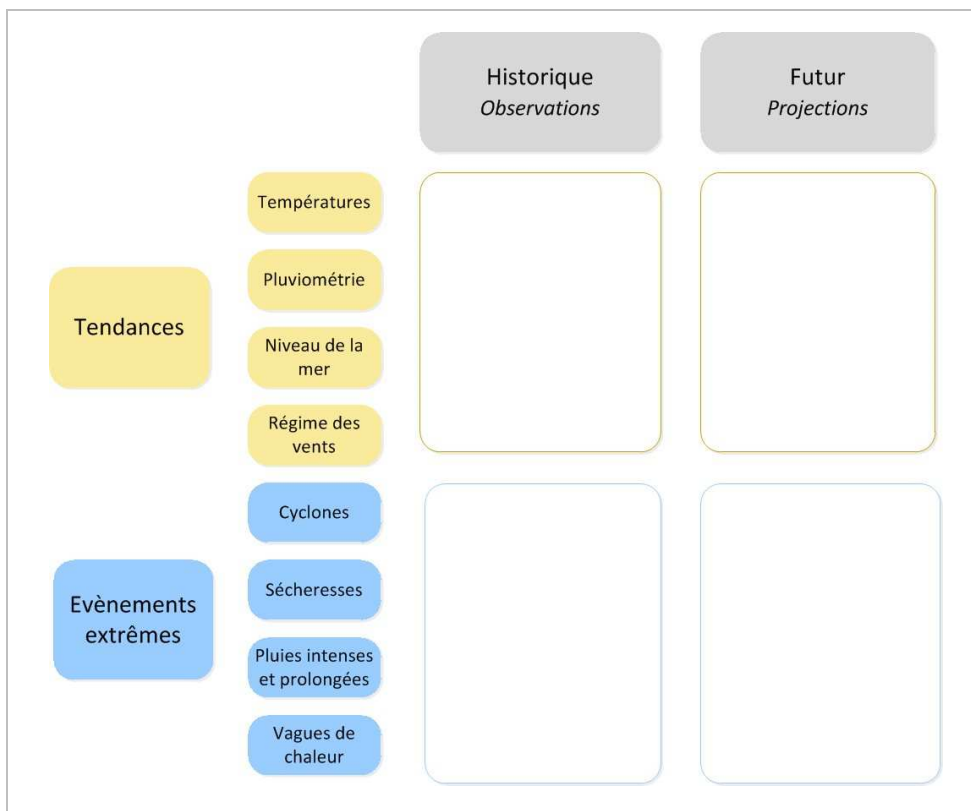
Source : réalisé à partir des données de USAID (2018)

A noter que ces facteurs peuvent faire l'objet d'une cartographie représentant chaque type de changement ou la multiplicité, voire l'interaction des changements observés ou projetés.

Il est indispensable de couvrir toutes les expressions du climat (tendances et évènements extrêmes), ainsi que les différents horizons temporels (historiques, actuels, futurs). Les données climatiques doivent être synthétisées de manière claire et facilement compréhensible.

- **Les tendances climatiques** sont généralement exprimées par des valeurs moyennes, des valeurs extrêmes et des taux de variation : températures et pluviométries moyennes annuelles, températures et pluviométrie extrême saisonnières, évolution des températures sur une ou plusieurs décennies, etc.
- **Les évènements extrêmes** sont décrits par leur intensité, leur fréquence et leur localisation (voir section 1.2).

Figure 14- Synthèse schématique des données climatiques à collecter



Source : Artelia

Il peut s'avérer utile de réaliser des **fiches techniques** synthétisant les changements climatiques identifiés au niveau local (ou régional) et leurs impacts : elles faciliteront le travail d'analyse tout au long du processus et contribueront à homogénéiser le format des conclusions pour chaque secteur de la planification concerné (transport, eau, énergie, logement, etc.).

2.2. Comprendre les scénarios et sélectionner les projections climatiques

Les **modèles climatiques** sont des simulations des conditions futures élaborées par des instituts de recherche. Ils reflètent des informations historiques et des projections (jusqu'à 2100) pour une douzaine de variables (température de l'air, précipitations, niveau de la mer, etc.). Les grilles de données obtenues pour chaque variable et chaque scénario (voir Figure 16) servent de base pour évaluer les risques et les impacts des changements climatiques.

Les **projections climatiques** résultent d'une compilation de modèles : pour son cinquième rapport d'évaluation, le GIEC a compilé plus de 40 modèles. Les projections permettent d'anticiper des tendances de températures et de précipitations ; elles ne permettent pas de prévoir la formation de cyclones ou les inondations provoquées par l'élévation du niveau de la mer, mais elles donnent des indications sur les conditions globales qui peuvent favoriser ces phénomènes. Les horizons de court et moyen termes (quelques décennies) apportent des informations pertinentes par rapport à l'horizon de la planification des villes malagasy (15 ans pour un Plan d'urbanisme directeur - PUDI). L'adaptation des territoires nécessitant une projection à long terme, les données aux horizons 2100 (et jusqu'à 2300) pourront également être exploitées.

Le GIEC a défini quatre **trajectoires de référence** (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 et RCP 8.5), qualifiés de profil représentatif d'évolution des concentrations de gaz à effet de serre (*Representative Concentration Pathways* en anglais)

Figure 15- Clés de compréhension des scénarios RCP du GIEC

Nom	Forçage radiatif	Interprétation
RCP 2.6 (bas)	+2,6 W/m ²	<p>Scénario le plus ambitieux et seul scénario qui permettrait de limiter le réchauffement mondial à « 2°C » en 2100¹ : très faibles émissions de gaz à effet de serre avec un point culminant avant 2050</p> <p>Augmentation de la température moyenne globale dans une fourchette de 0,4 à 1,6°C pour 2046-2065 et de 0,3 à 1,7°C pour 2081-2100²</p> <p>Augmentation du niveau global des mers de 0,26 à 0,55m</p>
RCP 4.5 (moyen-bas)	+4,5 W/m ²	<p>Scénario avec stabilisation des gaz à effet de serre avant la fin du XXI^e siècle à un niveau faible</p> <p>Augmentation de la température moyenne globale dans une fourchette de 0,9 à 2,0°C pour 2046-2065 et de 1,1 à 2,6°C pour 2081-2100</p> <p>Augmentation du niveau global des mers de 0,32 à 0,63m</p>
RCP 6.0 (moyen-haut)	+6 W/m ²	<p>Scénario avec stabilisation des gaz à effet de serre avant la fin du XXI^e siècle à un niveau moyen</p> <p>Augmentation de la température moyenne globale dans une fourchette de 0,8 à 1,8°C pour 2046-2065 et de 1,4 à 3,1°C pour 2081-2100</p> <p>Augmentation du niveau global des mers de 0,33 à 0,63m</p>
RCP 8.5 (haut)	+8,5 W/m ²	<p>Scénario le plus pessimiste, ou le plus extrême, mais le plus probable car il correspond à la prolongation des émissions actuelles</p> <p>Augmentation de la température moyenne globale dans une fourchette de 1,4 à 2,6 pour 2046-2065 et de 2,6 à 4,8°C (2081-2100)</p> <p>Augmentation du niveau global des mers de 0,45 à 0,82m</p>

Plus cette valeur est élevée, plus le système terre-atmosphère gagne en énergie et se réchauffe.

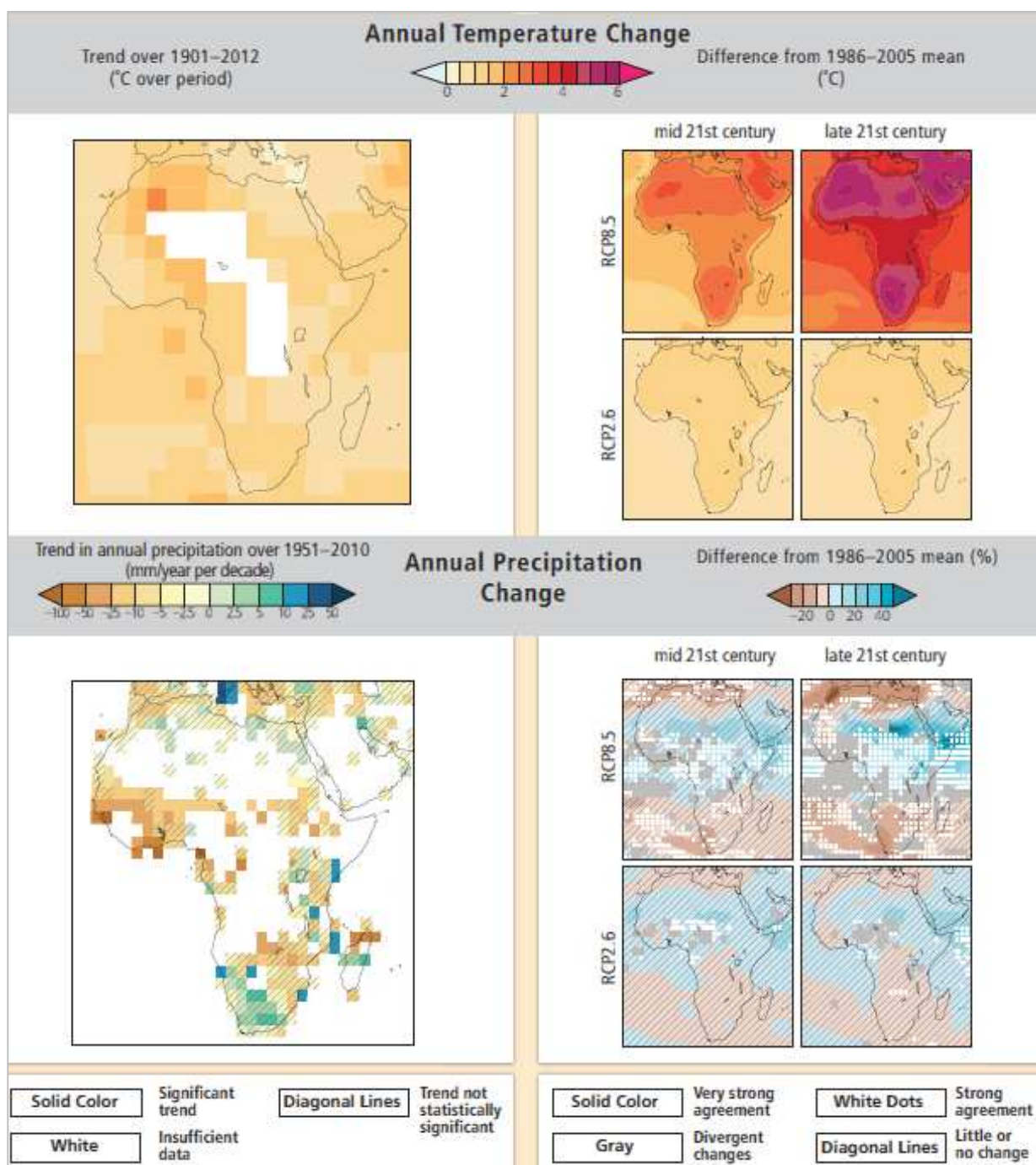
Source : Artelia

Ces trajectoires et scénarios servent de références pour modéliser le climat et ses effets. A l'horizon 2050, les écarts entre scénarios basés sur les différentes trajectoires sont peu significatifs pour la planification spatiale à l'échelle d'une ville. Un seul scénario (basé sur la trajectoire RCP 4.5 - moyennement optimiste - ou RCP 8.5 - pessimiste) peut être utilisé comme référence. Pour les projections de plus long terme (au-delà de 2050), il peut être intéressant de comparer les scénarios basés sur ces deux trajectoires.

Il s'agira donc de collecter les données disponibles localement (ou au niveau régional) pour les scénarios choisis. Le site de la Banque mondiale *Climate Change Knowledge Portal* (CCKP, <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>) fournit des projections par pays, région et bassin versant.

L'incertitude fait partie des modèles et projections : elle ne constitue pas un obstacle, mais les limitations inhérentes doivent être comprises pour interpréter correctement les données. Les résultats des travaux scientifiques, comme ceux du GIEC, ont en général recours à des qualificatifs d'incertitude, qu'il s'agisse de degrés de confiance (de très faible à très élevé) ou de probabilités (d'extrêmement improbable à extrêmement probable).

Figure 16- Modèle régional d'évolution des températures et précipitations en Afrique



(Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC/IPCC) 2014b)

Figure 17- Types de données climatiques disponibles

Sources (exemples)	Types de données
<p>Direction général de la météorologie (DGM)</p> <p>http://meteomadagascar.mg/maproom</p>	<p>Outil Maproom Météo Malagasy : collection de cartes et de figures sur le climat et ses impacts sur les secteurs de l’agriculture, de l’eau et de la santé. Les données sont disponibles pour un grand nombre de villes.</p> <p>Exemples de données historiques disponibles :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Températures et précipitations moyennes ▪ Températures extrêmes ▪ Précipitations <p>Les scénarios de projections (maille ~30km²) seront disponibles prochainement</p>
<p>Climate Analytics</p> <p>https://climateanalytics.org/tools/</p>	<p>Ce site propose plusieurs outils de projections climatiques en ligne, accessibles à des non expert-e-s.</p> <p>RegioClim, par exemple, se base sur cinq indicateurs climatiques : température, extrêmes chauds, précipitations, extrêmes humides et extrêmes humides sur 5 jours.</p> <div data-bbox="699 840 1412 1214" data-label="Figure"> </div> <p>Le site propose une plateforme collaborative (Isipedia) permettant aux non spécialistes et aux expert.e.s du projet <i>Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (ISIMIP)</i> de co-produire des informations sur les impacts climatiques par secteur (agriculture, eau, santé, etc.).</p>
<p>Banque mondiale</p> <p>Climate Change Knowledge Portal (CCKP)</p> <p>https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/madagascar</p>	<p>Portail développé par la Banque mondiale avec des données climatiques historiques et futures</p> <p>Variables précipitations et températures (pour les données historiques)</p> <p>Variables précipitations, températures, agriculture, sécheresse, énergie, santé (pour les projections, par horizon temporel et scénario RCP)</p> <div data-bbox="699 1534 1228 1809" data-label="Form"> </div>
<p>GIEC</p> <p>https://www.ipcc.ch/</p>	<p>Scénarios climatiques à l’échelle globale et régionale (Afrique)</p>

Sources (exemples)	Types de données
<p>Africlim</p> <p>https://webfiles.york.ac.uk/KITE/AfriClim/ByCountry/Madagascar/</p>	<p>Base de données géospatiales avec des projections climatiques disponibles pour Madagascar (couches SIG pour les scénarios RCP 4.5 et 8.5)</p> 
<p>Rimes Climate Data Access and Analysis System (CDAAS)</p> <p>http://cdaas.rimes.int/</p>	<p>Développé par <i>Regional Integrated Multi-hazard Early-warning System (RIMES)</i> », le site CDAAS présente des projections du changement climatique. Madagascar peut actuellement voir des projections jusqu'en 2080 à travers ce site grâce à la collaboration entre DGM et le centre de recherche RIMES dans le cadre du Programme PPCR de la CPGU.</p>
<p>Climate Information Portal (CIP)</p> <p>Climate System Analysis Group</p> <p>http://cip.csag.uct.ac.za/webclient2/app/ http://cip.csag.uct.ac.za/webclient2/app/</p>	<p>Plateforme d'information sur le climat (anciennement connue sous le nom de Portail d'information sur le climat - PIC) du Groupe de recherche de l'Université du Cap (Afrique du Sud), qui couvre les pays d'Afrique et de l'Océan indien.</p> <p>Il s'agit d'un ensemble fusionné de stations provenant du Réseau mondial de climatologie historique (GHCN), de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et des services météorologiques des pays.</p> <p>Variables primaires : précipitations, températures min/max</p> <p>Séries chronologiques observées, projections basées sur les modèles CMIP5 pour RCP 4.5 et RCP 8.5</p> 
<p>CycloneXtrême</p> <p>http://www.cyclonextreme.com/cyclonemonde.htm</p>	<p>Données sur les tempêtes et l'activité cyclonique passée (depuis 2003) et en cours dans le monde, y compris dans le sud-ouest de l'Océan indien</p> <p>Images satellites</p>
<p>Surging Seas Climate Central</p> <p>http://Sealevel.climatecentral.org</p>	<p>Projection géospatiale des risques de submersion dans le monde selon différentes projections d'augmentation du niveau de la mer (couches issues de système d'information géographique (SIG) et cartes)</p>

Sources (exemples)	Types de données
Météo France	Météo-France prévoit sur la période 2018-2020 de réaliser des simulations climatiques régionales dans l’Océan indien, y compris sur Madagascar, à partir du modèle numérique ALADIN ¹ . Ce modèle, d’une résolution de 12 km, permet de préciser des tendances climatiques de grande échelle sur des territoires de petite taille et à fort relief. Les résultats pour l’Ile Maurice et la Réunion sont disponibles et illustrent le type d’information que le modèle permet d’obtenir.
GeoNode http://www.resiliencemada.gov.mg/	GeoNode est une plateforme de données géospatiales en accès libre. Facile à utiliser, elle permet aux utilisateurs non-spécialistes de partager des données et de créer des cartes interactives. La DGM contribue à ce projet.
Habitant·e·s et secteur privé	« Mémoire collective » des évènements passés et observation des tendances sur plusieurs années ou décennies

¹ Le modèle **Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational** (ALADIN) a été développé par de nombreux météorologues européens depuis les années 1990.

2.3. « Descendre d'échelle » pour comprendre les enjeux spécifiques aux villes

Les données climatiques et les projections locales, spécifiques à une ville donnée, apportent des informations précises qui viennent enrichir la construction des projets de territoire. La difficulté que pose l'accès aux données locales peut être surmontée et ne doit pas être considérée comme un fait bloquant et dissuasif. Plusieurs situations peuvent se présenter :

- **Les données locales existent :**

- Elles ont déjà fait l'objet d'un traitement par des expert·e·s : les rapports disponibles viennent directement alimenter la réflexion sur les transformations à apporter aux aménagements et à la trame urbaine ;
- Elles sont en format brut et doivent être traitées et interprétées pour être intégrées au diagnostic : les municipalités qui ne disposent des capacités internes nécessaires pour manipuler ce type de données, feront appel à des expert·e·s (universitaires par exemple) qui traduiront ces données brutes en conclusions compréhensibles par des non-spécialistes.

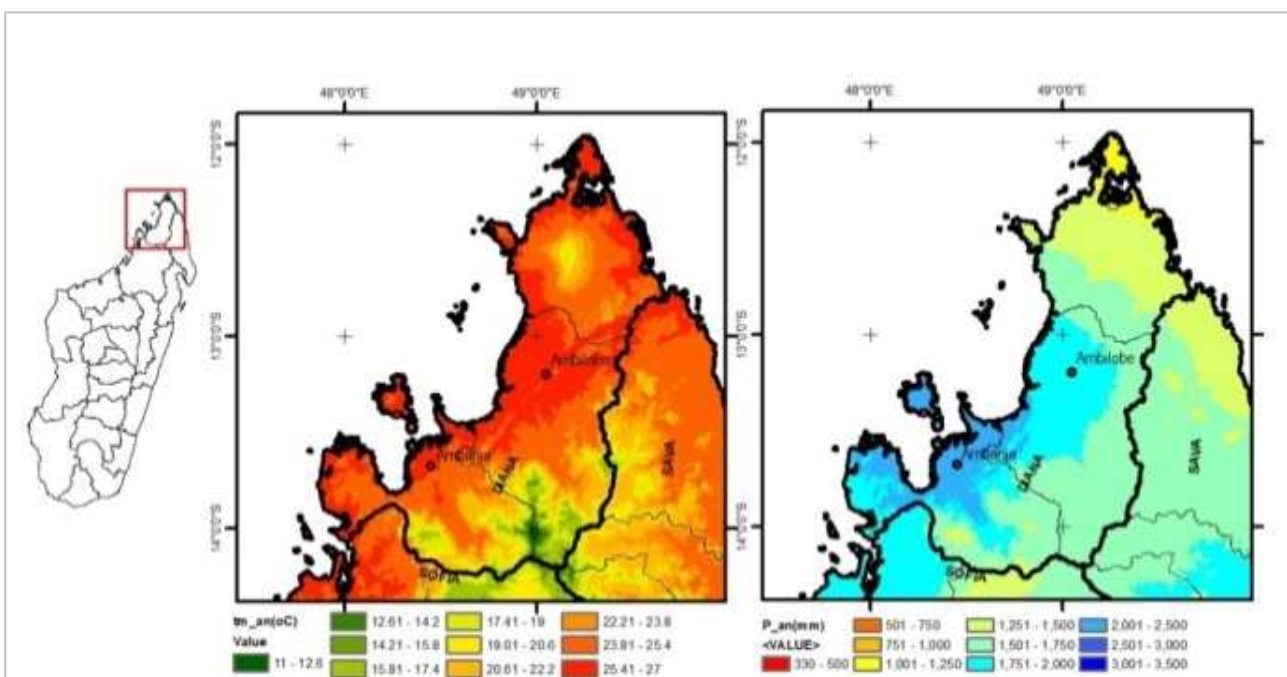
- Plusieurs solutions sont envisageables lorsque **les données locales n'existent pas** :

Les modèles globaux (100 à 300 km de résolution) et régionaux (10 à 50 km de résolution) peuvent être exploités pour obtenir des projections climatiques détaillées pour des zones géographiques à petite échelle. Pour étudier les impacts du changement climatique sur les villes, il faudra « descendre d'échelle » (voir Figure 20).

Les principales sources d'information sont indiquées en Figure 17. Toutes ces données sont susceptibles d'évoluer au cours du temps ; la DGM est le contact de référence pour identifier les sources de données les plus pertinentes.

Le diagramme suivant (Figure 18) illustre la façon dont les données locales peuvent être exploitées et représentées. La « descente d'échelle » a permis de modéliser les températures et précipitations de la ville d'Antsiranana, ainsi que leur projection pour chacun des quatre scénarios RCP du GIEC.

Figure 18- Evolution et projections climatique pour la ville d'Antsiranana





Source : (Platts, Omeny, et Marchant 2015)

- Il n'est pas toujours nécessaire d'avoir des scénarios extrêmement précis pour comprendre les défis de chaque ville face aux changements climatiques : certaines données au niveau régional peuvent suffire pour initier la réflexion (voir Figure 19).

Figure 19- Les projections climatiques de haute résolution sont-elles indispensables pour la planification urbaine ?

Il est commun de croire qu'une résolution élevée (c'est-à-dire des cartes avec beaucoup de détails, à une petite échelle) apporte de manière infaillible des informations précises, justes et utiles. Malheureusement, « donnée » n'est pas synonyme d'« information » et l'acquisition de données à haute résolution ne se traduit pas nécessairement par une somme d'informations exploitables et de qualité.

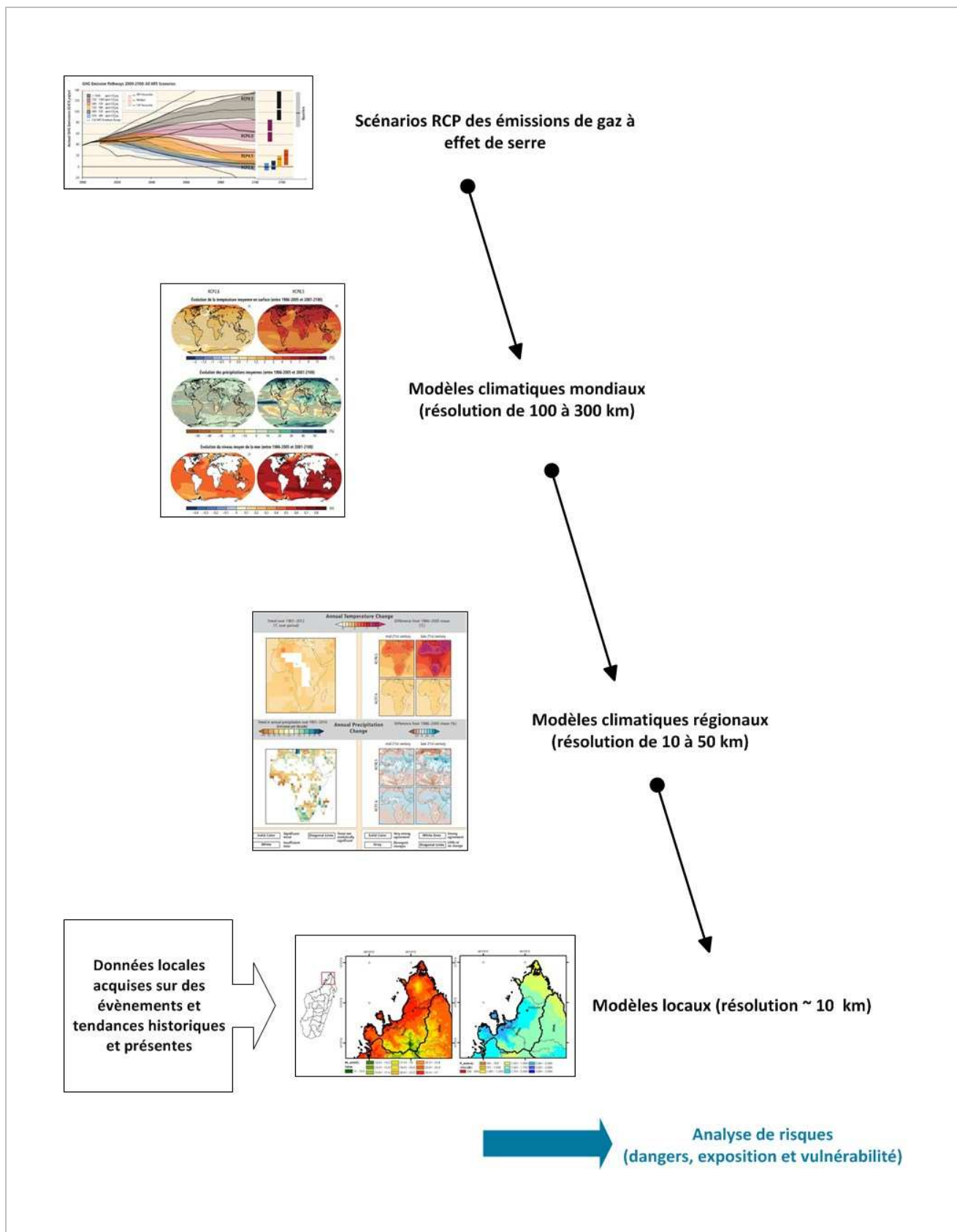
Bien que les modèles climatiques globaux (MCG) à haute résolution et les méthodes de « descente d'échelle » fournissent des données intéressantes, par exemple sur les régions de topographie complexe, ils ne sont pas toujours efficaces pour étayer les conclusions sur les changements climatiques dans les villes. Leur efficacité dépend entre autres de la façon dont les données de haute résolution sont obtenues.

Le fait d'ajouter des données issues d'observations locales à des modèles régionaux ou globaux améliore la résolution spatiale mais n'apporte pas de nouvelles informations sur les changements climatiques. Ces données s'avèrent cependant utiles pour modéliser des impacts qui nécessitent une échelle spécifique (modélisation hydrologique à l'échelle d'un bassin versant par exemple). Il faut par ailleurs prendre en considération le fait que ces méthodes de descente d'échelle ajoutent une couche d'incertitude et d'erreurs potentielles. Les modèles globaux ou régionaux couvrent toute une gamme d'impacts des changements climatiques qui pourraient être écartés par les modélisations locales.

Dans un contexte de forte incertitude, il vaut souvent mieux considérer l'ensemble des impacts possibles, les modèles régionaux étant dans ce cas plus instructifs que des modèles à haute résolution spatiale. Pour conclure, aucun ensemble de données n'est meilleur qu'un autre ; c'est la compilation et l'intégration de données issues de sources multiples qui permettent d'acquérir une solide compréhension des changements climatiques et de leurs effets.

Source : traduit et adapté du rapport du GIEC sur les aspects régionaux (2014)

Figure 20- « Descendre d'échelle » pour comprendre les effets locaux des changements climatiques



Sources : élaboré par Artelia, inspiré de (GIZ 2010)

Questions à se poser

Les sources – Comment juger de la crédibilité des sources sans être un-e expert-e climatique ou scientifique ?

1. Les auteurs des données sont-ils clairement identifiés, officiels (Direction générale de la météorologie, DGM) ou reconnus (GIEC) ?
2. Les données utilisées sont-elles les plus actuelles disponibles (la science du changement climatique évolue rapidement) ?
3. Quels sont les biais potentiels des données ? Qui a financé la recherche ? Quel est l'objectif de la publication ? Peut-il y avoir des conflits d'intérêt ?
4. Comment l'incertitude est-elle traitée ?
5. Les conclusions sont-elles soutenues par plusieurs auteurs (comme les rapports du GIEC) ?

Les données – Quelles données collecter et comment les lire ?

6. Quelles sont les tendances observées (augmentation générale des températures, baisse générale de la pluviométrie, saison sèche plus longue, etc.) ou projetées (horizon de une à plusieurs décennies) ? Comment s'exprime la variabilité interannuelle ?
7. Quelles sont les valeurs extrêmes observées et projetées (plus hautes températures, pluviométrie plus importante ou plus faible, etc.) ?
8. Quelle est la périodicité prévue des événements extrêmes ?
9. Comment les paramètres climatiques évoluent-ils d'une année sur l'autre (différence entre les températures/ la pluviométrie les plus hautes et les plus basses d'une année sur l'autre) ?
10. Les changements observés se confirment-ils d'une année sur l'autre ?
11. Les données disponibles couvrent-elles tous les paramètres climatiques permettant de décrire les tendances climatiques ?
12. Le maillage (par exemple 12 km², 30 km², 100 km²) des données disponibles correspond-il aux besoins de la planification ?

Les projections – Comment les interpréter ?

13. L'horizon des projections utilisées est-il pertinent par rapport à l'horizon de la planification ? Et vice et versa, l'horizon de la planification est-il pertinent par rapport aux impacts des tendances climatiques et aux réponses d'adaptation nécessaires ?
14. Dans quelle mesure les projections montrent-elles des changements par rapport au présent et au passé ?
15. Quelles sont les projections extrêmes (plus hautes/plus basses températures, plus haute/plus basse pluviométrie) ?
16. Quels sont les impacts des tendances climatiques (températures, précipitations, événements extrêmes et niveau de la mer) sur la planification ? Quels sont les aléas à prendre en compte dans la planification urbaine ?
17. L'échelle des projections disponibles permet-elle de dresser des conclusions à l'échelle de la ville et des zones sensibles (zones inondables par exemple) ?
18. Quel est le degré de certitude ou niveau de confiance (peu probable, probable, extrêmement probable) des projections employées ?

Points de vigilance

1. Ne pas réaliser un inventaire de données non nécessaires, difficilement mémorisables et non exploitables pour la planification.



Pour aller plus loin...

Commentaires

PNUD (2011)

Formuler des scénarios climatiques pour éclairer les stratégies de développement résilient au climat. Guide à l'intention des praticiens

<https://www.undp.org/content/dam/undp/library/Environment%20and%20Energy/Climate%20Strategies/French/Formulating-French-web%20final.pdf>

Ce guide s'adresse aux gestionnaires de projet et aux décideurs qui travaillent avec une équipe d'expert-e-s scientifiques et techniques et cherchent à comprendre comment gérer l'élaboration de scénarios climatiques pour leur territoire.

Site web Réseau Action Climat - France

<https://leclimatchange.fr>

Ce site, porté par Réseau Action Climat - France, offre une synthèse claire et pédagogique des principales informations traitées dans les rapports du GIEC. Les 20 questions-réponses sur les idées reçues sur les changements climatiques, dont une sélection est présentée dans ce guide en annexe, sont issues de ce site.

Using Climate Data - 427 Technical Brief 2018

<https://www.adaptationclearinghouse.org/resources/using-climate-data-427-technical-brief.html>

Ce site et le rapport associé (en anglais) donnent des clés de lecture des informations climatiques, avec des conseils pratiques pour interpréter et évaluer les données. Il aborde tout un ensemble de sujets particulièrement utiles pour l'utilisation de données climatiques : modèles, format des données, indices, horizons temporels et projections, incertitude et sources d'informations.

GIEC (2015)

Changements climatiques 2014. Rapport de synthèse : contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>

Synthèse des travaux du cinquième cycle d'évaluation du GIEC, seul document disponible en français. Ce rapport constate que l'influence des activités humaines sur le système climatique est manifeste et de plus en plus forte, sur tous les continents et dans tous les océans. Il présente les options possibles pour circonscrire les changements climatiques observés ou projetés et insiste sur la nécessité d'agir d'urgence pour faire face à ces défis.



Pour aller plus loin...

Commentaires

GIEC (2014)

Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. **Part A : Global and Sectoral Aspects.** Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Chapter 8, « Urban Areas », pp 535-612

Chapter 12, « Human Settlements, Infrastructure, and Spatial Planning »

<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2>

Rapport scientifique sur les impacts, l'adaptation et la vulnérabilité, à partir d'une approche sectorielle ou thématique (ressources en eau, systèmes côtiers, sécurité alimentaire, zones rurales et urbaines, activités économiques, etc.). Le chapitre 8 explore la dimension urbaine du changement climatique : variations des températures, sécheresse et pénurie d'eau, inondations et érosion côtière et épidémiologie en milieu urbain sont quelques-uns des sujets traités. Une section est dédiée à l'adaptation des villes, avec des exemples par secteur (logement, eau, énergie, transport, etc.). Le chapitre 8 aborde les enjeux du changement climatique pour la planification spatiale.

GIEC (2014)

Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. **Part B : Regional Aspects.** Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Chapter 22, « Africa », pp 1199-1266

<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>

Cette deuxième partie du rapport du GIEC sur les impacts, l'adaptation et la vulnérabilité adopte une approche régionale qui permet de cerner les enjeux spécifiques au continent africain (y compris Madagascar). Il apporte un éclairage scientifique sur l'évolution de climat et ses projections, sur les facteurs de vulnérabilité caractéristiques de la région et sur les options d'adaptation possibles dans ce contexte.

3. Déterminer la vulnérabilité

« La nature et la gravité des incidences du changement climatique et des phénomènes extrêmes découlent de risques qui ne tiennent pas seulement aux dangers d'ordre climatique, mais aussi à l'exposition (populations et biens menacés) et à la vulnérabilité (fragilité) des systèmes humains et naturels » (GIEC/IPCC 2015).



Selon la classification de l'Indice mondial des risques climatiques (IRC) en 2019, Madagascar est le 7^{ème} pays le plus exposé et le plus vulnérable au changement climatique, et notamment aux événements météorologiques extrêmes comme les cyclones, les sécheresses et les

précipitations intenses et prolongées. L'index de vulnérabilité au changement climatique, élaboré par l'université de Notre-Dame ((University of Notre Dame s. d.), classe également Madagascar parmi les pays les plus à risques.

Source : (Centre européen de prévention du risque inondation (CEPRI) 2019)

La première étape de l'adaptation aux actuels ou futurs changements climatiques consiste à réduire la vulnérabilité et l'exposition des villes malagasy aux risques identifiés.

3.1. Observer l'exposition



Résultat attendu : carte d'exposition

Rappel de définition : l'exposition fait référence à la présence de personnes, de moyens de subsistance, d'espèces ou d'écosystèmes, de fonctions, ressources ou services environnementaux, d'éléments d'infrastructure ou de biens économiques, sociaux ou culturels dans un lieu ou dans un contexte susceptibles de subir des dommages (générés par un événement naturel ou anthropique).

Cette étape consiste à **inventorier** les fonctions, services, infrastructures et populations situés dans les zones à risques – exposés ou potentiellement affectés par les dangers identifiés. L'exposition prend en compte les expériences d'événements passés, les observations des tendances actuelles et les scénarios de projections climatiques. Elle peut être quantifiée (nombre d'habitant-e-s et de bâtiments en zone inondable par exemple), décrite de manière qualitative (degré d'exposition) et/ou représentée de manière cartographique. Les données d'entrée doivent, *a minima*, considérer ces éléments déterminants pour l'occupation des sols :

- Population : densité
- Bâti : densité du tissu urbain, zones résidentielles, quartiers précaires, etc.
- Equipements urbains de base : hôpitaux et centres de santé, centre de police, casernes de pompiers, centres d'évacuation d'urgence, écoles et universités, etc.
- Autres équipements urbains : édifices religieux, patrimoine culturel, équipements sportifs et récréatifs, etc.
- Activités industrielles ou commerciales : entrepôts, usines, centrales électriques, zones portuaires, etc.
- Voirie : routes et pistes d'accès
- Zones d'agriculture urbaine
- Espaces végétalisés

- Espaces non affectés.

Les images satellites, facilement accessibles en ligne (sur GoogleEarth par exemple), donnent des informations spatiales directement exploitables pour un niveau d'analyse primaire. Les expertises locales et les observations de terrain viendront compléter et préciser les informations.

Figure 21- Images satellite de Tolagnaro (GoogleEarth)



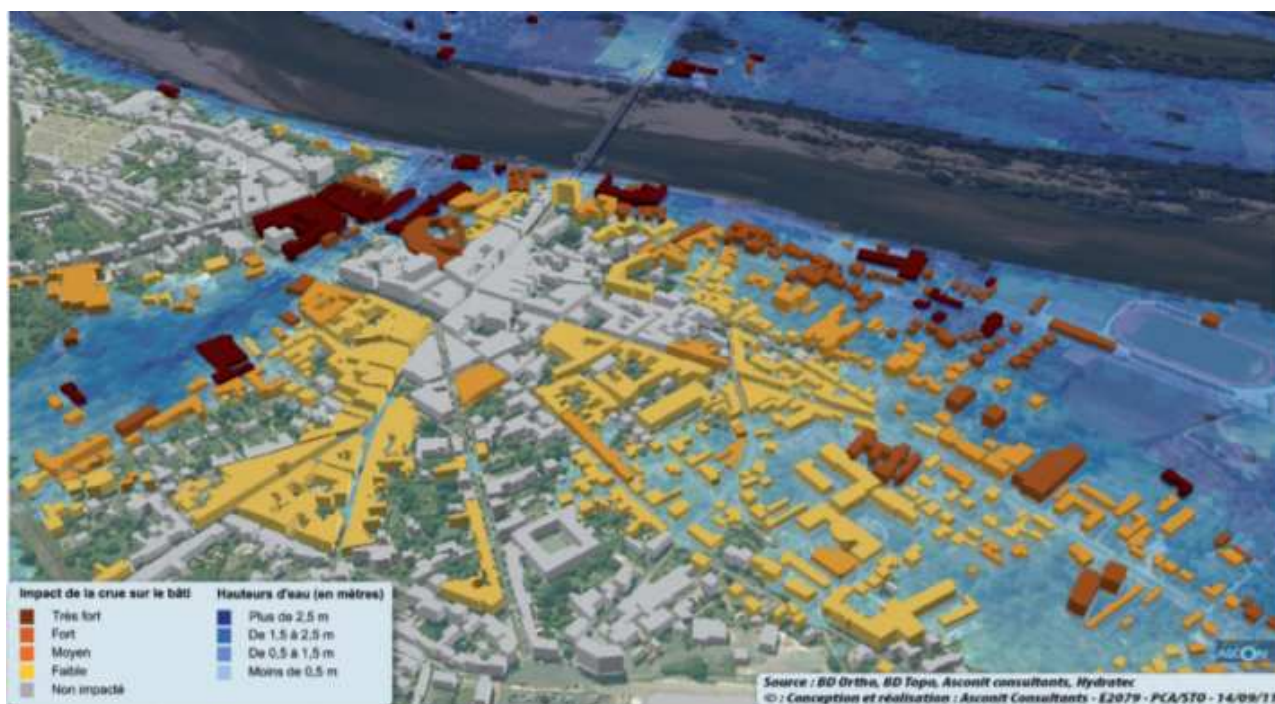
Les diagnostics réalisés dans le cadre des PUDi ou documents d'urbanisme inventorient et décrivent les modes d'occupation des sols, les infrastructures critiques et les zones de peuplement. Ils constituent un socle d'informations pertinent pour analyser l'exposition. Lorsque les moyens techniques et financiers le permettent, le diagnostic peut être complété par des informations géolocalisées.

Optionnel

La géolocalisation des différents éléments exposés et la constitution d'une base de données dans un système d'information géographique (SIG) permet de manipuler et d'exploiter facilement les informations. Ces bases de données offrent des avantages considérables pour la planification actuelle et pour les exercices futurs :

- Saisie des données, avec possibilités d'intégrer de nouvelles données en continu, ce qui est particulièrement intéressant pour un sujet comme le changement climatique, en constante évolution
- Stockage et centralisation des données
- Adaptabilité : possibilité de faire évoluer la base de données en fonction des besoins
- Intégration de données issues de plusieurs sources (exploitation de données existantes, opportunité de collecte de données participative – voir Figure 23).
- Analyse statistique et croisement de données (nombre de routes submergées en cas d'inondation par exemple)
- Modélisation et visualisation des données géolocalisées, avec des vues d'ensemble particulièrement efficaces pour réfléchir aux enjeux de planification
- Facilité d'accès et partage de données (en interne, avec les partenaires comme les gestionnaires de réseaux et avec le public).

Figure 22- Exemple de cartographie de l'exposition au risque inondation



Source : Asconit Consultants

Nombre de données existent déjà (en plus de celles acquises pour les PUDi ou plans communaux) et sont disponibles en libre accès (voir Figure 24). Les bailleurs internationaux et organisations non gouvernementales (ONG) peuvent mettre à disposition une large gamme de « couches » (SIG) d'informations (bâtiments, infrastructures, routes, etc.) qui peuvent être exploitées pour l'analyse de l'exposition (et de vulnérabilité, voir section 0). Les données peuvent être complétées en associant les universités, les services techniques des villes, les opérateurs de réseaux, le secteur privé et les résident-e-s.

Il est aussi indispensable de prendre en compte la croissance démographique et l'évolution rapides des espaces urbains, par l'intermédiaire de projections statistiques et spatiales. Les dernières données démographiques officielles datent du Recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) de 1993 ; depuis, la population nationale a plus que doublé, avec des taux de croissance démographique urbaine particulièrement élevés. Les résultats du dernier recensement (RGPH3) seront publiés en 2020.

Figure 23- Bonnes pratiques : la collecte de données participative à Kathmandu (Népal)

Le Gouvernement népalais a travaillé en partenariat avec l'organisation GFDRR (Banque mondiale) sur un projet de collecte de données participatives (Open Data for Resilience (OpenDRI) Initiative) relatives à l'exposition des infrastructures scolaires et de santé aux séismes dans la vallée de Katmandou. Des étudiants et des bénévoles des communautés affectées ont procédé à la numérisation des données et à la création d'une carte d'exposition de la vallée en utilisant Open Street Map (www.openstreetmap.org). La Société nationale népalaise de technologie parasismique (NSET) a fourni un appui technique pour former les bénévoles. Les départements de géomatique et d'ingénierie de l'Université de Katmandou et de l'Université de Tribhuvan ont également contribué au projet en apportant des conseils techniques et en assurant le contrôle qualité des cartes réalisées.

Le ministère de l'Éducation a fourni la liste des écoles, ce qui a constitué le point de départ de la collecte de données sur le terrain. La localisation de ces écoles, en particulier des écoles privées, n'a pas toujours été une tâche facile. Les cartographes bénévoles et enquêteurs ont utilisé une approche « boule de neige » pour se renseigner et obtenir les informations nécessaires auprès des enseignants, des associations de parents d'élèves et d'autres associations locales. Pour les infrastructures de santé, l'équipe a croisé les données issues de plusieurs sources (Ministère de la santé, organisations humanitaires, etc.) pour identifier les hôpitaux, centres de santé et cliniques potentiellement exposées.

Des enquêtes ont été menées pour recueillir des informations détaillées sur l'architecture et les matériaux de construction utilisés pour plus de 2 256 écoles et 350 établissements de santé. En plus de recueillir une liste complète de données physiques sur ces établissements, l'équipe a pris les coordonnées géographiques (SIG) des bâtiments (avec leur surface), cartographié le réseau routier et collecté des informations sur d'autres points d'intérêt. L'équipe du projet Open Cities a également mené des activités de sensibilisation pour les universités, les organisations locales et les agences gouvernementales concernées. Ces activités de sensibilisation et de communication ont permis de renforcer et d'élargir le programme Nepal Open Street Map. Plus de 2 300 personnes ont participé à des formations sur les cartes en open data. La plateforme Open Street Map s'est ensuite développée pour couvrir et recueillir des informations sur l'exposition dans les zones résidentielles privées dans quelques quartiers de la municipalité de Katmandou. Les données ont été utilisées pour planifier la réhabilitation des bâtiments affectés par les tremblements de terre d'avril et mai 2015, et pour effectuer les travaux nécessaires pour réduire la vulnérabilité à de futurs événements.

Avec le développement des smartphones, il est aujourd'hui possible d'associer les habitant·e·s à la collecte de données sur les biens exposés. Les municipalités malagasy peuvent faire appel à leurs habitant·e·s pour alimenter les bases de données géoréférencées.

Sources : Banque mondiale (2014), Open Cities, cité dans le guide de la Banque asiatique de développement (2016)

Figure 24- Types et sources de données possibles pour analyser l'exposition

Sources	Types de données	Utilisations possibles et commentaires
Etudes existantes (notamment les documents d'urbanisme comme les PUDI)	Exposition des éléments physiques et des populations à l'échelle de la ville, de zones spécifiques ou de certains quartiers	La mise à jour des données est nécessaire si les études ont plus de deux ans (croissance démographique et évolution rapides des espaces urbains)
Google Earth	Photographies aériennes et images satellite	Les images historiques et actuelles permettent d'observer l'état et l'évolution de la physionomie urbaine (densité du bâti, étalement urbain), mais aussi de certains phénomènes comme le recul du trait de côte ou l'érosion côtière
Exemples de sites web https://data.humdata.org/group/mdg https://energydata.info/dataset/madagascar-high-resolution-settlement-layer-2015 https://datacatalog.worldbank.org/search?search_api_views_fulltext_op=AND&query=madagascar&nid=&sort_by=search_api_relevance&sort_order=DESC http://www.resiliencemada.gov.mg/layers/geonode:ASTER_GDEM_tiled (Modèle numérique de terrain)	Données statistiques et couches d'informations géolocalisées (SIG) couvrant une large gamme de sujets (relief, population, infrastructures, bâti, sécurité alimentaire, hydrologie, migration, santé, etc.)	Ces informations permettent d'initier ou de compléter des bases de données SIG, dans le but de générer des statistiques ou cartes d'exposition (et de vulnérabilité).
Enquêtes ménages (questionnaires)	Nombre de personnes par ménage Types de logement	En l'absence de recensement récent de la population, des enquêtes ménages réalisées sur base d'échantillonnages aléatoires ou représentatifs (en fonction des besoins) peuvent donner des indications statistiques sur les populations exposées (les informations collectées peuvent aussi alimenter l'analyse de vulnérabilité)
Observations de terrain	Types de bâtiments exposés Constructions récentes Zones d'habitations précaires ou quartiers informels	Les observations de terrain complètent les informations issues de sources secondaires et permettent par exemple d'affiner la typologie des bâtiments exposés (ces informations peuvent aussi alimenter l'analyse de vulnérabilité)
Entretiens ciblés	Infrastructures et populations exposées	Les gestionnaires de réseaux peuvent disposer d'informations précises et actualisées

3.2. Caractériser la vulnérabilité

Résultat attendu : profil de vulnérabilité des villes

Rappel de définition : la vulnérabilité est la propension ou prédisposition à subir des dommages. Elle englobe divers concepts ou éléments, notamment les notions de sensibilité ou de fragilité et l'incapacité de faire face et de s'adapter aux effets des changements climatiques.

Les différences de vulnérabilité et d'exposition d'une ville à une autre résultent d'une combinaison de facteurs, comprenant des facteurs non climatiques et d'inégalités sociales, économiques et culturelles.

Figure 25- Illustration de la différence entre exposition et vulnérabilité



(pS-Eau Programme Solidarité-Eau 2018)

Les données sur l'**exposition** au(x) danger(s) englobent :

- L'emplacement géographique de chaque élément exposé (localisation par rapport au danger);
- La présence humaine, la densité de population et le nombre de personnes exposées.

L'analyse de la **vulnérabilité** en milieu urbain est un exercice délicat qui peut s'avérer chronophage. La vulnérabilité est généralement décrite de manière qualitative, le plus souvent à partir de bases de données ou de sources d'informations existantes, complétées par des observations de terrain. Le degré d'analyse peut considérablement varier, en fonction des besoins, des capacités et des ressources disponibles de chaque ville.

Les diagnostics de vulnérabilité se fondent sur une distinction entre la vulnérabilité physique (bâti et infrastructures), la vulnérabilité humaine (socio-démographique, économique et culturelle) et la vulnérabilité organisationnelle (capacité de préparation et de gestion de crise). Le GIEC insiste sur l'importance de considérer à la fois la **sensibilité** (fragilité) et la **capacité des populations et territoires** à s'adapter.

Figure 26- Facteurs de vulnérabilité physique, humaine et organisationnelle

Type	Description
Physique	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Morphologie urbaine et topographie : extension des surfaces construites dans des zones exposées (pentes, zones côtières, bords de cours d'eau, plaines alluviales, couloirs montagneux) ▪ Conception des bâtiments : matériaux et techniques de construction, types d'habitat et d'infrastructures ▪ Réseaux de transport ▪ Système d'approvisionnement en eau ▪ Système de gestion du ruissellement urbain ▪ Perméabilité du sol
Humaine	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Densité de population et croissance démographique ▪ Composition de la population et inégalités sociales (âge, origine, niveau d'éducation, niveau de revenu) ▪ Dépendance des moyens de subsistance aux ressources potentiellement affectées ▪ Typologie socio-économique des quartiers ▪ Expériences et représentations des risques, niveau de préparation aux risques
Organisationnelle	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacité de prévention et de gestion de crise ▪ Accessibilité des centres de secours et itinéraires d'évacuation ▪ Moyens humains et financiers des municipalités ▪ Structure de gouvernance (capacité de coordination)

A titre d'exemple, quelques facteurs de **vulnérabilité physique** des constructions sont détaillés ci-dessous :

- **Croissance urbaine rapide** : une croissance rapide de la population urbaine entraîne une forte demande de logements et de services, poussant parfois les habitants à construire dans des zones à risques et dans des conditions précaires. La croissance démographique urbaine à Madagascar se traduit dans toutes les villes par le développement de quartiers précaires et informels, sur des terrains non viabilisés (et sans titres fonciers) et avec peu ou pas d'accès aux infrastructures et services de base. Les situations de pauvreté ou d'extrême pauvreté exacerbent les risques qui pèsent sur ces quartiers et populations vulnérables ;
- **Conditions géologiques ou géophysiques** : par exemple, l'inclinaison des pentes sur lesquels sont implantées des habitations ou infrastructures et le type de sol sur lequel elles sont construites (instabilité). Des villes comme Fianarantsoa, marquées par un relief particulièrement accidenté, sont représentatives de ce type de vulnérabilité : l'implantation des habitations dans les zones de forte pente exposent les habitant·e·s à de forts risques de glissements de terrain ;
- **Caractéristiques physiques des bâtiments** : hauteur des bâtiments, conception, matériaux de construction et proximité avec d'autres structures. Les habitations précaires sont souvent construites avec des matériaux traditionnels peu résistants aux événements intenses (fortes précipitations, rafales de vent), sur des fondations consolidées grâce à des solutions de fortune (pneus par exemple) ;
- **Type de bâtiments et d'infrastructures** : les catégories d'usages des bâtiments et infrastructures (résidentiel, commercial, industriel ou de service public) aident également à caractériser leur vulnérabilité.

La **vulnérabilité humaine** fait référence à un ensemble de facteurs socio-économiques et culturels :

- **Caractéristiques sociodémographiques de la population** : composition des ménages, densité de personnes par logement, etc.
- **Niveau de vie des populations urbaines** : les populations en situation de pauvreté ou d'extrême pauvreté sont particulièrement vulnérables aux effets des changements climatiques (moindre capacité à absorber les chocs). Plusieurs indices permettent de déterminer le niveau de vie des groupes cibles et la vulnérabilité associée : l'insécurité alimentaire, l'accès à l'eau et autres services de base (santé, éducation, transport, etc.), les conditions de logement, le niveau des revenus, etc. ;

- **Dépendances des moyens d'existence aux ressources naturelles** : les événements météorologiques extrêmes et l'évolution des tendances saisonnières affectent la production agricole et l'approvisionnement en nourriture des villes. Certains groupes vulnérables sont particulièrement affectés par l'augmentation des prix des denrées alimentaires consécutive aux épisodes de sécheresse ou de fortes pluies ;
- **Inégalités sociales** : les femmes peuvent subir des impacts différenciés des changements climatiques, en raison par exemple des rôles domestiques qui leur sont traditionnellement attribués ;
- **Niveau de sensibilisation aux risques** : si le niveau d'alphabétisation n'est pas le déterminant exclusif de la sensibilité aux risques, il y participe ;
- **La capacité d'adaptation** : les connaissances et la prise de conscience des risques liés aux changements climatiques, la disponibilité et l'accès aux techniques et technologies d'adaptation,

La **vulnérabilité organisationnelle** renvoie à la capacité des villes, de leurs institutions et de leur population à anticiper et gérer les effets des changements climatiques :

- **Manque de ressources** humaines et financière pour la planification, la mise en œuvre et le suivi des mesures d'adaptation ;
- **Manque de coordination** entre les secteurs et parties prenantes concernés ;
- **Capacité de prévention et de gestion** des catastrophes naturelles limitée.

L'**approche sectorielle** de la vulnérabilité (complémentaire au triptyque de vulnérabilité humaine, physique et organisationnelle) est particulièrement adaptée pour les besoins opérationnels de la planification. Elle consiste à brosser un tableau complet de la vulnérabilité par secteur de planification. Les fiches sectorielles annexées au présent guide apportent des recommandations détaillées et proposent des ressources ciblées pour chaque domaine de compétences des municipalités en matière d'aménagement territorial. Quelques exemples sont repris ci-dessous dans les secteurs du transport, de l'approvisionnement en eau potable, de l'assainissement et de la gestion des eaux pluviales.

- **Transport**

Le secteur des transports est une source majeure, et en forte croissance, d'émissions de gaz à effet de serre : les politiques d'atténuation dans ce domaine s'avèrent indispensables pour inverser la tendance, y compris en termes de planification spatiale et d'organisation des flux de déplacement. Les efforts dans ce secteur se concentrent ainsi davantage sur l'atténuation que sur l'adaptation. Cependant, le secteur des transports est également vulnérable aux incidences du changement climatique et requiert des politiques d'adaptation pour renforcer la résilience des infrastructures et services aux phénomènes météorologiques extrêmes.

La plupart des infrastructures de transport sont construites aujourd'hui pour une durée de 50 ans ou plus : il est donc indispensable d'intégrer les répercussions des futurs changements climatiques pour protéger les investissements à long terme. Les stratégies d'adaptation portent généralement sur la réparation et l'entretien des installations, la relocalisation pour éviter une menace, l'amélioration de la redondance des installations (construction d'une installation similaire ou amélioration des plans d'intervention d'urgence pour agir en cas de défaillance) et la reconstruction ou le renforcement avec application de normes de conception plus élevées pour protéger efficacement ou renforcer les infrastructures (routes submersibles par exemple).

Ces approches induisent une large fourchette de coûts et d'investissements et comportent diverses implications économiques, sociales et environnementales. Aucune approche ne couvre toutes les situations ou tous les scénarios : une bonne option d'adaptation tient compte à la fois du contexte propre au projet de transport et aux risques que les autorités et parties prenantes sont prêtes à accepter (Association mondiale de la route 2016). Par exemple, une route résiliente s'adapte aux conséquences des conditions météorologiques extrêmes et des effets locaux du changement climatique (inondations, vents violents et variations de températures).

- **Approvisionnement en eau**

Les changements climatiques ont des répercussions sur l'accessibilité et la continuité des services d'eau potable. Toutes les composantes – mobilisation de la ressource (par captage ou pompage), traitement, stockage et distribution – peuvent être affectées. Les principaux impacts sur la ressource en eau, et donc sur le service d'approvisionnement, sont les suivants :

- **impacts sur la consommation** : augmentation des besoins et des volumes prélevés en période de fortes chaleurs ou de sécheresse ;
- **impacts sur les infrastructures et équipements** : corrosion, fissuration, destruction, surutilisation pour répondre aux fortes demandes, baisse de la durée de vie des ouvrages ;
- **et impacts sur la qualité du service** : interruption du service, dégradation de la qualité de l'eau par pollution ou turbidité et inaccessibilité des points de distribution.

Les effets en cascade se traduisent par des risques sanitaires, économiques et environnementaux, avec des impacts encore plus marqués pour les populations vulnérables (enfants, personnes âgées, personnes ayant des problèmes de santé, les femmes responsables de l'approvisionnement en eau qui doivent parcourir de plus grandes distances, migrant-e-s et personnes en situation de pauvreté ou d'extrême pauvreté). Ces effets indirects prennent la forme, entre autres, d'une augmentation des risques de maladies – liée à la dégradation de la qualité du service et à l'utilisation de ressources alternatives de moindre qualité –, d'une multiplication des conflits d'usage (pénuries d'eau en période de sécheresse prolongée ou de vague de chaleur), de flux migratoires des espaces ruraux vers les espaces urbains et d'une exacerbation des situations de pauvreté.

La nature des risques et le degré de vulnérabilité du service doivent donc être considérés dès la conception des systèmes d'approvisionnement en eau.

- **Assainissement**

La croissance démographique urbaine rapide influe sur les consommations spécifiques en eau potable et donc la production d'eaux usées. L'ensemble de la filière d'assainissement peut être exposée et/ou vulnérable aux effets des changements climatiques. Comme pour les services d'eau potable, les services d'assainissement peuvent être directement et indirectement affectés, avec des caractéristiques d'exposition et de vulnérabilité qui doivent faire l'objet d'une analyse détaillée au moment du diagnostic urbain. Les impacts sont principalement de trois types :

- **impacts sur le fonctionnement du service** : dégradation des infrastructures, pannes par submersion, perturbation des processus de traitement ;
- **impacts sur l'environnement** : augmentation des rejets – débordements et écoulements des eaux usées sur la voie publique – rejets moins bien traités, dégradation de la qualité des ressources en eau, perturbation des écosystèmes et de la biodiversité ;
- **et impacts sanitaires et sociaux** : nuisances olfactives dues à l'augmentation des émissions de dioxyde d'azote, augmentation des risques d'empoisonnement, problèmes d'accès aux équipements sanitaires, augmentation des maladies d'origine hydrique, etc.).

- **Gestion des eaux pluviales**

L'urbanisation croissante induit une augmentation du taux d'imperméabilisation des sols (à des degrés divers, selon les scénarios de développement urbain appliqués, compacts ou d'étalement). La gestion des eaux pluviales revêt un enjeu sanitaire important lié aux risques de contact avec les eaux contaminées (contaminants sur les sols, inondations des infrastructures, infiltrations et saturation des réseaux), en particulier dans les espaces urbains non planifiés où la vulnérabilité est accrue. A Madagascar, la plupart des villes et des quartiers, ne disposent pas d'infrastructures de gestion des eaux pluviales appropriées, et lorsqu'elles existent, elles ne sont pas conçues pour faire face aux événements pluvieux extrêmes. L'augmentation et la multiplication d'événements météorologiques extrêmes dues au changement climatique rendent les villes plus vulnérables aux conséquences de l'absence d'assainissement ou de gestion des eaux pluviales.

Les impacts prévisibles sont les suivants :






- **impacts directs sur la gestion des eaux pluviales** : saturation des ouvrages non dimensionnés pour résister aux événements extrêmes ;
- **impacts indirects sur les services d'eau et d'assainissement** : submersion des équipements, débordements des réseaux d'eaux usées, etc.
- **impacts sur les habitations et les équipements publics, industriels et commerciaux** : dégradation, voire destruction des habitations, dommages sur les biens privés et publics, coupure des voies de communication et rupture de services en réseau (électricité, communication, etc.), perturbation ou interruption des activités économiques, etc.
- **et impacts sociaux et sanitaires** : déplacement de populations et accentuation des situations de pauvreté suite à la perte d'habitations, accidents et blessures dus aux inondations et éboulements et augmentation du risque de maladies d'origine hydrique, etc.

Service d'assainissement et gestion des eaux pluviales sont étroitement liés : en saison sèche, l'intrusion d'eaux usées dans le système d'évacuation pluvial crée d'importants problèmes en termes de nuisances olfactives et de salubrité (eaux contaminées, développement de vecteurs d'agents pathogènes, etc.). Durant la saison des pluies, les eaux pluviales se mélangent aux eaux usées et aux déchets solides, contaminant les zones inondées et le milieu naturel.

Les deux cadres suivants permettent de « croiser » chaque type d'occupation des sols (logement, bâtiments publics, agriculture urbaine, etc.) et chaque secteur (eau potable, transport, assainissement, etc.) avec les potentiels dangers identifiés dans les villes et leurs quartiers. Un troisième cadre d'analyse traite des problématiques spécifiques aux quartiers informels ou précaires.

Ces cadres peuvent être utilisés en atelier participatif, comme support d'exercice de *brainstorming* (possibilité de coller des *post-it* dans chaque case) ou en groupe de réflexion plus restreint, pour s'assurer que tous les enjeux liés au changement climatique sont couverts pour chaque domaine de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme à intégrer à la planification. Il ne s'agit pas de cadres exhaustifs mais d'exemples qui permettent de structurer l'analyse.

Figure 27- Exemple de cadre d'analyse sectoriel de la vulnérabilité urbaine

Climat	Augmentation des températures Fréquence accrue des vagues de chaleur	Fréquence accrue des épisodes de fortes précipitations (inondations / glissements de terrain)	Élévation du niveau de la mer (submersion marine et érosion littorale)	Augmentation de l'intensité de l'activité cyclonique	Fréquence accrue des épisodes de sécheresse
Secteurs					
Occupation des sols					
Bâtiments publics (santé, écoles, administration, etc.)	Confort thermique des bâtiments	Localisation et existence d'une protection	Localisation et existence d'une protection	Fragilité architecturale Houles extrêmes sur les zones côtières	Stabilité du bâtiment (fondations peu profondes) > risques de retrait /gonflement des sols
Logement	Confort thermique des bâtiments	Densité de population élevée dans des zones inondables Fragilité architecturale des habitations	Localisation et existence d'une protection	Fragilité architecturale des habitations	Stabilité du bâtiment (fondations peu profondes) > risques de retrait /gonflement des sols
Activités économiques (industrie, tertiaire)	Confort thermique des bâtiments	Gestion du ruissellement pluvial	Localisation et existence d'une protection	Fragilité architecturale	Certaines activités industrielles et commerciales particulièrement affectées par le manque d'eau
Agriculture urbaine	Gestion de la ressource en eau	Gestion du ruissellement pluvial	Localisation et existence d'une protection		Gestion de la ressource en eau
Espaces naturels en milieu urbain	Hausse des besoins en eau des zones végétalisées	Pollution de l'eau	Localisation et existence d'une protection		
Patrimoine historique et culturel		Fragilité architecturale (bâtiments anciens)	Localisation et existence d'une protection	Fragilité architecturale (bâtiments anciens)	






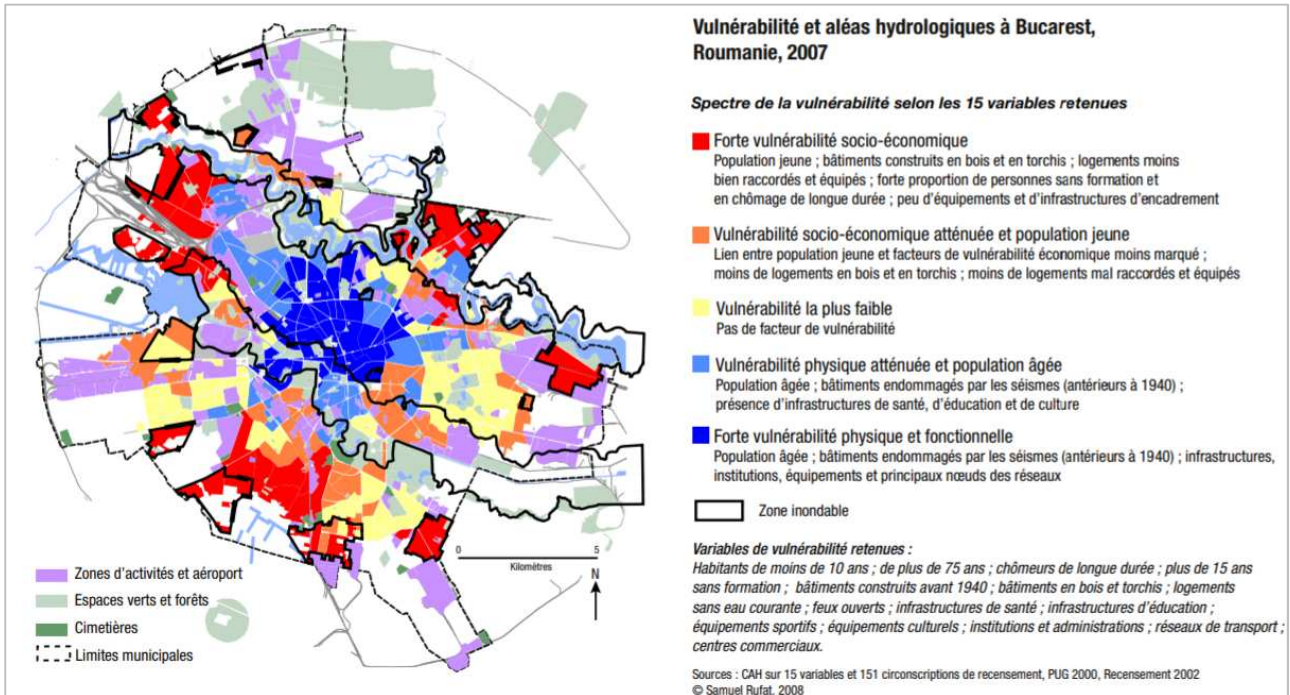
Climat	Augmentation des températures Fréquence accrue des vagues de chaleur	Fréquence accrue des épisodes de fortes précipitations (inondations / glissements de terrain)	Elévation du niveau de la mer (submersion marine et érosion littorale)	Augmentation de l'intensité de l'activité cyclonique	Fréquence accrue des épisodes de sécheresse
Secteurs					
Services de base					
Assainissement liquide	Hausse des charges contaminantes	Saturation des réseaux	Localisation et existence d'une protection		Réseau non-enterrés (problème d'écoulement) Retrait/gonflement des sols > impact sur les réseaux
Assainissement solide		Conception des installations non résistantes aux événements pluvieux extrêmes	Localisation et existence d'une protection		
Approvisionnement en eau	Accroissement de la demande		Intrusions salines Localisation des enjeux et existence d'une protection		Retrait/gonflement des sols > impact sur les réseaux Pénuries d'eau Multiplication des conflits d'usage
Transports	Aggravation de la pollution de l'air (atténuation nécessaire) Infrastructures non conçues pour résister aux variations de températures	Gestion du ruissellement pluvial	Localisation et existence d'une protection	Rupture d'exploitation du linéaire routier et réseaux connexes (électricité)	Perte de structure des remblais
Energie (électricité)	Arcs électriques Perte de rendement production / transport Hausse des appels de puissance	Inondation des postes de relais	Localisation et existence d'une protection	Perturbation du réseau de distribution : poteaux à terre	

Figure 28- Facteurs de vulnérabilité spécifiques aux quartiers informels

Paramètres climatiques	Impacts probables	Exemples de facteurs de vulnérabilité dans les quartiers informels
<p>Hausse des températures</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la mortalité et des maladies dues au stress thermique 	<ul style="list-style-type: none"> Densité de population par logement Nombre d'enfants en bas âge et de personnes âgées par ménage Etat de santé des populations (malnutrition, paludisme) Matériaux et types de constructions (toits en tôle, pas de ventilation) Difficile accès aux services de santé Représentation du risque (niveau de connaissance, fatalisme)
<p>Variabilité du régime des précipitations</p> <p>Augmentation pendant la saison des pluies</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Inondations Glissements de terrains Blessures et pertes en vie humaines 	<ul style="list-style-type: none"> Quartiers informels construits en zones à risques (pentes) Matériaux et types de constructions peu résistants Statut foncier des terrains occupés (illégalité, pas de titres) Faible capacité d'absorption des chocs (pas ou peu d'épargne, pas d'assurances, etc.) Représentation du risque (niveau de connaissance, fatalisme)
<p>Diminution pendant la saison sèche et allongement des périodes de sécheresse</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Pression sur la ressource en eau (quantité et qualité) Dégradation de la qualité des sols Risques d'incendies accrus Baisse des rendements agricoles et augmentation des prix agricoles Insécurité alimentaire 	<ul style="list-style-type: none"> Difficultés d'approvisionnement en eau Faibles niveaux de revenus (insécurité alimentaire) Faible capacité d'absorption des chocs (pas ou peu d'épargne, pas d'assurances, etc.) Moyens de subsistance dépendants des ressources naturelles Représentation du risque (niveau de connaissance, fatalisme)
<p>Elévation du niveau de la mer</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Erosion côtière Pertes de terrains Inondations et submersions marines Corrosion des ouvrages en béton armé 	<ul style="list-style-type: none"> Quartiers informels construits en zones à risques (littoral) Matériaux et types de constructions peu résistants Pas d'équipements /infrastructures de protection Statut foncier des terrains occupés (illégalité, pas de titres) Représentation du risque (niveau de connaissance, fatalisme)
<p>Intensification des cyclones</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Dommages et destructions de bâtiments, de réseaux (électricité, transport, eau, assainissement) 	<ul style="list-style-type: none"> Services informels d'approvisionnement en eau, de fourniture d'électricité, etc. Matériaux et types de constructions peu résistants Statut foncier des terrains occupés (illégalité, pas de titres) Faible capacité d'absorption des chocs (pas ou peu d'épargne, pas d'assurances, etc.)

L'étude de la vulnérabilité peut également reposer sur des cartes représentant les niveaux et/ou les types de vulnérabilité. Le degré de vulnérabilité est déterminé par l'évaluation combinée des différents facteurs énumérés plus haut (vulnérabilité physique, socio-économique et humaine). La Figure 29 donne un exemple de classification de la vulnérabilité. La visualisation directe à l'aide de la superposition des couches de dangers (inondations, glissements de terrain, etc.) et des facteurs de vulnérabilité permet d'obtenir une meilleure appréhension des risques locaux et de leur disparité spatiale.

Figure 29- Exemple de carte de vulnérabilité



Source : CNRS (2016)

Figure 30- Types et sources de données possibles pour caractériser la vulnérabilité

Sources	Types de données	Utilisation possible
Etudes existantes (et notamment les documents d'urbanisme comme les diagnostics des PUDi)	Caractéristiques socio-économique de la population Typologie des constructions Facteurs de vulnérabilité	Constituer un socle de connaissances de base sur la vulnérabilité des populations, bâtiments et infrastructures de la ville
Google Earth	Photographies aériennes et images satellite	Observer l'évolution du recul du trait de côte et de l'érosion côtière Déterminer la densité du bâti
Recensement général de la population (RPGH)	Données démographiques et socio-économiques	Description de l'exposition et de la vulnérabilité des populations ; les données datant du dernier RPGH (1993) doivent être actualisées avec les taux d'accroissement de population
Sites web comme celui du Bureau des Nations unies pour la réduction des risques (UNDRR) ou de Think Hazard	Statistiques, cartes de vulnérabilité et publications sur les risques identifiés à Madagascar https://www.unisdr.org/ http://thinkhazard.org/fr/	Compléments d'informations sur les risques et la vulnérabilité
Enquêtes ménages (questionnaires)	Nombre de personnes par ménage, composition du ménage, activité	En l'absence de recensement récent de la population, des enquêtes ménages réalisées sur base d'échantillonnage aléatoire peuvent donner des indications statistiques sur les populations exposées
Observations de terrain	Matériaux de construction et architecture des bâtiments	Compléter les informations bibliographiques
Entretiens ciblés avec des expert-e-s	Jugement d'expert-e-s sur l'importance et la priorité relative des critères de vulnérabilité, en fonction de chaque contexte local	Affiner l'analyse de vulnérabilité sur des points précis



GIEC (2012)

Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

Chapter 2. Determinants of Risk : Exposure and Vulnerability, pp 65-108

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX_Full_Report-1.pdf

Ce chapitre du GIEC reprend les définitions du risque et de ses composantes (danger, exposition et vulnérabilité)

GIZ (2017)

Guide de référence sur la vulnérabilité. Concept et lignes directrices pour la conduite d'analyses de vulnérabilité standardisées.

https://www.adaptationcommunity.net/?wpfb_dl=262

Ce guide sur la vulnérabilité propose une approche méthodologique pragmatique, fondée sur les concepts issus du cinquième rapport d'évaluation du GIEC. Les exemples qui illustrent ce guide sont tirés des enseignements de projets pilotes conduits en Bolivie, au Pakistan, au Burundi et au Mozambique.

Programme des Nations unies pour le développement (2010)

Mapping Climate Change, Vulnerability and Impact Scenarios. A Guide Book for Sub-National Planners.

https://www.adaptationcommunity.net/?wpfb_dl=58

Ce guide propose des méthodes et outils pour cartographier la vulnérabilité.

IUCN et PNUD (2009)

Training Manual on Gender and Climate Change

https://cmsdata.iucn.org/downloads/eng_version_web_final_1.pdf

Ce guide accompagne la réflexion sur les questions de vulnérabilité aux changements climatiques sous l'angle du genre. Il apporte notamment des recommandations sur l'analyse des risques différenciés pour les femmes et pour les hommes et est illustré par de nombreuses études de cas.

3.3. Evaluer les risques

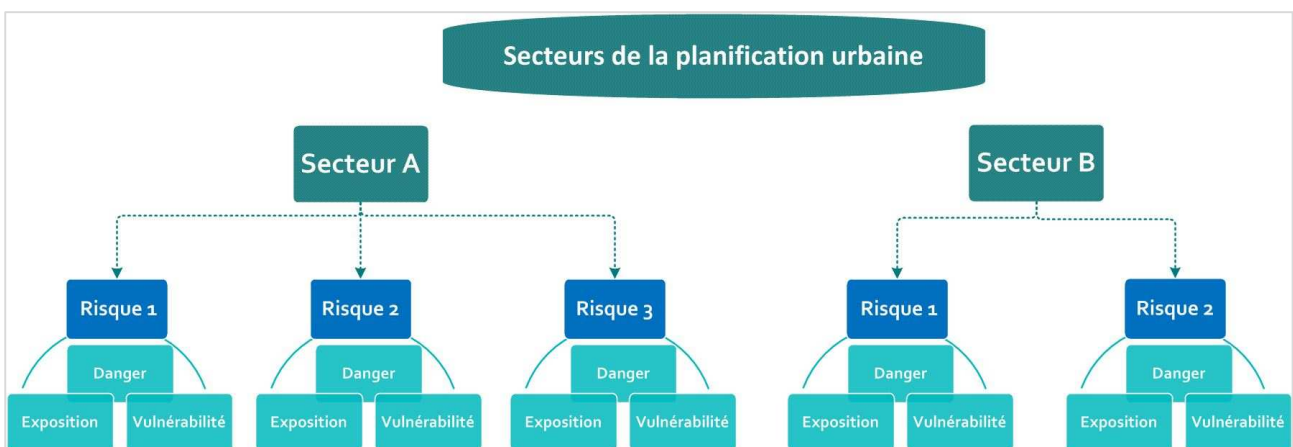
 Résultat attendu : carte des risques et arbre (ou narratif) des risques par secteur

Rappel de définition : le risque est l'ensemble des conséquences éventuelles et incertaines d'un évènement sur « quelque chose » ayant une valeur. Le risque désigne l'éventualité d'effets néfastes sur les personnes, les modes de subsistance, la santé, les écosystèmes, le patrimoine économique, social et culturel, les services et les infrastructures. Dans ce guide, suivant l'approche conceptuelle du GIEC, le risque résulte de l'exposition aux dangers et de la vulnérabilité des populations, infrastructures, services et fonctions de la ville.

L'évaluation des risques, telle que proposée par les derniers travaux du GIEC, résulte du croisement de l'analyse des dangers (phénomènes naturels ou induits par des activités humaines), de l'exposition et de la vulnérabilité (GIEC/IPCC) 2012b). Pour les besoins de la planification territoriale, elle peut être appréhendée sous une double perspective spatiale et sectorielle.

L'approche sectorielle, opérationnelle et pragmatique, offre une grille de lecture particulièrement utile pour établir des liens directs entre le diagnostic et la stratégie de développement urbain : elle ouvre la voie à la définition d'actions d'adaptation concrètes, avec les compétences à mobiliser et les responsabilités associées. Il s'agit d'identifier les risques pour chaque secteur (bâtiments publics, logement, eau, énergie, transport, etc.), tout en tenant compte des interactions et des effets de cascade. Les impacts sur un secteur (par exemple des dommages sur les réseaux électriques) peuvent avoir des conséquences immédiates ou différées sur d'autres secteurs (interruption de l'activité industrielle de la zone alimentée).

Figure 31- Approche sectorielle de l'évaluation des risques urbains

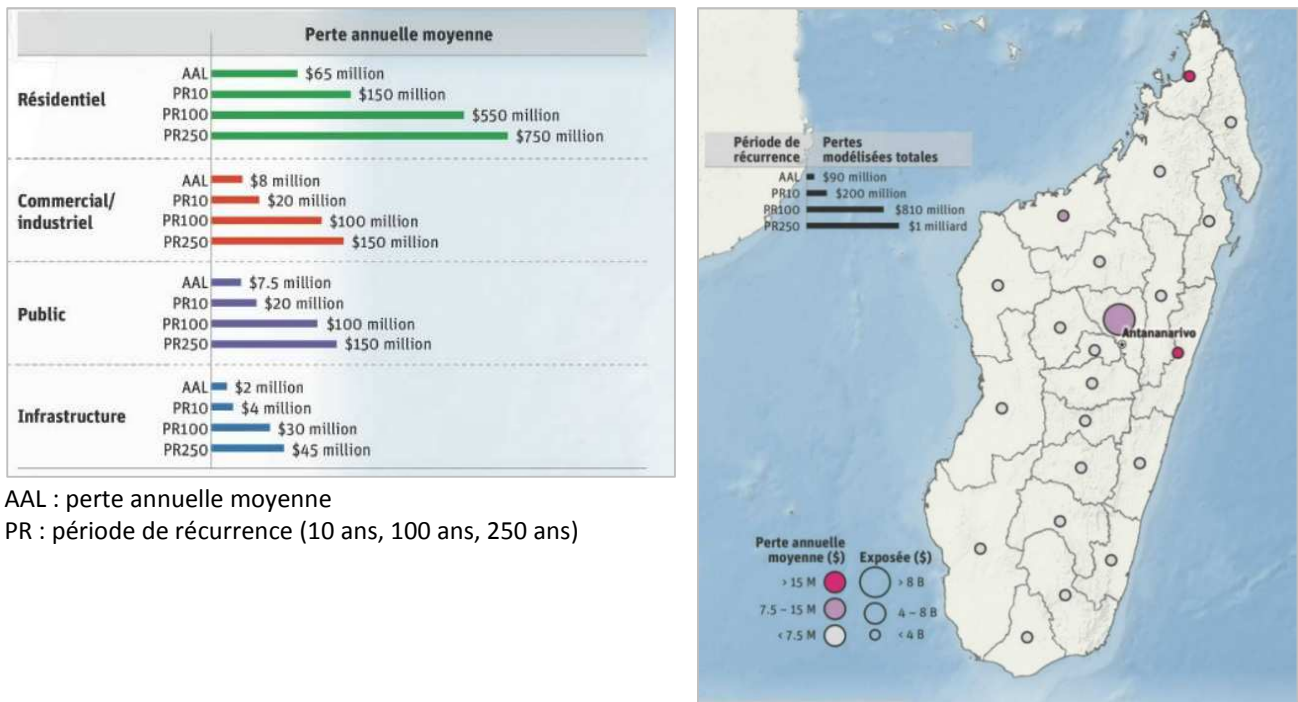


L'approche spatiale (carte des risques) permet de comprendre la relation risques – territoire urbain : zones sans risques identifiés, zones à risques faibles, moyens ou élevés. Les cartes de risques résultent d'un processus d'analyse itératif ou va-et-vient entre les analyses de dangers, d'exposition et de vulnérabilité. Elle permet d'ouvrir des pistes de réflexion pour le zonage (voir **section C**). Les systèmes d'information géographique (SIG) facilitent l'analyse spatiale en donnant la possibilité de superposer différentes couches d'informations (dangers, exposition, vulnérabilité sociale, économique, physique, etc.). D'autres outils (sans recours au SIG) permettent également de visualiser les risques, comme les cartes de représentation participative (ou collective) des risques.

L'évaluation des risques peut être abordée de manière quantitative ou qualitative :

- **L'approche quantitative** requiert des données statistiques précises sur la fréquence et l'intensité des dangers, ainsi que sur les populations, bâtiments et infrastructures exposés : les résultats sont exprimés en termes de probabilité ou de sévérité de dommages (pertes). A l'échelle nationale, les pertes directes annuelles moyennes dues aux cyclones tropicaux sont estimées à 87 millions de dollars, Toamasina étant la ville la plus exposées (20 millions de dollars de pertes annuelles).

Figure 32- Pertes annuelles moyennes pour les cyclones



AAL : perte annuelle moyenne
 PR : période de récurrence (10 ans, 100 ans, 250 ans)

(Groupe de la Banque mondiale, 2016)

- **L'approche qualitative** fait davantage appel « au jugement d'expert-e » (et des parties prenantes associées à la démarche) : les risques sont décrits dans des narratifs et appréciés selon leur degré d'importance, d'insignifiants à catastrophiques ou de faibles à élevés par exemple.

La perception des risques est largement influencée par des facteurs sociaux et culturels. Les mesures seront d'autant mieux acceptées que le processus, dès les phases initiales, aura été participatif. Il est important d'associer des représentant-e-s des institutions, organisations et populations concernées à l'évaluation des risques, et de diffuser les résultats à l'ensemble des parties prenantes qui pourront prendre des décisions informées en matière d'usage des sols et d'investissements. **Le narratif et l'évaluation des risques** peuvent être construits en atelier participatif, avec les agents municipaux en charge des différents secteurs, les comités de pilotage des PUDi et toute autre opportunité de travail collaboratif avec les parties prenantes.

Les résultats de cette étape serviront pour déterminer les **niveaux d'acceptabilité des risques** (voir **section C**), c'est-à-dire ceux que la commune assumera techniquement, financièrement et socialement au sein de son projet de développement.

Questions à se poser

Généralités

1. Le niveau de précision des données disponibles est-il suffisant pour déterminer l'exposition et la vulnérabilité des populations, fonctions, infrastructures et services de la ville ?
2. Quels secteurs de la planification sont particulièrement exposés aux effets des changements climatiques (assainissement, transport, logement, etc.) ?
3. Quelles infrastructures financées par des investissements de long terme et de grande ampleur peuvent être affectées ?
4. Comment s'exprime la vulnérabilité pour chaque secteur de la planification (assainissement, transport, habitat, etc.) ?
5. Quels sont les facteurs physiques, socio-économiques et organisationnels de vulnérabilité ?
6. Quelles sont les caractéristiques sociodémographiques des populations concernées ?

Genre

7. Les données socio-démographiques disponibles sont-elles désagrégées par sexe ?
8. Quels facteurs sociaux, économiques ou environnementaux peuvent influencer de manière différenciée sur la vulnérabilité des hommes et les femmes, et sur les risques associés ?
9. Comment les impacts du changement climatique peuvent aggraver les inégalités de genre en milieu urbain ?

Quartiers informels

10. Quels sont les facteurs d'exposition et de vulnérabilité spécifiques aux quartiers précaires et zones de développement informel ?
11. Quelles sont aujourd'hui les mesures mises en place pour faire face à la vulnérabilité des populations en situation d'extrême pauvreté ?

Points de vigilance

1. La vulnérabilité fait l'objet de nombreux débats conceptuels et méthodologiques ; il est facile de « perdre le fil », avec l'impression que plus on lit sur le sujet et plus le concept devient flou. L'optique opérationnelle (prendre des décisions qui mèneront à des actions concrètes) exige de la clarté et de la simplicité.
2. L'analyse de vulnérabilité peut s'avérer inadaptée aux besoins spécifiques de la planification, consommatrice de temps et de ressources et de résultats inexploitable (échelle d'étude inadaptée, omission d'enjeux significatifs et absence de hiérarchisation de ces derniers). Le principal défi est de couvrir la complexité des enjeux, tout en les représentant de manière synthétique. Il s'avère judicieux de se concentrer sur les aspects maîtrisables, c'est-à-dire directement liés à la planification urbaine (normes de construction para-cyclonique, hauteur de plancher pour éviter les inondations, etc.).
3. L'analyse de vulnérabilité peut se faire à différentes échelles ; certaines configurations imposeront de regarder la situation de bâtiments individuels (ou grappes de bâtiments), et dans d'autres cas, il suffira d'examiner la vulnérabilité sur base d'une typologie des bâtiments.
4. Le dernier recensement général de la population date de 1993 ; en attendant les résultats du dernier recensement, il faudra obtenir des données le plus actualisées possibles, soit par enquêtes-ménages (avec des méthodes d'échantillonnage) ou auprès de sources secondaires (statistiques démographiques pour des besoins spécifiques).
5. La vulnérabilité évolue dans le temps : les bâtiments se transforment, les situations socio-économiques se modifient, les populations apprennent à se protéger et la capacité de réponse des institutions locales progressent. Il est nécessaire de prévoir des mesures de suivi pour adapter les réponses au fil des évolutions.



Pour aller plus loin...

Commentaires

GIEC, 2012b

Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

Chapter 2. Determinants of Risk : Exposure and Vulnerability, pp 65-108

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX_Full_Report-1.pdf

Ce chapitre du GIEC reprend les définitions du risque et de ses composantes (danger, exposition et vulnérabilité)

Asian Development Bank (2016)

Reducing Disaster Risk by Managing Urban Land Use : Guidance Notes for Planners

Guidance Note 1. Understanding Disaster Risk, pp 13-26

Guidance Note 2. Land Use Planning for Reducing Disaster Risk, pp 27-38

<https://www.adb.org/sites/default/files/publication/185415/disaster-risk-urban-land.pdf>

Ce guide de la Banque asiatique de développement fournit des méthodes d'évaluation des risques et des recommandations pour la planification urbaine du changement climatique.

pS-Eau Programme Solidarité-Eau, 2018

Les services d'eau et d'assainissement face au changement climatique. Quels impacts ? Comment agir ?

https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ps_eau_les_services_eau_et_assainissement_face_au_changement_climatique_2018.pdf

Ce guide sectoriel a pour objectifs d'apporter des clés de lecture pour comprendre les impacts du changement climatique sur les services d'eau et d'assainissement et proposer des pistes de réflexion opérationnelles pour l'adaptation des services dans les pays en développement et l'atténuation. Bien que ce guide concerne essentiellement les services d'eau potable et d'assainissement, il intègre également des réflexions plus larges, en lien avec d'autres services essentiels comme la gestion des ressources en eau et la gestion des eaux pluviales.






Association mondiale de la route, 2016

Stratégies de transport pour l'atténuation et l'adaptation au changement climatique

Ce rapport sectoriel présente un éventail d'approches, issues de différents pays, pour atténuer le changement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre du transport et adapter les systèmes et les infrastructures de transport aux incidences du changement climatique.

C. AJUSTER LES SCENARIOS URBAINS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

La planification urbaine doit incorporer les risques liés aux dangers identifiés et proposer des réponses d'adaptation, qu'il s'agisse de politiques de développement urbain « sensibles » au risque, d'instruments de contrôle pour les constructions et la gestion spatiale ou d'investissements publics (infrastructures, campagnes de sensibilisation) pour la réduction des risques. Certaines contraintes peuvent être transformées en atouts pour le développement futur de la ville.

 Objectif	Ajuster les scénarios de développement urbain aux risques climatiques ➤ Réduire la vulnérabilité en maîtrisant l'urbanisation
 Questions	<ul style="list-style-type: none"> • Comment ajuster les scénarios de développement urbain en intégrant l'adaptation aux changements climatiques ? • Quelles sont les zones qui présentent des conditions favorables aux risques ? Quelles sont les zones épargnées par les risques ? • Quels sont les types de scénarios envisageables : ville étalée, ville compacte ou une option intermédiaire ? • Comment concilier la prévention des risques et les pressions du développement urbain et économique dans les zones exposées ? • Comment tenir compte des intérêts immédiats et des contraintes à long terme ?
 Etapes	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier les zones à développer, à préserver ou à adapter • Intégrer les conclusions aux scénarios urbains
 Parties prenantes	<ul style="list-style-type: none"> • Elus et agents administratifs • Groupes techniques spécialisés (prévention et gestion des situations d'urgence), • Résident·e·s, associations de quartiers, organisations locales • Fournisseurs de services publics et gestionnaires d'infrastructures publics • Gestionnaires de réseaux • Ingénieur·e·s, urbanistes, architectes/paysagistes et économistes • Secteur privé
 Défis	<ul style="list-style-type: none"> • Faire émerger une vision commune du développement urbain, intégrant les aspects climatiques • Favoriser la prise de conscience des risques (menaces présentes ou futures) • Gérer l'incertitude dans la prise de décision

1. Principes clés

Trois principes clés vont guider la planification « sensible » au changement climatique : **éviter** les zones identifiées comme zones à risques, **améliorer** la résilience (ou réduire la vulnérabilité) des populations, infrastructures et fonctions urbaines vulnérables et **maîtriser** le développement pour minimiser les risques. Ce cadre de réflexion est fondé sur la représentation spatiale des risques (voir chapitre B).

- Favoriser le développement dans les espaces situés hors des zones à risques

Pro-
mouvoir

Les municipalités peuvent guider ou réglementer l'emplacement, le type, l'intensité, la conception, la qualité et le calendrier du développement urbain. Pour les villes dont la population augmente (cas de la plupart des villes de Madagascar), il peut s'agir de promouvoir de nouveaux aménagements dans des zones où les risques sont minimales – ce principe ne pouvant être appliqué que dans les villes qui disposent de suffisamment de terrains dans des zones non exposées.

- Renforcer la résilience des populations et infrastructures vulnérables situés dans les zones à risques

Contrôler

La plupart des villes se sont développées dans des zones qui, aujourd'hui, seraient décrites comme dangereuses : les villes côtières comme Mahajanga, Diego-Suarez et Toamasina, ou les villes situées dans les plaines alluviales comme Toliara, font face à des inondations fréquentes et intenses ; les quartiers précaires d'Antananarivo construits sur les zones en pente sont particulièrement exposés au risque de glissements de terrain. Dans la plupart des cas, le déplacement et la réinstallation des personnes hors de ces zones n'est pas une option réalisable ou viable, et il est illusoire d'envisager que le développement urbain se limitera aux zones non exposées. Dans ce contexte, les efforts doivent porter sur le contrôle du développement futur et sur la réduction de la vulnérabilité (ou le renforcement de la résilience) des populations, infrastructures et fonctions de la ville les plus vulnérables. Il s'agit par exemple de fixer des règles de conception et de construction réduisant la vulnérabilité des bâtiments aux cyclones et aux inondations.

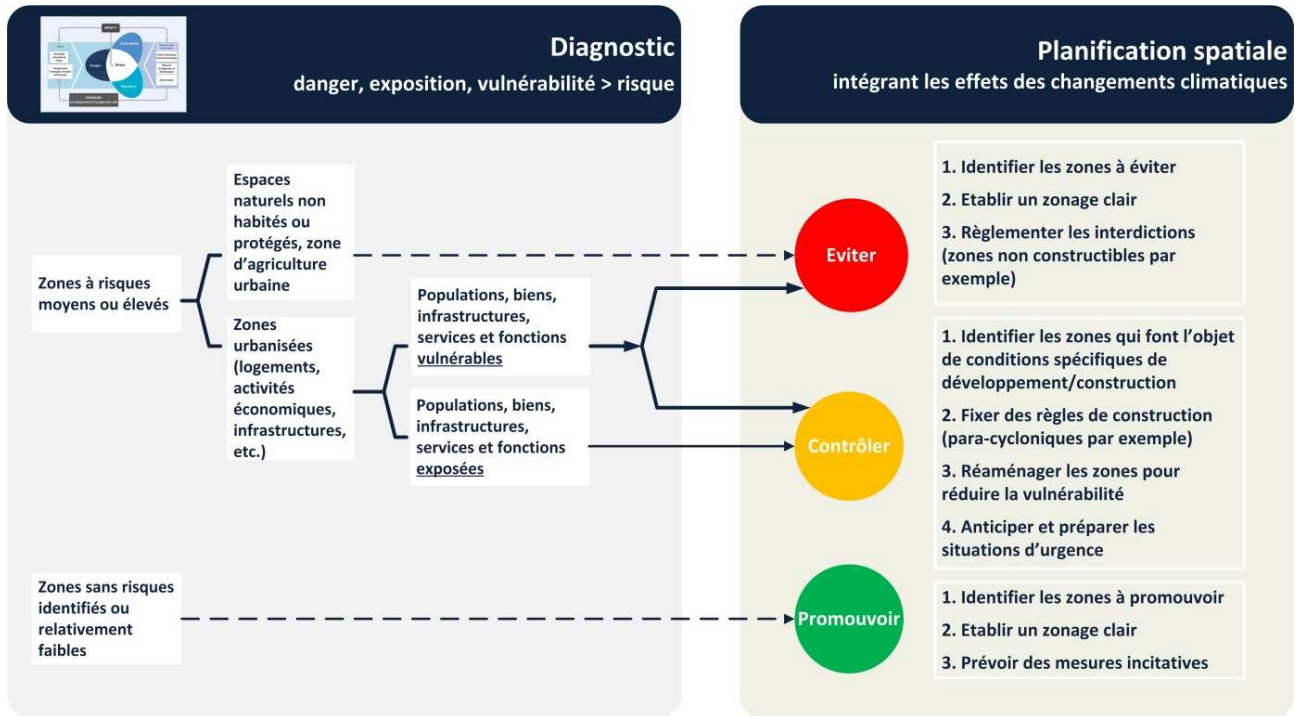
- Gérer et réduire l'exposition en contrôlant ou en évitant le développement

Eviter

Certains développements sont susceptibles d'aggraver les risques liés aux changements climatiques, tels que la construction d'un hôpital en zone inondable. Plusieurs options s'offrent aux municipalités pour maîtriser ces risques : interdiction totale ou interdiction partielle de certains aménagements (infrastructures essentielles ou zones résidentielles par exemple) avec un contrôle sur les conditions de développement.

Sur la base de l'évaluation des risques (et de leur représentation spatiale), les municipalités pourront déterminer les principes à appliquer à une zone spécifique : éviter, contrôler ou promouvoir le développement. La Figure 33, page suivante, illustre comment ces principes peuvent être appliqués à différents types de zones identifiées dans l'analyse de risques.

Figure 33- Logique de planification urbaine adaptée aux risques climatiques



Source : Artelia

2. Options stratégiques possibles



Résultat attendu : le changement climatique est intégré dans les différents scénarios de développement ou d'aménagement urbain > les différentes zones (à éviter, à développer sous conditions ou à promouvoir) sont identifiées

Rappel de définition : l'étalement urbain désigne un mode d'urbanisation caractérisé par une extension des surfaces urbanisées, une faible densité moyenne de population, et souvent, une urbanisation discontinue et éparpillée ; dans les villes compactes, l'espace urbain est occupé de manière intensive (ce qui limite les besoins de mobilité).

Dans un souci de prise en compte des effets des changements climatiques, il est légitime de s'interroger sur l'évolution morphologique des villes : quelles formes urbaines sont les plus adaptées pour répondre aux défis climatiques ? Les débats dans les démarches de planification territoriale – et les réflexions sur les stratégies spatiales dans le cadre des PUDI ne font pas exception – s'articulent souvent autour des questions de densité (scénarios compacts) et d'étalement urbains. Chaque forme urbaine présente des avantages et inconvénients, exprimés en termes de résilience ou de vulnérabilité aux changements climatiques.

- Il est communément admis que l'**étalement urbain** accentue la vulnérabilité du territoire aux changements climatiques et va à l'encontre d'un certain nombre de principes clés des villes durables (augmentation des émissions liées aux transports par exemple), fragilisation de la biodiversité (perturbation ou destruction d'habitats naturels qui permettent de mieux résister aux événements climatiques extrêmes), perte d'espaces d'agriculture urbaine ou péri-urbaine et augmentation des risques d'inondation (imperméabilisation des sols qui amplifie le ruissellement des eaux de pluie).
- Les formes de **villes « compactes »** (densification des tissus urbains) peuvent aussi accroître la vulnérabilité : la concentration des populations, services et infrastructures rend les villes denses plus vulnérables aux événements climatiques extrêmes comme les sécheresses, cyclones et fortes pluies ; la « minéralisation » accentue les effets des vagues de chaleur (et les effets d'îlot de chaleur dans les cas de concentration de bâtiments élevés).

Cette grille de lecture simplifiée mérite d'être nuancée à la lumière des contextes spécifiques des villes malagasy.

La population urbaine croît en moyenne de 3 à 5% par an. Les villes se développent de manière spontanée, principalement autour des grands axes routiers et à proximité des activités économiques, avec une forte prédominance de modes d'occupation des sols informels, notamment en périphérie. Si l'étalement urbain pose de nombreux défis pour les grandes agglomérations comme Antananarivo, il peut s'avérer moins problématique – sous condition de planification maîtrisée – pour la plupart des villes malagasy qui ne dépassent pas les 200 000 habitant·e·s.

Des villes comme Antsirabe ou Fianarantsoa affichent de faibles densités de populations (environ 25 habitant·e·s par km²) avec un potentiel de densification important dans les zones péri-centrales qui permettraient d'absorber la croissance démographique sans avoir recours à de nouvelles zones d'urbanisation hors du périmètre communal. Des villes comme Mahajanga, avec une densité actuelle d'environ 40 habitant·e·s par km² offrent également des perspectives de densification acceptables (jusqu'à 150 à 250 habitant·e·s par km²), mais en tenant compte de la diversité des situations d'un quartier à un autre. Certains fokontany ont des densités supérieures à 200 habitant·e·s par km², ce qui pose déjà des problèmes en termes d'assainissement, de drainage et d'accès aux infrastructures, problèmes qui pourront être exacerbés par les effets des changements climatiques.

Figure 34- Les scénarios d'aménagement urbain au regard de l'adaptation aux changements climatiques

Scénario	Étalement urbain	Ville compacte (densification urbaine)
Ordre de grandeur (densité et surface bâtie)	Maximum 120 habitant-e-s par km ² Part de surface bâtie par parcelle : faible à très faible	Maximum 200 habitant-e-s par km ² Part de surface bâtie par parcelle : faible à moyen
Inconvénients en termes d'adaptation	<ul style="list-style-type: none"> Imperméabilisation et risques accrus d'inondations (ruissellement) qui peuvent être limités en optimisant le tracé des voies de circulation et l'implantation des infrastructures et réseaux Augmentation des flux de transport et linéaires d'infrastructures et entretien lié, mais compte tenu de la faible densité de circulation à Madagascar (hors Antananarivo), les effets seront limités (atténuation) Réduction des surfaces agricoles ou des zones naturelles dont les fonctions productives et écosystémiques peuvent être bénéfiques en termes d'adaptation 	<ul style="list-style-type: none"> La densification urbaine implique une plus forte minéralisation des villes : cependant, dans le contexte malagasy, les densités restent modérées et les effets d'îlot de chaleur urbain sont peu probables à moyen terme Part plus importante des surfaces bâties sur chaque parcelle, avec risque accru de ruissellement ; cependant, les risques restent limités car les parcelles conservent en général une partie importante non bâtie Concentration de population exposée
Avantages ou co-bénéfices pour l'adaptation	<ul style="list-style-type: none"> L'étalement à urbain dans le contexte malagasy n'est pas synonyme de minéralisation excessive des villes ; les effets d'îlot de chaleur sont peu probables à moyen terme Les surfaces bâties (donc imperméabilisées) par parcelle sont relativement limitée, ce qui réduit le risque de ruissellement et donc d'inondation 	<ul style="list-style-type: none"> Resserrement des axes de circulation, avec un impact en termes d'imperméabilisation et de ruissellement limité Emissions liées au transport moins importantes (atténuation) que pour le scénario d'étalement urbain

Source : Artelia

Dans la plupart des villes de Madagascar, les zones urbanisables sont vastes et offrent toute une gamme de possibilités de développement couvrant les besoins estimés par rapport aux projections. Les zones urbanisables peuvent donc être identifiées de manière à :

- **Eviter** les zones à risque (zones inondables, zones en forte pente avec risques de glissements de terrain, littoral marin exposé au risque de submersion et d'érosion, etc.) ;
- **Limiter** dans les zones à risque la densification et permettre la préservation ou la création d'espaces verts semi-naturels (étangs, parcs, parcelles agricoles) avec des fonctions écosystémiques bénéfiques pour l'adaptation au changement climatique (purification de l'air ou poumon vert, lutte contre l'effet îlot de chaleur, maintien des sols, rétention de l'eau, protection contre l'érosion, etc.) ;
- **Se développer** dans les zones hors risques à proximité des ressources stratégiques, comme les ressources en eau (avec des co-bénéfices en termes d'accès, d'économie de réseaux et de limitations des pertes dans les réseaux).



Les analyses prospectives réalisées dans le cadre de la planification (PUDi par exemple) considèrent en général un **troisième scénario (intermédiaire)**, qui vient s'ajouter aux scénarios d'étalement urbain et de ville compacte. C'est

souvent cette troisième option qui est choisie par les villes, avec une flexibilité répondant aux spécificités de chacune et des différentes zones qui les composent.

Ajuster les scénarios urbains aux changements climatiques

Questions à se poser

Généralités

1. Quels sont les risques identifiés pour les zones d'intérêt ? Quelles sont les conclusions tirées de l'analyse spatiale des risques ?
2. Quelle stratégie adopter pour chaque zone à risque identifiée (éviter ou développer avec contraintes) ?
3. Quelles sont les zones sans dangers potentiels identifiés et qui peuvent faire l'objet de développement prioritaire ?
4. Quelles modifications apporter aux documents d'urbanisme pour permettre une meilleure résilience de la ville aux changements climatiques ?

Genre

5. Quelles sont les stratégies d'adaptation employées de manière spécifique par les hommes et les femmes ?
6. Les instruments de planification sont-ils sensibles au genre ?
7. Quels seront les impacts des stratégies proposées sur les hommes et sur les femmes ?
8. Les stratégies ont-elles été élaborées de manière inclusive et participative, en tenant compte des enjeux pour les hommes et les femmes ?

Quartiers informels

9. Quels sont les risques spécifiques identifiés pour les quartiers informels ?
10. Comment adapter les stratégies d'adaptation aux conditions spécifiques des quartiers informels ?
11. Quels seront les impacts des stratégies proposées sur les quartiers informels ?

Points de vigilance

1. Des solutions alternatives, parfois créatives, devront être trouvées pour pallier le manque d'informations précises sur les risques (à une échelle appropriée pour l'aménagement urbain) et l'occupation des sols (statuts fonciers, occupations illégales, évolution rapide, etc.).
2. La dimension politique de la planification urbaine et de l'adaptation au changement climatique doit être prise en compte. Certains groupes d'intérêts (des investisseurs privés par exemple) peuvent se montrer réticents envers les mesures d'adaptation et les nouvelles conditions imposées au développement urbain. Les approches participatives n'effacent pas les résistances, mais offrent des opportunités d'échanges constructifs – lorsqu'elles sont appliquées dès les phases amont du processus – et favorisent l'émergence de solutions créatives, adaptées aux contextes locaux.
3. La croissance démographique rapide des zones urbaines et la pression foncière peuvent constituer des obstacles à l'application des mesures de contrôle du territoire (zones à risques à éviter, interdiction de construire) ; cette contrainte est à relativiser pour la plupart des villes malagasy qui disposent encore de vastes espaces « urbanisables » hors des zones à risques. Les zones à risques peuvent être destinées à d'autres usages que les fonctions résidentielles, commerciales ou industrielles : elles peuvent, pour certaines, être aménagées en espaces naturels (ce qui servira aussi des objectifs d'atténuation).



Pour aller plus loin...

Commentaires

UNISDR

Rendre les villes plus résilientes : Manuel à l'usage des dirigeants des gouvernements locaux

https://docs.google.com/viewer?url=https%3A%2F%2Fwww.unisdr.org%2Ffiles%2F26462_1102162isdr_mayorshandbookintfrelwr.pdf&pdf=true

L'UNISDR et ses organisation partenaires ont publié un manuel principalement destiné aux décideurs et aux dirigeants des gouvernements locaux, offrant des directives pratiques permettant de comprendre les « Dix points essentiels pour rendre les villes résilientes », tels que définis dans la campagne mondiale « Pour des villes résilientes : Ma ville se prépare ! ».

ADEME

Construire des trajectoires d'adaptation au changement climatique du territoire

<https://www.ademe.fr/construire-trajectoires-dadaptation-changement-climatique-territoire>

L'ADEME propose un guide et un outil, sous le module Trajectoires d'Objectif Climat, offrant aux collectivités locales un cheminement méthodologique pour appliquer les principes de la planification dynamique dans l'élaboration de leurs stratégies et plans d'adaptation.

Réseau Action Climat France (s. d.)

Etalement urbain et changements climatiques. Etat des lieux et propositions

<http://www.vizea.fr/actualites/etalement-urbain-rac.pdf>

Ce guide, propre au contexte français mais avec des recommandations transposables au contexte malagasy, apporte des éléments de réflexion sur les liens entre étalement urbain et vulnérabilité aux effets des changements climatiques.

Banque asiatique de développement (2016)

Reducing disaster risk by managing urban land use: guidance notes for planners

<https://www.adb.org/sites/default/files/publication/185415/disaster-risk-urban-land.pdf>

Ce guide apporte des recommandations sur la planification spatiale et les stratégies foncières adaptées aux effets des changements climatiques. Il donne des exemples de dispositifs de contrôle du développement urbain et d'opportunités de réduction des risques.

GIZ et UN-Habitat (2015)

Gender and Urban Climate Policy: Gender-Sensitive Policies Make a Difference

https://gendercc.net/fileadmin/inhalte/dokumente/8_Resources/Publications/Guidebook_Gender_and_Urban_Climate_Policy_June_2015.pdf

Ces deux guides invitent à intégrer les questions de genre dans la planification de l'adaptation au changement climatique. Ils ont pour objectif d'améliorer les capacités des responsables de la planification urbaine pour répondre aux besoins et enjeux de genre ; ils donnent des exemples d'impacts différenciés des changements climatiques pour les femmes et les hommes et proposent des séries d'indicateurs.

UN-Habitat (2012)

Gender Issue Guide: Urban Planning and Design

<https://unhabitat.org/books/gender-responsive-urban-planning-and-design/>






AFD (2016)

Boîte à Outil Genre et Développement urbain

<https://www.afd.fr/fr/boite-outils-genre-developpement-urbain>

L'AFD s'est doté d'un Cadre d'intervention transversal (CIT) sur le genre et la réduction des inégalités hommes-femmes dans ses activités. L'objectif de ce CIT est d'améliorer les pratiques d'intégration du genre dans les opérations de l'AFD..

D. FIXER LA STRATEGIE ET SELECTIONNER LES MESURES D'ADAPTATION

 Objectif	Fixer les grandes orientations stratégiques en matière d'adaptation (à partir du scénario de développement urbain choisi) Décliner la stratégie en mesures opérationnelles
 Questions	<ul style="list-style-type: none"> • Quels mécanismes de contrôle sont les plus appropriés pour maîtriser les risques liés aux changements climatiques et au développement urbain ? • Quelles mesures réglementaires doivent être mises en place pour maîtriser le type, l'emprise et les caractéristiques du développement urbain en zones à risque et hors zones à risques ? • Quelles sont les principes à appliquer en termes d'occupation des sols et de construction pour limiter ou anticiper les risques ? • Quels sont les critères d'acceptabilité des mesures ? Quelles mesures sont-elles acceptables ou non acceptables ? Dans le passé, il y a-t-il eu des exemples de changements, liés à la planification de la gestion des risques, mal acceptés et pourquoi ? • Quelles sont les mesures envisageables pour les zones à risques (considérées comme « à éviter ») ? • Les risques encourus peuvent-ils constituer une opportunité (au lieu d'être une contrainte) ? Quels types de projets ou programmes peuvent apporter des co-bénéfices en termes d'adaptation, de développement socio-économique et/ou de préservation de l'environnement ? • Quelles infrastructures (mesures structurelles) peuvent contribuer à limiter les risques (infrastructures vertes ou approche physique de la protection des biens et des personnes, avec par exemple des brise-lames, barrages, drains ou canaux d'évacuation) ? • Quelles mesures non-structurelles peuvent contribuer à réduire les risques ? • Comment sensibiliser les parties prenantes et le grand public aux risques et aux mesures d'adaptation ? Comment les impliquer dans le processus de décision ? • Quels sont les coûts d'investissement et coûts d'entretien liés ? Comment sont financés ces coûts ?
 Etapes	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier des options d'adaptation possibles et les coûts liés • Définir les critères de décision • Sélectionner les mesures d'adaptation appropriées • Développer un cadre de suivi-évaluation
 Parties prenantes	<ul style="list-style-type: none"> • Elus et agents administratifs • Groupes techniques spécialisés (prévention et gestion des situations d'urgence) • Résident·e·s, associations de quartiers, organisations locales • Fournisseurs de services publics et gestionnaires d'infrastructures publics • Gestionnaires de réseaux • Ingénieur·e·s, urbanistes, architectes/paysagistes et économistes • Secteur privé
 Défis	<ul style="list-style-type: none"> • Favoriser l'acceptation des mesures d'adaptation • Gérer l'incertitude lors de la prise de décision

1. Typologie des mesures d'adaptation relevant de la planification urbaine

Les **mesures structurelles** « classiques » ont typiquement recours au génie civil ou hydraulique pour protéger les biens et les personnes (voir Figure 35). Digués, brise-lames, barrages, drains ou canaux d'évacuation sont dimensionnés pour contrôler les dangers tels que les inondations.

Les limites inhérentes à ces ouvrages physiques (coûts, technicité et manque de flexibilité –inconvént majeur dans un contexte d'incertitude) encouragent les villes et collectivités locales à considérer des mesures dites « **non structurelles** » ou de **gouvernance** : plans d'aménagement, règlements, codes d'urbanisme, normes de construction, systèmes d'alerte et plans d'évacuation permettent de réduire les risques, y compris en cas de défaillance des ouvrages de protection. Elles permettent par exemple de minimiser l'exposition des infrastructures et des populations aux risques identifiés (inondations, glissements de terrain, etc.). Ces mesures ont pour avantage d'être moins coûteuses, plus flexibles (« gestion adaptative » en fonction de l'évolution des risques et des connaissances) – avec la possibilité d'intégrer les incertitudes – et donc plus pertinentes pour répondre aux scénarios futurs.

Les **solutions fondées sur la nature** s'appuient quant à elles sur les écosystèmes et jouent un rôle fondamental à la fois en matière d'atténuation (en stockant le carbone) et d'adaptation aux effets des changements climatiques (en réduisant les impacts des risques naturels).

Figure 35- Bonnes pratiques : aménagement de bassins de rétention en amont des oueds de Maroua (Cameroun)

La Ville de Maroua regroupe 280 000 habitant-e-s et remplit une fonction stratégique importante dans l'armature urbaine du Nord du Cameroun. Située en zone sahélienne sèche, elle enregistre une pluviométrie moyenne annuelle qui varie entre 700 et 800 millimètres et s'étale durant la saison des pluies sur trois à cinq mois. Elle est traversée par deux oueds principaux (Kaliao et Tsanaga), appelés mayos, qui drainent de vastes bassins versants en amont. En période des pluies, il n'est pas rare que ces oueds débordent, érodent les berges et inondent une grande partie de la ville, occasionnant parfois des dommages importants sur les infrastructures publiques (routes et ponts). La lutte contre les inondations est l'une des priorités des autorités locales. Les pluies torrentielles entraînent le débordement des mayos et des inondations dans plusieurs quartiers de la ville. Les problèmes récurrents que pose l'assainissement pluvial (dans un contexte de crues imprévisibles amplifiées par le changement climatique) ont poussé les autorités à rechercher des solutions qui offrent la meilleure protection de la ville à moindre coût.

Les solutions classiques qui prévalait dans le schéma directeur d'assainissement consistaient à protéger la ville avec une protection des berges par des enrochements et un endiguement des crues via à un rehaussement de la crête des berges par des ouvrages maçonnés. Cependant, ces investissements importants ne résolvaient pas le problème d'évacuation des eaux pluviales collectées sur le territoire urbain vers les oueds. Une solution innovante a alors été proposée, à savoir l'aménagement d'un bassin de rétention pour écrêter les crues, en amont du principal oued (mayo Kaliao) responsable des inondations en ville. L'objectif de l'ouvrage est de réduire le volume en eau qui atteint Maroua lors de fort épisode pluvieux en le stockant temporairement en un lieu dédié.

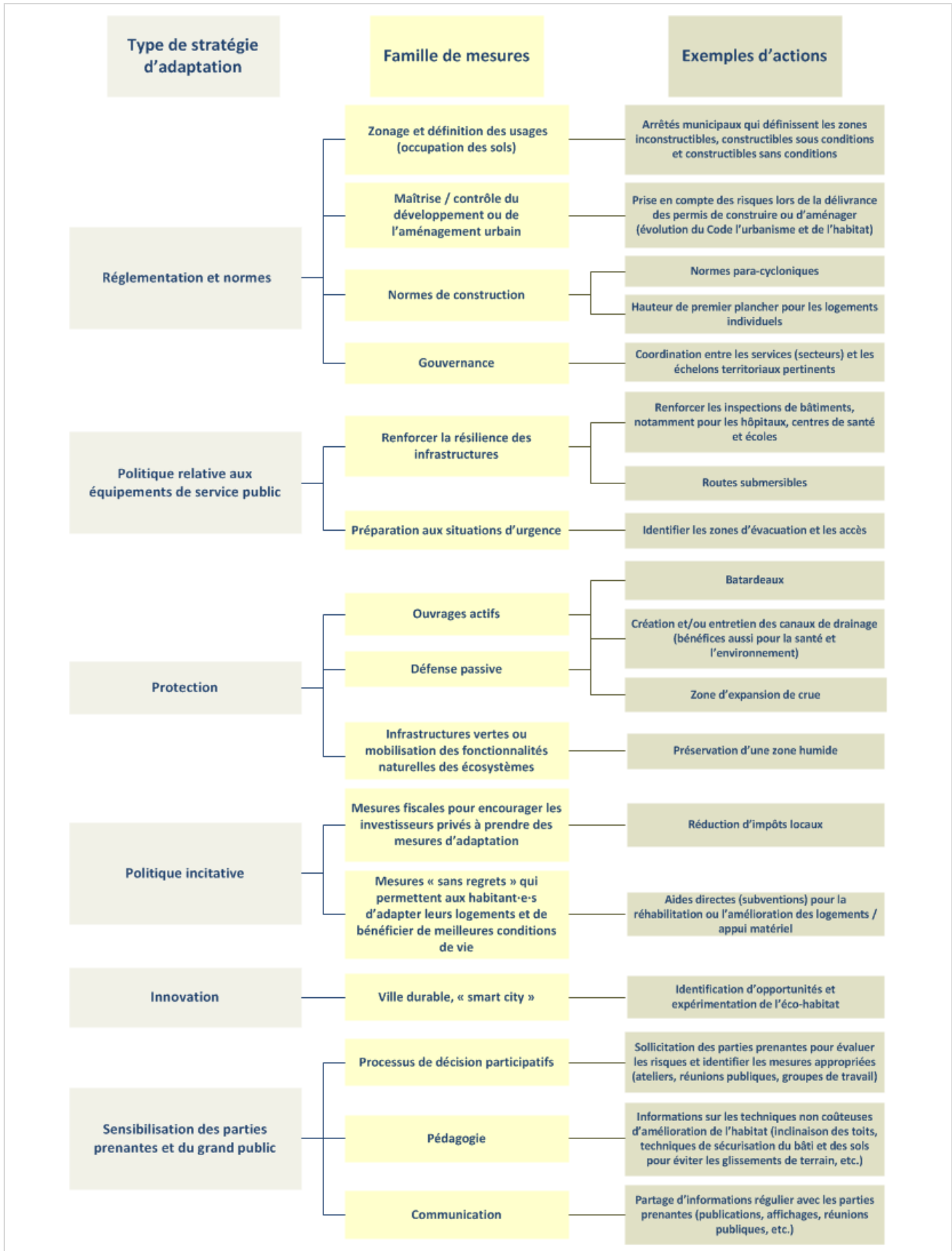


Le coût d'aménagement, estimé à environ 2 millions d'euros, représente moins de la moitié des investissements prévus dans le schéma directeur d'assainissement pour les ouvrages visant à protéger la ville des débordements du fleuve.

Grâce à l'infiltration sur le site de stockage, le bassin doit contribuer à recharger la nappe phréatique et constituer une réserve d'eau importante pour les besoins de l'agriculture (irrigation), de l'élevage (abreuvement des animaux), voire de la pisciculture. Sur le plan paysager, le bassin permet de conserver des abords du fleuve ouverts et aménageables pour la promenade, par des équipements sportifs et de détente et par du reboisement. Il doit jouer un double rôle primordial dans la lutte contre les inondations et la désertification, répondant aux besoins en matière d'adaptation aux changements climatiques que les villes africaines en zones sèches sont progressivement amenées à adopter. Cet exemple pourrait être transposé à des villes comme Toliara où les débordements du fleuve Fiherena menacent régulièrement la partie nord de la ville.

L'arbre des mesures présenté page suivante (Figure 36) peut servir d'aide-mémoire ou de cadre de discussions au moment d'identifier les actions que les municipalités s'engageront à mettre en œuvre en matière d'adaptation.

Figure 36- Arbre de mesures d'adaptation qui peuvent être prises en compte lors de la planification urbaine



Source : Artelia

Quelques exemples de stratégies et de mesures sont détaillés ci-dessous.

- **Zonage**

Le zonage est un outil réglementaire à disposition des municipalités pour la mise en œuvre des stratégies de planification territoriale : le maire est compétent pour faire appliquer le droit d'occupation des sols. Le zonage permet d'intégrer les stratégies d'adaptation aux changements climatiques en désignant les zones à risques à éviter, les zones où le développement est permis sous certaines conditions et les zones à promouvoir en priorité (voir section C). Les municipalités peuvent ajuster les instruments de zonage existants pour y inclure des dispositions visant à réduire l'exposition et la vulnérabilité des populations, du bâti, des infrastructures et des écosystèmes : par exemple, il peut s'agir de modifier les critères de définition des zones inondables pour s'adapter aux effets de l'augmentation des précipitations. Les municipalités peuvent aussi créer de nouveaux dispositifs², visant les zones identifiées comme dangereuses ou à risques. Si l'affectation en zone inconstructible des zones à risque se révèle insuffisante dans certains cas, la Loi sur l'Urbanisme et l'Habitat (LUH) prévoit des outils permettant de réserver ou de sanctuariser ces zones, via le PUDi.

- **Normes de construction**

L'adaptation des règles de construction suppose de définir des orientations techniques adaptées aux risques identifiés dans les villes de Madagascar, en particulier les inondations, les glissements de terrain, les vagues de chaleur et les inondations. Il est recommandé d'intégrer aux documents d'urbanisme (notamment le règlement pour les PUDi) les règles ou bonnes pratiques en matière de construction pour résister événements extrêmes.

La construction para-cyclonique doit respecter des normes visant à renforcer la résistance des bâtiments, publics³ et privés, aux pressions des vents, aux débris aériens et aux fortes pluies. Prise au vent, contreventement et ancrage au sol sont les trois grands axes de conception. Les arrachements de toitures sont à l'origine de dégâts importants : les murs et les charpentes doivent être dimensionnés et fixés de manière à supporter les soulèvements de toitures en cas de vents violents.

Pour adapter le bâti au risque d'inondation et de submersion, la réglementation peut imposer une hauteur de premier plancher au-dessus de la côte de l'événement de référence, tenant compte du changement climatique, avec des réseaux électriques descendants et des prises surélevées, par exemple.

Des mesures visant à ne pas aggraver le risque peuvent également être incluses. Il s'agit par exemple de favoriser la rétention des eaux pluviales à la parcelle, afin de ne pas saturer le réseau de drainage. La rétention s'obtient en combinant le maintien de surfaces non imperméabilisées et des modelés de terrains favorisant le ralentissement et l'infiltration, voire l'implantation de volume de stockage.

- **Rénovation, réhabilitation ou amélioration de l'habitat**

Les normes de conception et de construction sont généralement définies au niveau national et appliquées et contrôlées localement (normes para-cycloniques ou normes de protection contre les inondations par exemple). Les municipalités peuvent travailler en étroite collaboration avec les ONG, architectes, ingénieur-e-s, promoteurs privés et entrepreneurs pour garantir le respect des normes. Elles peuvent aussi participer à l'évolution des normes en faisant

² Exemples de dispositifs :

- l'ajustement des pratiques de zonage actuelles : exemple : modifier les critères de définition des zones inondables pour s'adapter aux effets de l'augmentation des précipitations ;
- la création de nouvelles règles (dispositifs) de zonage : exemple : conditionner la possibilité de construire dans une zone inondable à l'application de certaines dispositions constructives (bâtiments sur pilotis, résistance des matériaux à l'eau, etc.).

³ Un référentiel est en cours d'élaboration au niveau national.

part au gouvernement national des défis rencontrés à l'échelle des villes, des quartiers et des unités de construction pour mettre les normes en application. L'amélioration des habitats précaires et la réduction de la vulnérabilité des populations les plus pauvres doit constituer une priorité pour les municipalités.

Les mesures à mettre en place ne sont pas nécessairement coûteuses. Il existe toute une gamme d'actions (voir Figure 37) qui peuvent être mises en œuvre localement sans recours à une haute technicité ou à de lourds investissements : prévoir des zones arborées pour réduire les risques de glissements de terrain, construire des barrières à partir de matériaux recyclés pour retenir les sols, améliorer les fixations des toits et adapter l'inclinaison pour un meilleur écoulement des eaux de pluie, etc. Les municipalités peuvent encourager ces actions individuelles en sensibilisant les habitant·e·s.

Figure 37- Bonnes pratiques : réhabilitation de logements à Ganvié (Bénin)

La ville lacustre de Ganvié, située au nord du Lac Nokoué au Bénin, fait l'objet d'un projet de réhabilitation soutenu financièrement par l'Agence française de développement (AFD). Ce projet, intitulé « Réinventer Ganvié », bénéficie de la facilité de préparation de projet CICLIA), levier d'investissement pour les collectivités locales afin de lutter contre le changement climatique. La ville et son lac font face à des défis environnementaux et climatiques majeurs : envasement du lac, surexploitation de la ressource halieutique, menaces sur la biodiversité, conséquences du changement climatique, etc. Le programme d'investissement (pris en charge par des fonds nationaux béninois) prévoit notamment la reconstruction ou réhabilitation d'un grand nombre d'habitations sur pilotis, avec des matériaux traditionnels (structure bois et toiture en chaume) pour conserver le patrimoine architectural de la ville et en faire un atout touristique. Aujourd'hui, les propriétaires abandonnent les toitures en chaume traditionnelle et recourent de plus en plus à des toitures en tôle (90% des toitures). Les maisons sont appelées « Panneau-ho », en référence à ces panneaux de tôle colorés importés du Nigéria. La tôle, légère, permet de construire des cases sur pilotis relativement vastes (en moyenne 2 fois plus grandes que les habitations traditionnelles). Elle présente en revanche deux inconvénients majeurs : elle favorise la surchauffe intérieure et empêche l'activité de fumage du poisson.

L'une des solutions consiste à utiliser des modules préfabriqués à ossature bois, avec toiture isolée en sous face, que les habitant·e·s peuvent assembler. Un partenariat a été établi avec une association qui développe des produits textiles à base de fibres de jacinthe d'eau pour intégrer un système de rafraîchissement adiabatique (qui utilise le pouvoir rafraîchissant de l'évapotranspiration) : des nattes tressées à base de fibres de jacinthe sont ainsi disposées sur les toitures, permettant de créer une évaporation refroidissant naturellement l'habitation sans recourir à la climatisation.

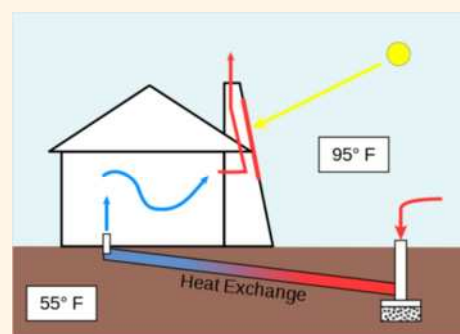
Ces systèmes de refroidissement naturel peuvent être répliqués dans les zones disposant de réserves d'eau suffisantes, et pourraient être associés avec l'écrêtage des pluies torrentielles.

En l'absence de réserves d'eau, il existe des techniques de ventilation naturelle utilisant par exemple un système de cheminée solaire avec un puits provençal (l'air intérieur renouvelé est rafraîchi au contact de canalisations enterrées) ou des entrées d'air en partie basse des bâtiments munies de réservoirs d'eau poreux (l'air extérieur se charge en humidité et rafraîchit l'intérieur du bâtiment). Ces dispositifs ont été employés dans les constructions traditionnelles au Yémen (Sanaa) et au Mali (Djenné) et pourraient constituer des mesures d'adaptation peu coûteuses.



Modules préfabriqués proposés en auto-construction

A Madagascar, l'architecture traditionnelle en terre (R+1), avec charpentes en bois et toits de chaume (paille de riz) offre un meilleur confort thermique que les techniques de construction plus modernes (parpaing béton et toiture tôle). Ces techniques pourraient être adaptées dans des scénarios de villes compactes visant une densification verticale (à plus de 2 étages).



Principe de la ventilation naturelle par cheminée solaire et puits canadien ou provençal

- **Infrastructures vertes et valorisation des écosystèmes**

Les infrastructures vertes servent à la fois des objectifs d'atténuation (réduction des émissions) et d'adaptation. Les « solutions naturelles » (espaces verts, zones protégées, zones semi-naturelles) offrent aux villes et à leurs habitant·e·s de nombreux services écosystémiques qui améliorent leur qualité de vie. Contrairement aux « infrastructures grises », limitées à des fonctions uniques et recourant essentiellement au génie civil, telles que le drainage ou le transport, les infrastructures vertes recourent au génie écologique et se distinguent par leur potentiel à répondre simultanément à plusieurs problèmes. Grâce aux capacités naturelles d'absorption et de rétention de la végétation et des sols, elles peuvent par exemple être utilisées pour réduire le débit des eaux de ruissellement qui s'écoulent dans les réseaux d'assainissement. Elles offrent en général des solutions moins onéreuses que les infrastructures grises et fournissent un large éventail d'avantages convergents pour les économies locales, l'environnement et les populations. Par exemple, les parcs et zones arborées contribuent à réduire les effets d'îlot de chaleur, apportent du confort thermique et peuvent réduire les risques inondation en absorbant et filtrant les eaux pluviales. A noter que l'Organisation mondiale de la santé (OMS) recommande 12m² d'espaces verts par habitant·e en ville.

Figure 38- Bonnes pratiques : aménagement d'espaces verts en zone urbaine (Canal des Jardiniers à N'Djamena, au Tchad)

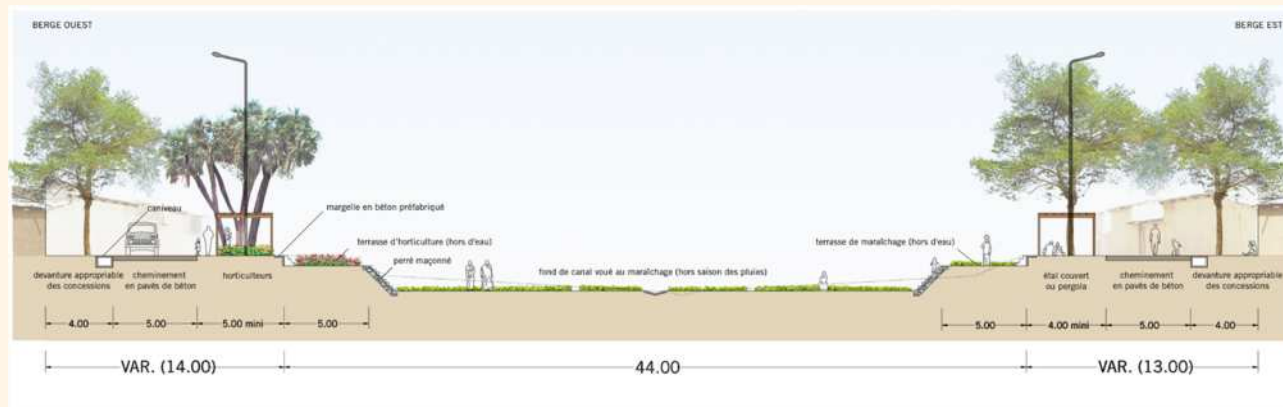
Localisé en périphérie immédiate du centre-ville de N'Djamena, capitale du Tchad, le marigot des Jardiniers est un milieu naturel humide qui s'étale sur environ 2 km et débouche sur le fleuve Chari. Il traverse des quartiers densément peuplés (Ridina, Ardep-Djomal, Paris-Congo et Moursal) qui regroupent environ 180 000 habitant-e-s. Réceptacle des eaux de pluie d'un bassin versant de près de 500 hectares, il assure un rôle hydraulique majeur en tant que bassin d'orage et système de stockage des eaux pluviales (avant qu'elles ne s'infiltrent dans le sol ou qu'elles ne s'évaporent). Implanté sur un site avec peu de relief, son fonctionnement est aujourd'hui perturbé par le déversement d'ordures ménagères et d'eaux usées, ainsi que par le développement d'une végétation envahissante. Les rejets d'un réseau de caniveaux dysfonctionnant viennent se déverser dans le marigot. Cette situation contribue à la récurrence des inondations et à la dégradation des conditions sanitaires pour les riverains.

Le Projet d'aménagement du canal des Jardiniers (PACA) soutenu par l'AFD, a vocation à améliorer les conditions de vie des populations vivant dans les quartiers bordant le marigot des Jardiniers, avec deux objectifs principaux :

- assainir et réhabiliter le canal, qui structure le tissu urbain de cette zone ;
- offrir à sa population un accès à des services urbains et à des aménagements de proximité de qualité.

Ce projet découle de la démarche d'Agenda 21 de la Ville de N'Djaména. Elaboré par la ville en 2011 sur financement de l'AFD, l'Agenda 21 a permis d'identifier le Canal des Jardiniers comme projet prioritaire du programme d'aménagement urbain de la ville.

La réhabilitation du canal constitue une opportunité pour la réalisation d'aménagements et d'équipements de proximité, forte attente des habitants. Le reboisement prévu le long du canal abritera des espaces ombragés pour atténuer les phénomènes d'îlots de chaleur dans une ville dont les températures en fin de période sèche peuvent dépasser les 45°C. Pour réduire les besoins d'entretien (arrosage régulier des jeunes plants par exemple), des techniques de plantations basées sur des procédés innovants (avec des produits hydro-rétenteurs) seront employées : elles favoriseront notamment les conditions d'enracinement des plantations. A l'aval du canal, le profil est adapté pour favoriser le maraîchage sur berges et développer des activités génératrices de revenus et exploiter ces espaces qui resteront inondables en périodes de crue.



Coupe en travers avec développement d'espaces pour le maraîchage sur les berges inondables

- **Sensibilisation des parties prenantes et du grand public**

La participation des parties prenantes est une condition à l'efficacité des politiques et mesures d'adaptation mise en œuvre par les municipalités (voir Chapitre A, section 2). Ces dernières doivent s'assurer que les résultats des évaluations de risques sont mis à disposition du public, dans un langage compréhensible et accessible aux non spécialistes. Elles doivent également mettre à disposition des dispositifs pédagogiques pour encourager les actions individuelles d'adaptation (techniques de construction résilientes par exemple). La « culture de l'adaptation » suppose une projection sur le moyen ou long terme, souvent en décalage avec les priorités de court terme de la population, et notamment des personnes en situation de pauvreté. Les mesures sans regret, avec effet immédiat d'amélioration des conditions de vie, seront d'autant mieux acceptées et appliquées.

2. Financement des mesures d'adaptation

La plupart des villes malagasy font face à de sérieuses contraintes en termes de ressources financières et de capacités de gestion. L'allocation des financements est souvent opérée au niveau national, avec des retombées limitées à l'échelon municipal.

Nombre des options de financement à disposition des villes ne sont pas spécifiques à l'adaptation au changement climatique. L'adaptation peut être financée par des mécanismes déjà mobilisés par les villes pour financer les projets de développement et d'infrastructures.

Le tableau suivant offre un panorama des mécanismes et options de financement possibles.

Figure 39- Exemples d'outils de financement pour les mesures d'adaptation

Type de mécanismes	Description
Transferts de l'Etat	Fonds (subventions par exemple) attribués par l'Etat aux communes
Taxes et impôts locaux directement collectés par les communes	Impôts sur les propriétés, taxes d'habitation, impôts sur les sociétés, impôts sur les services, taxes professionnelles, taxes de séjour, taxes de publicité, etc. Frais associés à des services comme l'accès à l'électricité ou à l'assainissement, droits d'enregistrement ou d'actes administratifs (permis de construire, etc.)
Financements Internationaux (subventions et prêts concessionnels)	Au niveau international, certains fonds accessibles aux communes ont vocation à financer des solutions d'adaptation. L'enjeu pour bénéficier de ces fonds est de pouvoir justifier du caractère adaptatif des solutions proposées : les impacts du CC doivent être étayés ainsi que les réponses proposées. Par exemple, le Fonds vert pour le climat (FVC) est un mécanisme financier de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Il a pour objectif de limiter ou de réduire les émissions de gaz à effet de serre dans les pays en développement et d'aider les communautés vulnérables à s'adapter aux impacts des changements climatiques. L'adaptation des villes est l'une des priorités affichées par le FVC, et particulièrement les secteurs de la sécurité hydrique, de la sécurité alimentaire, de l'immobilier, des infrastructures et des services écosystémiques. Au-delà du FVC, une partie importante des bailleurs de fonds internationaux (UE, AFD, BM, par exemple) doivent justifier de l'adaptation des projets de développement financés aux impacts du Changement Climatique. Des fonds dédiés sont disponibles en place pour cela : pour Madagascar, la facilité de préparation de projet Ciclia (AFD, UE, SECO), le GFDRR pour la Banque. Les réseaux internationaux de villes (ICLEI, C40), agissent aussi pour mieux préparer les villes aux enjeux du CC essentiellement via des appuis techniques. Les coopérations décentralisées peuvent aussi appuyer. La CCFLA Cities Climate Finance Leadership Alliance - https://www.citiesclimatefinance.org/ recense les initiatives, coordonne et agit pour un meilleur accès des villes et collectivités à la finance climat.
Partenariats publics-privés (PPP)	Les PPP consistent à lier dans un projet, ou à travers une entreprise créée pour porter le projet, un ou plusieurs acteurs publics avec un ou plusieurs acteurs privés.
Prêts bancaires	Les prêts des banques nationales et locales sont essentiellement destinés au secteur privé. Ils peuvent l'être pour les collectivités (cas de l'Afrique du Sud, par ex.) mais la situation financière très faible des collectivités malgaches n'ouvre pas cette possibilité pour le moment. L'Agence française de développement (AFD) s'associe avec le FVC pour encourager les institutions financières locales (banques et organisations de microfinance publiques et privées), à faire évoluer leurs pratiques de financement des actions liées au changement climatique.

Questions à se poser

Généralités

1. Quels sont les actions à planifier pour chaque secteur concerné (transport, énergie, bâtiment, etc.) ?
2. Quelles sont les parties prenantes à impliquer dans l'identification des mesures d'adaptation, ainsi que pour la mise en œuvre et le suivi ?
3. L'horizon de planification des mesures d'adaptation est-il pertinent par rapport aux effets attendus des tendances climatiques ?
4. Quelles mesures sans regret peuvent être appliquées à court terme ?
5. Quelles sont les opportunités identifiées (infrastructures vertes par exemple) ?
6. Quelles sont les compétences et les services concernés ?
7. Comment le secteur privé peut-il être mobilisé pour participer aux mesures d'adaptation ?
8. Comment la municipalité doit-elle communiquer sur les mesures d'adaptation ?
9. Quelles sont les compétences techniques nécessaires pour mettre en œuvre les actions d'adaptation ?
10. Quelles sont les sources de financement possibles ?
11. Les moyens humains, techniques et financiers disponibles ou mobilisables sont-ils à la mesure des objectifs visés ?

Genre

12. Quelles sont les stratégies d'adaptation employées de manière spécifique par les hommes et les femmes ?
13. Les instruments de planification urbaine sont-ils sensibles au genre ?
14. Quels seront les impacts des mesures proposées sur les hommes et sur les femmes ?
15. Les mesures d'adaptation sont-elles élaborées de manière inclusive et participative, en tenant compte des enjeux pour les hommes et les femmes ?
16. Les conditions sont-elles réunies pour favoriser la participation des femmes (lieu et horaires des réunions, méthodes participatives inclusives, etc.) ?

Quartiers informels

17. Les mesures tiennent-elles compte des conditions particulières de vulnérabilité des quartiers précaires et habitats informels ?
18. Quelles sont les financements possibles pour améliorer l'habitat dans les zones précaires ?
19. Quelles actions de sensibilisation peuvent-elles être mises en place pour les groupes vulnérables ?



Pour aller plus loin...

Commentaires

UN Habitat et DiMSUR (2018) – Outil de planification d'actions pour la résilience urbaine (PARU)

CityRap Tool. City Resilience. Action Planning Tool

http://dimsur.org/city_rap/

L'outil de planification d'actions pour la résilience urbaine (PARU) — ou *CityRAP* — est un ensemble d'exercices de formation et d'activités qui visent à développer les capacités des gouvernements locaux en Afrique subsaharienne, en particulier des villes de petite ou moyenne taille, pour comprendre et planifier les actions qui permettront de construire progressivement la résilience urbaine et réduire les risques de leurs villes. L'outil CityRAP a été développé et testé par ONU-Habitat, en partenariat avec le Centre technique pour la réduction des risques de catastrophe, la durabilité et la résilience urbaine (DiMSUR).

GIZ (2010, 2011)

Information sur le changement climatique pour une adaptation effective. Manuel à l'intention des praticiens (2010)

<http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00453.pdf>

Le "Climate Proofing" pour le développement. S'adapter au changement climatique – réduire les risques (2011)

<http://www.environnement.gov.tn/PICC/wp-content/uploads/Le-Climat-Proofing-pour-le-d%C3%A9veloppement.pdf>

Ces deux guides sont destinés à aider les responsables de la planification à intégrer l'adaptation au changement climatique dans les plans de développement nationaux, sectoriels et locaux. Ils s'appuient sur la méthodologie du *Climate Proofing* conçue pour identifier et classer les options d'actions.

UN-Habitat (2019)

Addressing the Most Vulnerable First. Pro-Poor Climate Action in Informal Settlements

<https://unhabitat.org/books/pro-poor-climate-action-in-informal-settlement/>

Ce guide se concentre sur les risques « additionnels » posés par le changement climatique dans les quartiers précaires ou informels où les caractéristiques socio-économiques des populations résidentes (pauvreté extrême, faible capacité pour résister aux chocs, marginalisation, difficultés d'accès aux services de base) infléchissent leur niveau de vulnérabilité. Les dommages et pertes humaines sont souvent plus importants dans les quartiers informels et le retour à la normale est encore plus difficile pour ces populations qui peuvent rester privées de moyens de subsistance sur de longues périodes

GIZ et UN-Habitat (2015)

Gender and Urban Climate Policy: gender-Sensitive Policies Make a Difference

https://gendercc.net/fileadmin/inhalte/dokumente/8_Resources/Publications/Guidebook_Gender_and_Urban_Climate_Policy_June_2015.pdf

Ce guide propose, entre autres, une liste de questions à se poser pour s'assurer que les options d'adaptation tiennent compte des questions de genre.



Pour aller plus loin...

Commentaires

L'Alliance des villes pour le leadership de la finance climatique (CCFLA)

Plusieurs rapports sur le sujet

<https://www.citiesclimatefinance.org>

L'Alliance est une coalition de trente-six institutions principales qui se sont engagées à mobiliser du financement pour des infrastructures résilientes au changement climatique et à faibles émissions, en particulier au profit des communautés pauvres et vulnérables des villes.

Climate Chance

Observatoire de l'action climatique locale

<https://www.climate-chance.org/observatoire-de-laction/rapport2018/>

Association de dialogue et valorisation des actions des acteurs non étatiques en faveur du climat, en particulier dans une approche territoriale, elle publie un observatoire de l'action climatique locale dont un cahier est dédié à l'action territoriale et les outils disponibles

Banque asiatique de développement (2016)

Reducing Disaster Risk by Managing Urban Land Use : Guidance Notes for Planners

Guidance Note 2. Land Use Planning for Reducing Disaster Ris, pp 27-38

<https://www.adb.org/sites/default/files/publication/185415/disaster-risk-urban-land.pdf>

Ce guide de la Banque asiatique de développement donne des exemples détaillés de mesures à mettre en place au niveau des villes (zonage, normes de construction, avec de nombreux cas d'études.

UN-Habitat (2019)

Pro-Poor Climate action in Informal Settlements

<https://unhabitat.org/books/pro-poor-climate-action-in-informal-settlement/>

Ce guide constitue une ressource utile pour alimenter la réflexion sur la réduction de la vulnérabilité des quartiers précaires ou informels. Il présente les risques additionnels qui pèsent sur les populations des quartiers les plus pauvres et proposent des pistes d'actions ciblées.

USAID (2019)

Financing Climate Resilience in African Cities. A Reference Guide

[https://www.climatelinks.org/sites/default/files/asset/document/2019-USAID ATLAS-Financing Climate Resilience in African Cities.pdf](https://www.climatelinks.org/sites/default/files/asset/document/2019-USAID_ATLAS-Financing%20Climate%20Resilience%20in%20African%20Cities.pdf)

Ces deux guides listent des options de financements pour l'adaptation au changement climatique.

Hirsch et ACT Alliance (2018)

A Resource Guide to Climate Finance: An orientation to sources of funds for climate change programmes and action

<https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/ENGLISH-quick-guide-climate-finance.pdf>



Pour aller plus loin...

Commentaires

GIEC (2018)

« Strengthening and Implementing the Global Response » 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*

Chapitre 4, « Urban and Infrastructure System Transitions », pp 330-335

Chapitre 5, Box 13, « Cities and Urban Transformation », p 472

<http://www.ipcc.ch/report/sr15/>

Ces chapitres traitent principalement des questions d'atténuation (réduction des émissions de gaz à effet de serre), mais apportent aussi des exemples de stratégies ou de mesures d'adaptation (transformation) dans les secteurs de la construction, des transports urbains, de l'énergie, de l'eau et des infrastructures urbaines vertes.

RÉFÉRENCES

- Asian Development Bank. 2016. *Reducing Disaster Risk by Managing Urban Land Use: Guidance Notes for Planners*. <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/185415/disaster-risk-urban-land.pdf>.
- Association mondiale de la route. 2016. *Stratégies de transport pour l'atténuation et l'adaptation au changement climatique*. <https://www.piarc.org/ressources/publications/10/27823,2016R25FR.pdf>.
- Bureau national de gestion des risques et des catastrophes (BNGRC). 2018. *Madagascar: Cyclone tropical Ava. rapport de situation conjoint n°1*. https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/rapport_de_situation_conjoint_n1_cyclone_tropical_ava.pdf.
- Centre européen de prévention du risque inondation (CEPRI). 2019. *La prise en compte du risque d'inondation dans les Plans locaux d'urbanisme (PLU) communaux et intercommunaux. Guide méthodologique*. <http://www.cepri.net/actualites/items/un-nouveau-guide-du-cepri-sur-lintegration-du-risque-dinondation-dans-les-plui.html>.
- CNRS. 2016. « Représenter les risques ». *Des hommes et des risques. Menaces locales, menaces globales* (8113).
- GIZ. 2010. *Information sur le changement climatique pour une adaptation effective. Manuel à l'intention des praticiens*. <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00453.pdf>.
- . 2011. *Le « Climate Proofing » pour le développement. S'adapter au changement climatique - Réduire les risques*. <http://www.environnement.gov.tn/PICCC/wp-content/uploads/Le-Climat-Proofing-pour-le-d%C3%A9veloppement.pdf>.
- . 2017. *Guide de référence sur la vulnérabilité. Concept et lignes directrices pour la conduite d'analyses de vulnérabilité standardisées*. https://www.adaptationcommunity.net/?wpfb_dl=262.
- GIZ, et OECD. 2011. « Intégrer l'adaptation au changement climatique dans la planification du développement » : 75.
- GIZ, et UN-Habitat. 2015. *Gender and Urban Climate Policy: Gender-Sensitive Policies Make a Difference*. https://gendercc.net/fileadmin/inhalte/dokumente/8_Resources/Publications/Guidebook_Gender_and_Urban_Climate_Policy_June_2015.pdf.
- Groupe de la Banque mondiale, et Banque internationale pour la reconstruction et le développement. 2016. *Profil de risque de catastrophe. Madagascar*. Washington, Etats-unis. <http://documents.banquemonde.org/curated/fr/262521494235299571/Disaster-risk-profile-Madagascar>.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC/IPCC). 2012a. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- . 2012b. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge Univ. Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX_Full_Report-1.pdf.
- . 2014a. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change ; Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York, NY: Cambridge Univ. Press.

- . 2014b. *Regional Aspects*. New York, NY: Cambridge Univ. Press.
- . 2015. *Changements climatiques 2014: rapport de synthèse : contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Genève (Suisse): GIEC.
- . 2018. *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. Summary for Policy Makers*. <http://www.ipcc.ch/report/sr15/> (29 mai 2019).
- Hirsch, Thomas, et ACT Alliance. 2018. « A Resource Guide to Climate Finance: An Orientation to Sources of Funds for Climate Change Programmes and Action ». : 63.
- International Union for Conservation of Nature (IUCN), United Nations Development Programme (UNDP), et Lorena Aguilar. 2009. *Training Manual on Gender and Climate Change*. IUCN and UNDP. https://cmsdata.iucn.org/downloads/eng_version_web_final_1.pdf (3 juillet 2019).
- Ministère de l'environnement et des forêts. 2010. *Politique nationale de lutte contre le changement climatique*.
- Organisation météorologique mondiale. 2015. « Incidences du changement climatique sur les cyclones tropicaux ». *Organisation météorologique mondiale*. <https://public.wmo.int/fr/medias/nouvelles/incidences-du-changement-climatique-sur-les-cyclones-tropicaux> (18 juin 2019).
- Platts, Philip J., Peter A. Omeny, et Rob Marchant. 2015. « AFRICLIM: High-Resolution Climate Projections for Ecological Applications in Africa ». *African Journal of Ecology* 53(1): 103-8.
- Programme des Nations unies pour le développement (PNUD). 2011. *Formuler des scénarios climatiques pour éclairer les stratégies de développement résilient au climat. Guide à l'intention des praticiens*. New York: PNUD. <https://www.undp.org/content/dam/undp/library/Environment%20and%20Energy/Climate%20Strategies/French/Formulating-French-web%20final.pdf> (10 juillet 2019).
- pS-Eau Programme Solidarité-Eau. 2018. *Les services d'eau et d'assainissement face au changement climatique. Quels impacts ? Comment agir ?* https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ps_eau_les_services_eau_et_assainissement_face_au_changement_climatique_2018.pdf.
- Réseau Action Climat France. *Etalement urbain et changements climatiques. Etat des lieux et propositions*. <http://www.vizea.fr/actualites/etalement-urbain-rac.pdf>.
- UN Habitat. 2018. *City RAP tool: City Resilience Action Planning Tool*. http://dimsur.org/city_rap/.
- UNDP. 2010. *Mapping Climate Change, Vulnerability and Impact Scenarios. A Guidebook for Sub-National Planners*. https://www.adaptationcommunity.net/?wpfb_dl=58.
- UN-Habitat. 2012. *Gender Issue Guide: Urban Planning and Design*. Nairobi, Kenya. <https://unhabitat.org/books/gender-responsive-urban-planning-and-design/> (10 avril 2019).

- . 2019. *Addressing the Most Vulnerable First. Pro-Poor Climate Action in Informal Settlements*. Nairobi: UN-Habitat. <https://unhabitat.org/books/pro-poor-climate-action-in-informal-settlement/>.
- University of Notre Dame. « Country Index - Notre Dame Global Adaptation Initiative ». *Notre Dame Global Adaptation Initiative*. <https://gain.nd.edu/our-work/country-index/> (3 juin 2019).
- USAID. 2018a. *Risques climatiques dans les zones urbaines et en voie d'urbanisation*. Washington: Agence américaine pour le développement international. https://www.climatelinks.org/sites/default/files/asset/document/180404_USAID-ATLAS_Climate-Risks-in-Urban-and-Urbanizing-Geographies-Madagascar_French.pdf.
- . 2018b. *Risques climatiques dans les zones urbaines et en voie d'urbanisation*. Washington: Agence américaine pour le développement international. https://www.climatelinks.org/sites/default/files/asset/document/180404_USAID-ATLAS_Climate-Risks-in-Urban-and-Urbanizing-Geographies-Madagascar_French.pdf.
- . 2019. *Financing Climate Resilience in African Cities. A Reference Guide*. Washington: USAID. https://www.climatelinks.org/sites/default/files/asset/document/2019-USAID_ATLAS-Financing_Climate_Resilience_in_African_Cities.pdf.
- « Using Climate Data - 427 Technical Brief ». 2018. *Four Twenty Seven*. <http://427mt.com/2018/04/25/427-report-using-climate-data/> (3 juin 2019).

ANNEXES

PLANIFICATION URBAINE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

1. Quelles peuvent être les effets locaux des changements climatiques sur les villes de Madagascar ?

Les espaces urbains sont à la fois vecteurs et révélateurs des effets des changements climatiques : d'un côté, les villes participent à une part importante des émissions de gaz à effet de serre (GES) – de 60 à 70% selon ONU-Habitat et le GIEC; d'un autre, elles concentrent des populations, activités, infrastructures et services (logements, transport, énergie, industries, approvisionnement en eau, etc.) particulièrement sensibles à l'évolution des tendances climatiques et à l'augmentation de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes.

Le changement climatique exacerbe souvent des fragilités déjà existantes, en particulier pour les populations urbaines pauvres. Les zones d'habitat informel sont particulièrement exposées et vulnérables : les quartiers pauvres sont souvent situés en zone à risques (inondations et glissements de terrain); les habitats précaires sont facilement détruits en cas d'évènement extrême ; les ménages touchés disposent de peu d'options pour faire face aux dégâts.

Les effets du changement climatique, aujourd'hui et dans le futur, diffèrent d'une ville à une autre. Les villes côtières comme Morondava ou Toliara sont particulièrement exposées au risque de submersion marine ; des villes comme Tsihombe font face à des sécheresses sur des périodes de plus en plus longues et de plus en plus fréquentes ; des villes comme Toamasina et Antsiranana sont les plus exposées aux cyclones.

Les besoins en matière d'adaptation, et les défis qu'ils posent, s'accroissent à mesure que les effets du changement climatique s'amplifient.

2. Pourquoi les villes doivent intégrer les changements climatiques dans la planification ? Quelles sont les responsabilités des municipalités à ce sujet ?

Si la politique climatique est négociée au niveau national par le gouvernement, les collectivités locales sont des maillons cruciaux de l'adaptation aux changements climatiques.

Une ville capable de s'adapter est une ville prête à affronter les impacts des changements climatiques présents et futurs. La politique d'adaptation répond aux spécificités locales, tout en s'inscrivant dans le cadre défini au niveau national. Plusieurs facteurs sont favorables à la mise en œuvre de stratégie d'adaptation au niveau des villes.

Premièrement, au plus proche des enjeux locaux, les municipalités peuvent observer et interpréter rapidement les impacts concrets du changement climatique sur leur territoire. Les effets du changement climatique, et des événements extrêmes, se font sentir immédiatement au niveau local : en janvier 2018, le cyclone Ava et les conséquentes inondations affecte sévèrement la ville de Toamasina avec 51 décès, plus de 50 000 personnes évacuées, plus de 500 salles de classe détruites, 600 puits inondés et de nombreux dégâts sur les infrastructures sanitaires et d'approvisionnement en eau potable ((Bureau national de gestion des risques et des catastrophes (BNGRC) 2018).

Deuxièmement, le changement climatique nécessite des actions collectives impliquant les citoyen-ne-s, les autorités et administrations, le secteur privé, les associations, les universités et autres organisations de la société civile. L'échelle de la ville, ni trop petite, ni trop grande, est particulièrement appropriée pour agir et catalyser les synergies possibles. Les gouvernements locaux peuvent travailler en étroite collaboration avec les citoyen-ne-s et les faire participer aux efforts qu'ils déploient pour s'adapter aux changements climatiques observés ou anticipés.

Guide méthodologique

MADAGASCAR – ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LA PLANIFICATION URBAINE

Troisièmement, les collectivités territoriales peuvent servir de modèles et fournir des exemples positifs de moyens visant à réduire la vulnérabilité des populations et infrastructures. L'adaptation des normes et de la réglementation, en fonction des évolutions climatiques, est une exigence applicable à l'ensemble des secteurs qui relèvent de la planification urbaine. Les compétences dévolues aux communes en matières économiques, sociales, culturelles et environnementales leur imposent d'intervenir des domaines d'actions liés au changement climatique : gestion des infrastructures, des équipements, de la voirie, des déchets, et des systèmes d'eau et d'assainissement, définition et réalisation des programmes d'habitat et des équipements publics urbains, mise en œuvre de mesures contre les catastrophes naturelles, contribution à la préservation de l'environnement et des ressources naturelles, et prévention et lutte contre les feux de forêt (loi n°2014 – 018 du 12 septembre 2014). Les municipalités peuvent par exemple élaborer des réglementations pour adapter les bâtiments aux inondations ou aux cyclones, ou encadrer le développement de certaines zones à risques.

Quatrièmement, les collectivités locales sont bien placées pour intégrer les questions sociales dans l'action climatique, en particulier en ce qui concerne la réduction de la pauvreté et des inégalités.

Cinquièmement, les municipalités ont la responsabilité de produire et de diffuser les informations sur les changements climatiques, leurs impacts et les options possibles pour s'y adapter. L'une des difficultés réside dans le fait que l'information est controversée et en évolution constante. Les villes peuvent s'appuyer sur des partenariats avec des universités, des centres de recherche ou des expert·e·s internationaux. Elles doivent également associer les populations locales pour intégrer leurs connaissances, préoccupations et priorités dans les plans d'actions).

3. Quels avantages les villes peuvent-elles tirer des mesures d'adaptation ?

Les investissements réalisés en faveur de l'adaptation peuvent avoir des bénéfices sociaux ou économiques pour les villes, quelle que soit la situation future. Les mesures dites « gagnant-gagnant » ou « sans regret » ont des avantages immédiats ou de court terme pour les villes et leurs populations, en termes de conditions de vie, d'économie, de sécurité des biens et de préservation des ressources naturelles (voir section D). Par exemple, l'amélioration des réseaux d'assainissement pour éviter les débordements en cas de pluies exceptionnelles est un besoin aujourd'hui

avéré pour la plupart des villes et contribuerait à diminuer les risques sanitaires (co-bénéfice).

Au niveau local, la politique climatique peut s'appuyer sur la combinaison des mesures d'atténuation et d'adaptation.

4. Que signifie adapter les villes aux changements climatiques ?

L'adaptation vise à ajuster les politiques urbaines pour réduire les risques liés aux changements climatiques.

Tous les domaines de la planification urbaine et des décisions d'investissement offrent des occasions propices à l'intégration du changement climatique et des mesures d'adaptation (voir section C): normes et pratiques du bâtiment, limitation du développement dans les zones exposées aux inondations et glissements de terrain, services municipaux d'approvisionnement en eau et d'assainissement, production et distribution d'électricité, infrastructures et services de transport, protection des zones côtières, gestion des risques de catastrophes, préservation des espaces verts urbains, santé des populations, sensibilisation et éducation, etc.

Il ne s'agit pas « d'ajouter une couche » de mesures avec des coûts hors de portée des municipalités, mais d'intégrer le changement climatique de façon transversale et systématique dans le processus de planification (*mainstreaming*).

Il n'existe pas d'approche universelle capable de réduire les risques liés au changement climatique. La vulnérabilité et les options envisageables pour la réduire varient d'une ville à une autre. La stratégie et les mesures d'adaptation doivent être modulées en fonction de la localisation, de la morphologie et du contexte socio-économique de chaque ville. Cela s'appuie sur une bonne connaissance du territoire.

5. Comment articuler adaptation aux changements climatiques et prévention des catastrophes et risques naturels ?

Les stratégies de prévention des risques de catastrophes et les stratégies d'adaptation aux changements climatiques peuvent très souvent être associées, les premières pouvant servir de points d'entrée pour élaborer ces dernières. Dans les deux cas, l'élaboration des plans d'action fait intervenir de multiples disciplines : architecture, urbanisme, sciences de l'environnement et sociologie (étude des représentations des risques et des comportements).

Certains effets des changements climatiques (hausse des températures, élévation du niveau de la mer par exemple) peuvent cependant être moins visibles, plus progressifs et moins immédiats que les catastrophes « classiques » sur lesquelles les pouvoirs publics ont l'habitude d'agir. Les villes doivent en tenir compte et couvrir toute la complexité du changement climatique.

6. Comment prendre des décisions publiques dans un contexte de forte incertitude ?

Quelles que soient la fiabilité des informations disponibles et la capacité des modèles numériques, il reste toujours une part importante d'incertitude, avec des implications concrètes pour les politiques urbaines. La surestimation des risques peut entraîner le découragement et l'inaction des collectivités locales, les réponses d'adaptation étant jugées trop coûteuses par rapport aux moyens disponibles. La sous-estimation des risques peut également affecter la capacité de préparation des villes.

Plus l'échelle considérée est petite, plus l'incertitude augmente. Certains impacts ne peuvent être prédits à l'échelle d'une ville et doivent être considérés à une échelle plus large.

Le niveau de détail requis pour élaborer une politique d'adaptation n'est pas nécessairement élevé : les tendances climatiques qualitatives (augmentation des températures moyennes, fréquence accrue des périodes de sécheresse, élévation du niveau marin, etc.) suffisent souvent pour alimenter la réflexion sur les mesures à mettre en place.

L'une des approches les plus courantes pour gérer l'incertitude est de procéder par scénarios : les scénarios optimistes, médians et pessimistes

Pour prendre des décisions et gérer les risques de manière efficace, il est recommandé de procéder par itération : les stratégies et mesures sont adaptées à mesure que de nouvelles informations sont connues et que les impacts sont mieux compris (gestion adaptative).

7. Existe-t-il des modélisations climatiques adaptées aux échelles urbaines ?

Les modèles climatiques régionaux (comme CORDEX) mettent en évidence des tendances climatiques moyennes et les probables changements de variabilité interannuelle à des échelles dépassant la dizaine de kilomètres. Ils ne permettent pas de donner des réponses à l'échelle intra-urbaine. D'autres types de modèles, plus adaptés à l'échelle de la ville, affinent l'analyse.

8. Comment faire accepter ou rendre acceptables les mesures d'adaptation ?

L'acceptabilité sociétale du changement climatique est une condition nécessaire pour l'efficacité des politiques climatiques. Plusieurs facteurs influencent l'acceptabilité des mesures engagées, tels que le degré de compréhension et de perception des risques, la connaissance des alternatives possibles, l'acceptation des coûts, la volonté politique et le niveau de confiance vis-à-vis des collectivités territoriales et de leurs élus.

Visant une démarche de participation éclairée, les municipalités doivent veiller à partager et à traduire dans un langage accessible au grand public les informations qu'elles compilent. Plusieurs étapes de la planification offrent des opportunités de consultation et de participation aux décisions publiques : compilation d'expériences passées et de leçons apprises, caractérisation de la vulnérabilité, hiérarchisation des risques et évaluation des options d'adaptation possibles. Ce guide propose des exemples de méthodes participatives adaptées.

9. Quels sont les liens entre changement climatique et développement durable ?

Le développement ne peut pas être durable s'il est aveugle aux changements climatiques. Ces derniers représentent une menace pour le développement durable et aggravent d'autres menaces qui pèsent déjà sur les systèmes sociaux et naturels.

Comme le souligne le GIEC, les mesures d'atténuation et d'adaptation doivent être liées à la poursuite d'autres objectifs sociétaux : « Il est possible d'adopter dès maintenant des stratégies et des actions qui contribueront à créer les conditions propices à l'adaptation au changement climatique et au développement durable, tout en facilitant l'amélioration des moyens de subsistance et du bien-être social et économique, et une gestion rationnelle de l'environnement » (GIEC, 2015).

EXEMPLES D'INDICES DE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Données de température

Température moyenne

La température moyenne quotidienne se calcule pour chaque jour, comme la moyenne de la température minimale et de la température maximale simulée durant le jour considéré. Cet indice s'exprime en degrés Celsius - °C.

Température minimale

La température minimale (Tmin) quotidienne représente la température la plus basse simulée durant le jour considéré. Cet indice s'exprime en degrés Celsius - °C.

Température maximale

La température maximale (Tmax) quotidienne représente la température la plus élevée simulée durant le jour considéré. Cet indice s'exprime en degrés Celsius - °C.

Amplitude thermique

L'amplitude thermique correspond à l'écart entre la température minimale et maximale durant une période considérée. Cette période peut être quotidienne, mensuelle, saisonnière ou annuelle. Cet indice s'exprime en degrés Celsius - °C.

Extrême chaud de la température maximale

Afin de caractériser les valeurs les plus chaudes de la température maximale quotidienne, on utilise le 90^{ème} centile de Tmax : par exemple, pour les valeurs annuelles, on classe pour chaque année les 365 (ou 366) valeurs quotidiennes de Tmax dans l'ordre croissant, le 90^{ème} centile représentant la valeur au-dessus de laquelle se trouve les 10% de valeurs les plus élevées (soit la 328^{ème} valeur). Cet indice s'exprime en degrés Celsius - °C.

Extrême chaud de la température minimale

Cet indice est calculé de manière similaire à l'extrême chaud de la température maximale, mais pour cet indice on utilise le 90^{ème} centile de la température minimale. Cet indice s'exprime en degrés Celsius - °C.

Nombre de jours anormalement chauds

Cet indice permet de quantifier l'occurrence de périodes anormalement chaudes (en comparaison à une climatologie) en comptant le nombre de jours pour lesquels la température maximale quotidienne dépasse de plus de 5°C une valeur climatologique de référence. Cet indice s'exprime en nombre de jours.

Nombre de nuits anormalement chaudes

Cet indice est calculé de manière similaire au nombre de jours anormalement chauds, en considérant cette fois le nombre de jours pour lesquels la température minimale quotidienne dépasse de plus de 5°C la valeur climatologique de référence. Cet indice s'exprime en nombre de jours.

Nombre de jours de vague de chaleur

Une vague de chaleur est définie comme une période anormalement chaude durant plus de 5 jours (au moins six jours) consécutifs. Comme pour l'indice du nombre de jours anormalement chaud, on détermine les jours pour lesquels la température maximale quotidienne dépasse de plus de 5°C une valeur climatologique de référence, mais en ne comptant que les jours appartenant à une série de plus de cinq jours chauds consécutifs. Cet indice s'exprime en nombre de jours.

Données de précipitation

Les indices de précipitation se calculent à partir des précipitations quotidiennes simulées, représentant pour chaque jour le cumul de la pluie et de la neige. L'unité des précipitations est en $\text{kg/m}^2/\text{jour}$ en sortie des modèles, mais en considérant une densité constante des précipitations égale à celle de l'eau liquide, cette unité est équivalente à des mm/jour (1 kg d'eau liquide représente une hauteur d'eau de 1 mm répartie sur une surface de 1 m^2)

Précipitations quotidiennes

Cet indice donne les précipitations liquides moyennes quotidiennes en mm/jour . Il correspond à la quantité d'eau liquide atteignant le sol.

Précipitations moyennes les jours pluvieux

Cet indice donne les précipitations moyennes pour les jours ayant au moins 1 mm de pluie par jour (à redéfinir localement). Cet indice s'exprime en mm/jour .

Cumul de précipitations

Cet indice donne la quantité d'eau liquide et d'eau solide atteignant le sol. Cet indice s'exprime en mm/jour .

Nombre de jours de pluie

Cet indice donne le nombre de jours pour lesquels le cumul de précipitations est supérieur à x mm (à définir localement). Cet indice s'exprime en nombre de jours.

Nombre de jours de fortes précipitations

Cet indice donne le nombre de jours pour lesquels les précipitations quotidiennes dépassent un certain seuil exprimé en mm (à définir localement). Ce seuil permet d'isoler les événements de précipitations intenses. Cet indice s'exprime en nombre de jours.

Nombre maximum de jours de pluie consécutifs

Cet indice donne le maximum de jours consécutifs ayant eu un cumul de précipitations au moins supérieur à 1 mm. Cet indice s'exprime en nombre de jours.

Période de sécheresse

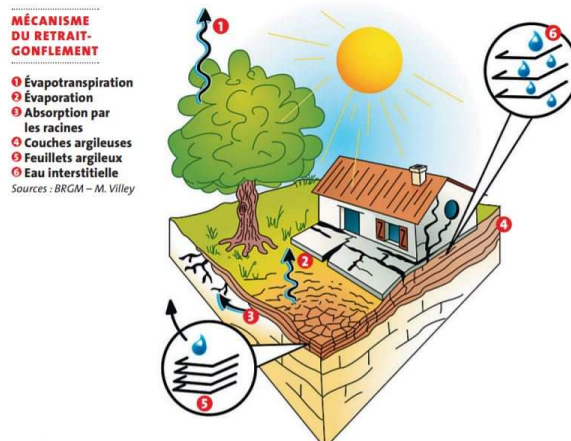
L'indice qui permet de caractériser l'intensité des sécheresses du point de vue météorologique, est le nombre maximum de jours secs consécutifs. Un jour est considéré sec si les précipitations quotidiennes lui correspondant n'ont pas excédé x mm (à définir localement). Cet indice s'exprime en nombre de jours.

FICHES THEMATIQUES

Habitat

Pour une analyse approfondie de la vulnérabilité, il faudra dans un premier temps établir une typologie de l'habitat (individuel/collectif, bas/moyen/haut standing, précaire, etc.).

Les impacts potentiels peuvent ensuite être déclinés suivant différentes composantes: infrastructure, enveloppe, toiture, plomberie et réseaux, électricité, assainissement, confort/mode de vie, santé, etc.



Source : BRGM (2016). *Le retrait-gonflement des argiles*

Facteurs d'exposition

Densité de population en hab./km² (RPGH ou sources secondaires en attendant les résultats du dernier recensement)
Part des surfaces imperméabilisées / urbanisées / végétalisées
Surfaces et nombre d'habitations en zones à risques (inondables par exemple)
Localisation géographique et topographie (proximité du littoral, pentes, etc.)

Facteurs de vulnérabilité

Matériaux de construction et fondations
Typologie de l'habitat
Niveau de revenu des ménages
Indices de pauvreté
Age des résident-e-s

Impacts



Augmentation des températures
Sécheresse

- Effets de retrait / gonflements des argiles
- Dégradation des conditions de confort hygrothermique¹
- Retrait/gonflement des argiles, fissurations et fragilisation des fondations
- Augmentation de la consommation d'eau et impact sur le service d'approvisionnement (pression sur la ressource)
- Dégradation des conditions de confort hygrothermique
- Risques sanitaires pour les habitant.e.s



Précipitations

- Inondations
- Dégradation (dommages physiques) ou destruction des logements
- Risques de contamination de l'eau et rupture d'approvisionnement
- Déformation et fissuration
- Détérioration des parois, planchers et du mobilier
- Humidité des sols et infiltrations
- Mouvements des fondations
- Mise en flottaison des habitations légères
- Détérioration des enduits et revêtements

¹ Assurer un confort hygrothermique signifie assurer une température constante en toute saison, un taux d'humidité de 40 à 60 % et une différence maximale de température entre l'air intérieur et les parois de 3 °C. Ceci doit permettre d'éviter le dessèchement des muqueuses ou la sensation d'étouffement par excès d'humidité, la condensation sur les murs et donc les effets de moisissure, la dégradation de certains types d'enveloppe des bâtiments et la dégradation des isolants. Les paramètres du confort hygrothermique sont : l'isolation thermique des parois, la protection solaire des parois vitrées, la ventilation, la régulation et disposition des systèmes de chauffage et de refroidissement.

Impacts

- Pannes des installations électriques et court-circuits
- Inondation des réseaux
- Dommages sur les aménagements extérieurs
- Blessures, risques allergiques, problèmes respiratoires
- Fluctuation des prix du foncier, déséquilibre entre l'offre et la demande de logement
- Risques sanitaires pour les habitant.e.s (maladies d'origine hydrique notamment)



Cyclones

- Dégradation (dommages physiques) ou destruction des habitations
- Impacts des inondations liées aux fortes précipitations
- Arrachement de toitures
- Infiltrations
- Risques de coupures de l'alimentation en eau, électricité et gaz
- Déracinement d'arbres et dégâts sur les aménagements extérieurs
- Risques sanitaires pour les habitant.e.s (maladies d'origine hydrique notamment)



Elévation du
niveau de la mer

- Destruction ou dommages sur les logements en zone côtière, par submersion marine
- Erosion littorale

Options d'adaptation

- L'adaptation au changement climatique dans le secteur de l'urbanisme et du cadre bâti comporte essentiellement deux types d'actions au-delà de la production et la diffusion de l'information sur le changement climatique: 1) les normes, règlements et incitations et 2) l'aménagement de l'espace et l'amélioration de la qualité des constructions ou rénovation, en prêtant une attention particulière aux groupes vulnérables des quartiers précaires.
- Il s'agira par exemple de:
 - Renforcer les exigences de confort thermique en tenant compte des risques de maladaptation (recours renforcé à la climatisation par exemple)
 - Renforcer l'efficacité énergétique des logements
 - Identifier les zones à risques vis-à-vis du phénomène de retrait gonflement des argiles
 - Intégrer les solutions locales en cohérence avec le mode de vie des habitant.e.s, les énergies renouvelables existantes et l'utilisation des matériaux et techniques locales ou traditionnelles
 - Former les artisans et propriétaires ou habitant.e.s aux techniques adaptées
 - Sensibiliser les propriétaires et usagers aux risques et aux mesures possibles
- L'adaptation destinée à rendre les bâtiments plus vivables dans le contexte d'un climat plus chaud pourra réduire la demande d'énergie, ce qui contribuera également à l'atténuation du changement climatique.

Sources d'information

- Statistiques de l'Institut national de la statistique (INSTAT) dont les données socio-démographiques du RPGH (prochain rapport annoncé en 2020)
- Normes et réglementation concernant la construction (normes para-cycloniques par exemple)
- Code de l'urbanisme
- Normes ISO pour les bâtiments et matériaux de construction (<https://www.iso.org/fr/ics/91/x/>)

Parties prenantes

- Ministère de l'aménagement du territoire, de l'habitat et des travaux publics (MAHTP)
- Bureau national des changements climatiques, du carbone et de la REDD+ (BNCCC-REDD+)
- Cellule de prévention et gestion des urgences (CPGU)
- Elu.e.s
- Préfet
- Promoteurs et constructeurs
- Entreprises du bâtiment et artisans
- Associations de quartiers
- Associations de femmes
- Autres associations locales
- Bailleurs de fonds et ONG, qui peuvent financer des programmes de réhabilitation / construction de logements adaptés au changement climatique ou fournir un appui technique et une expertise

Risques de mal-adaptation et points de vigilance

- Le bâtiment doit être appréhendé de manière globale au regard de ses multiples interactions avec ses occupants (santé, accessibilité, sécurité, risques domestiques, etc.) et avec son environnement (économie des ressources, déchets, gestion des risques naturels et technologiques, aménagement du territoire etc.).
- Evaluer l'impact sanitaire des mesures d'adaptation du bâtiment (qualité de l'air)
- Tenir compte des capacités d'entretien et de maintenance des habitants.e.s et propriétaires
- Tenir compte du risque d'aggravation des inégalités sociales en termes d'accès aux services et des inégalités d'adaptation entre les quartiers

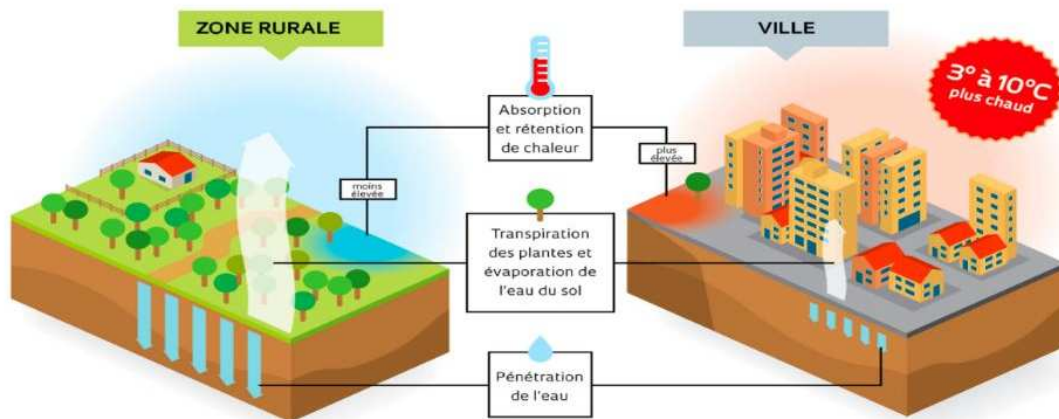
Pour aller plus loin

Réseau Habitat et Francophonie (2015). *L'habitat social face au changement climatique: quelles mesures adopter pour atténuer les impacts sur l'environnement, Synthèse de la 48ème conférence RHF, 28-30 avril 2015 (Rabat, Maroc)*

<http://habitatfrancophonie.org/wp-content/uploads/2016/02/Synth%C3%A8se-48%C3%A8me-Conf%C3%A9rence-RHF-Rabat-2015.pdf>

Bâtiments publics

Pour une analyse approfondie de la vulnérabilité, il faudra dans un premier temps établir une typologie des bâtiments et de leurs usages (commercial, tertiaire, administratif, infrastructure critique comme les hôpitaux, etc.)
 Les impacts potentiels peuvent ensuite être déclinés suivant différentes composantes: infrastructure, enveloppe, toiture, plomberie et réseaux, électricité, assainissement, confort, santé, etc.



Source : https://bybeton.fr/grand_format/maitrise-ilots-de-chaueur-urbains-solutions-beton

Facteurs d'exposition

Surface des bâtiments
 Nombre de bâtiments
 Localisation géographique et topographie (proximité du littoral, pentes, etc.)

Facteurs de vulnérabilité

Architecture des bâtiments
 Matériaux de construction
 Fondations
 Typologie d'usage des bâtiments (santé, éducation, administratif, etc.)

Impacts



Augmentation des températures
 Sécheresse

- La hausse des températures moyennes et la fréquence et durée accrue des vagues de chaleur accentueront le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU), phénomène désignant des élévations localisées des températures enregistrées en milieu urbain par rapport aux zones rurales ou forestières environnantes.
- Dégradation des conditions de confort hygrothermique
- Effets sur le comportement géotechnique des sols et notamment retrait / gonflement des argiles avec risques de fragilisation des fondations et fissurations
- Puissance appelée pour la climatisation plus importante



Précipitations

- La tendance à l'imperméabilisation croissante des surfaces urbaines et à l'urbanisation croissante en zone inondable est de nature à augmenter la vulnérabilité aux risques d'inondation
- Dégradation (dommages physiques) ou destruction des bâtiments



Cyclones

- Dégradation (dommages physiques) ou destruction des bâtiments
- Impacts des inondations liées aux fortes précipitations



Élévation du niveau de la mer

- Destruction ou dommages sur les bâtiments en zone côtière, par submersion marine
- Erosion littorale

Options d'adaptation

- Les bâtiments ont en général une durée de vie de nombreuses décennies: pour que la politique d'adaptation soit efficace, il faut donc envisager les constructions de manière adéquate et améliorer le bâti et le milieu urbain existants (rénovation). Sont présentées ci-dessous quelques options d'adaptation :
 - Evaluer l'exposition et la vulnérabilité des infrastructures critiques (hôpitaux, centres de santé, écoles, etc.)
 - Renforcer les exigences de confort thermique en tenant compte des risques de maladaptation (recours renforcé à la climatisation par exemple)
 - Renforcer l'efficacité énergétique des bâtiments (architecture bioclimatique pour la conception) et intégrer la possibilité des vagues de chaleur dans la conception des bâtiments neufs et la réhabilitation
 - Végétaliser (la ville, les toits, les murs...) : arboriser les espaces publics et trottoirs - conserver au maximum les arbres existants et développer la végétation le cas échéant en choisissant des variétés adaptées.
 - Développer les surfaces et matériaux à fort albédo (limitant l'absorption du rayonnement solaire pour constructions, revêtements routiers, etc.) et choisir des formes urbaines limitant les îlots de chaleur, couloirs éoliens...
 - Identifier les zones urbaines exposées aux inondations en cas de fortes pluies
- L'adaptation destinée à rendre les bâtiments plus vivables dans le contexte d'un climat plus chaud pourra réduire la demande d'énergie, ce qui contribuera également à l'atténuation du changement climatique.

Sources d'information

- Normes et réglementations concernant la construction (normes para-cycloniques par exemple)
- Code l'urbanisme
- Normes ISO pour les bâtiments et matériaux de construction (<https://www.iso.org/fr/ics/91/x/>)

Parties prenantes

- Ministère de l'aménagement du territoire, de l'habitat et des travaux publics (MATHTP)
- Bureau national de coordination des changements climatiques (BNCC)
- Cellule de prévention et gestion des urgences (CPGU)
- Elu.e.s
- Préfet
- Promoteurs et constructeurs
- Entreprises du bâtiment et artisans
- Associations de quartiers
- Associations de femmes
- Autres associations locales
- Organisations internationales, comme UN-Habitat, qui peuvent financer des programmes de réhabilitation / construction de logements adaptés au changement climatique ou fournir un appui technique et une expertise

Risques de mal-adaptation et points de vigilance

- Eviter le recours systématique à la climatisation
- Evaluer l'impact sanitaire des mesures d'adaptation du bâtiment (qualité de l'air)

Pour aller plus loin

Centre national de recherches météorologiques (France), « Ilots de chaleur urbains »
<https://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article197>

Fiche thématique 3

Activités économiques (industrie, tertiaire)

Les activités économiques vont subir des effets des changements climatiques, qui peuvent être directs (dommages sur les équipements dus à des événements extrêmes), indirects (pression accrue sur la ressource en eau) et en cascade (la baisse de productivité agricole affecte l'industrie agro-alimentaire).

Facteurs d'exposition

Localisation géographique et topographie (proximité du littoral, pentes, etc.)

Facteurs de vulnérabilité

Typologie d'usages (tertiaire, commercial, industriel, etc.)
Taux d'équipement en systèmes de refroidissement
Consommation énergétique et en eau

Impacts



Augmentation des températures
Sécheresse

- Hausse des besoins en énergie (pour le refroidissement)
- Dégradation des conditions de confort thermique et des conditions de travail
- Pression sur la ressource en eau



Précipitations

- Dégradation, fragilisation (dommages physiques) ou destruction des infrastructures en cas d'inondations



Cyclones

- Dégradation (dommages physiques) ou destruction des infrastructures
- Impacts des inondations liées aux fortes précipitations



Elévation du niveau de la mer

- Destruction ou dommages sur les infrastructures situées en zone côtière, par submersion marine
- Intrusions salines (pollution des eaux)

Options d'adaptation

- Optimiser la gestion de l'eau
- Optimiser la consommation énergétique
- Pour les nouvelles infrastructures, éviter les zones à risque ou concevoir les installations de manière à anticiper les effets de changements climatiques (inondations, cyclones, glissements de terrain, etc.)
- Mettre en place des mesures de gestion pour les intrusions salines (optimisation des prélèvements ou systèmes de protection par exemple)
- Améliorer le confort thermique des infrastructures et leur résilience à l'augmentation des températures

Sources d'information

- Plans de prévention élaborés par les industriels
- Programme d'action national d'adaptation au changement climatique (PANA)

Parties prenantes

- Elu.e.s
- Services municipaux en charge du développement économique
- Préfet
- Ministère de l'industrie, du commerce et de l'artisanat
- Chambre de commerce et d'industrie
- Bureau national de coordination des changements climatiques (BNCC)
- Cellule de prévention et gestion des urgences (CPGU)
- Secteur privé (industriels, etc.)

**Risques de mal-
adaptation et
points de vigilance**

- Utilisation inefficace de ressources
- Transfert incontrôlé de vulnérabilité
- Erreur de calibrage

Agriculture urbaine

Les fonctions remplies par l'agriculture en ville sont primordiales, allant de simples réserves foncières pour accueillir l'expansion urbaine, des espaces de production complémentaires à la production rurale (comme à Madagascar) à un élément essentiel des villes durables (services écosystémiques et rôle dans l'atténuation).

L'agriculture urbaine peut constituer une stratégie d'adaptation au réchauffement climatique, contribuant à développer la résilience des villes. Dans un contexte de pauvreté, les zones urbaines sont en proie à des difficultés concernant la sécurité alimentaire, notamment à Antananarivo. Cela implique une moindre capacité à s'adapter aux impacts du changement climatique. L'agriculture urbaine est un moyen de sécuriser l'approvisionnement, sans dépendre du transport alimentaire, tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre liés au transport.

Facteurs d'exposition

Surface des parcelles agricoles
Localisation des parcelles

Facteurs de vulnérabilité

Statistiques agricoles (nombre d'emplois, types de production, pourcentage de terres irriguées, part de l'agriculture dans la consommation en eau, etc.)
Nombre de ménages dépendant de la production agricole concernée

Impacts



Augmentation des températures
Sécheresse

- Evolution des pratiques (techniques, dates de semis et récoltes)
- Impacts sur les rendements
- Prolifération de parasites et de maladies des cultures



Précipitations

- Dommages ou destruction des cultures
- Sécheresse et pression sur la ressource en eau
- Baisse de la qualité de l'eau
- Impacts sur les rendements
- Impacts sur la sécurité alimentaire
- Erosion des sols



Cyclones

- Dommages ou destruction des cultures
- Impacts sur la sécurité alimentaire



Elévation du niveau de la mer

- Erosion littorale
- Augmentation de la salinité des sols et baisse de productivité

Options d'adaptation

- Optimiser le stockage de l'eau
- Promouvoir une agriculture efficiente en eau
- Techniques de production adaptées et résilientes (agriculture climato-intelligente)
- Mise en place d'assurances contre les risques climatiques (voir programme PrAda soutenue par la GIZ)
- Valoriser les déchets
- Synergie entre adaptation et atténuation (stockage de carbone dans le sol et la biomasse)

Sources d'information

- Programme d'action national d'adaptation au changement climatique (PANA)
- Plans de prévention élaborés par les gestionnaires de réseaux
- AFD, Améliorer la productivité agricole à Madagascar (PAPAM)
- GIZ et Ministère de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche (2017-2022), Programme "Adaptation des chaînes de valeur agricoles au changement climatique (PrAda)"
- GIZ et Ministère de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche, Projet Agriculture durable par une approche paysage (PADAP)

Parties prenantes

- Elu.e.s
- Préfet
- Ministère de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche (MAEP)
- Bureau national de coordination des changements climatiques (BNCC)
- Cellule de prévention et gestion des urgences (CPGU)
- Associations de quartiers
- Associations de femmes
- Autres associations locales
- ONG et organisations internationales actives dans le secteur de l'eau (pS-Eau par exemple) et de l'agriculture (par exemple Eau, agriculture, santé en milieu tropical (EAST) qui procure des conseils en assainissement lié à l'agriculture urbaine, Action contre la Faim ou Gavalor et Madacompost qui disposent d'une expertise technique sur la valorisation des déchets)

Risques de mal-adaptation et points de vigilance

Utilisation inefficace de ressources
Transfert incontrôlé de vulnérabilité
Erreur de calibrage

Pour aller plus loin

Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) - Plateforme de connaissances sur l'agriculture familiale "Agriculture climato-intelligente à Madagascar"
<http://www.fao.org/family-farming/detail/fr/c/380446/>

Cirad (2015). *Changement climatique et agriculture. Une sélection des compétences du Cirad*
<http://habitatfrancophonie.org/wp-content/uploads/2016/02/Synth%C3%A8se-48%C3%A8me-Conf%C3%A9rence-RHF-Rabat-2015.pdf>

GIZ et DGM (2017). *Guide d'interprétation des informations climatiques dans la région de Boeny pour les secteurs Agriculture et Elevage*
<https://europa.eu/capacity4dev/gcca-community/documents/guide-dinterpretation-des-informations-climatiques-pour-les-secteurs-agriculture-et>

Energie (électricité)

En raison des émissions de gaz à effet de serre, le secteur de l'énergie joue un rôle important en tant que vecteur du changement climatique, mais il est également susceptible de subir les événements climatiques extrêmes et les tendances d'évolution (augmentation des températures par exemple).

Toute la chaîne de valeurs du domaine énergétique – production, transport, distribution et consommation – peut être affectée par les effets des changements climatiques. Les sécheresses et les inondations affectent considérablement la production hydroélectrique; les lignes de transport et de distribution risquent de subir des dégâts causés par les tempêtes et les cyclones (avec des pannes de courant qui peuvent s'avérer coûteuses). De plus, la demande d'énergie est appelée à augmenter, avec la croissance démographique, le développement économique et le surplus de climatisation supplémentaire avec le réchauffement climatique.

Il existe une réelle opportunité de rendre le secteur énergétique plus résilient (diversification des sources d'énergie par exemple).

Facteurs d'exposition

Implantation des réseaux (localisation, hauteur, etc.)

Facteurs de vulnérabilité

Systèmes de protection

Conception des infrastructures et réseaux (de la production à la distribution)

Impacts



Augmentation des températures
Sécheresse

- Hausse de la demande énergétique correspondant à la hausse des températures et aux besoins de refroidissement (climatisation et systèmes de refroidissement des équipements professionnels)
- Difficulté de refroidissement des unités industrielles
- Risques d'incendie accrus y compris pour les lignes électriques
- Résistance électrique accrue sur les lignes électriques (perte d'efficacité du réseau)



Précipitations

- Modification de la production hydroélectrique ou de biomasse-énergie (sécheresse et événements extrêmes)
- Perturbation du système de distribution d'électricité



Cyclones

- Dégradation, fragilisation (dommages physiques) ou destruction des infrastructures
- Impacts des inondations liées aux fortes précipitations
- Perturbation de la production et du service d'alimentation en énergie



Elévation du niveau de la mer

- Intrusions salines et corrosion des équipements
- Augmentation des besoins en énergie pour des unités de dessalement

Options d'adaptation

- Favoriser le recours à des équipements de refroidissement (climatisation) plus efficaces ou utilisant des sources d'énergies renouvelables ou de récupération
- Identifier les secteurs de l'industrie sensibles au changement climatique (agriculture, tourisme, transport, etc.) et les implications en termes énergétiques
- Renforcer les installations pour résister aux événements extrêmes (augmenter la résilience) et aux impacts tels que la corrosion
- Effectuer un entretien régulier des équipements
- Mettre en place des plans d'urgence et de gestion de crise
- Relocaliser certaines infrastructures critiques

Sources d'information

- Programme d'action national d'adaptation au changement climatique (PANA)
- Plans de prévention élaborés par les gestionnaires de réseaux

Parties prenantes

- Elu.e.s
- Ministère de l'eau, de l'énergie et des hydrocarbures
- Bureau national de coordination des changements climatiques (BNCC)
- Distributeurs d'énergie
- Secteur privé
- Associations de quartiers
- Associations de femmes
- Autres associations locales
- ONG et organisations internationales actives dans le secteur de l'énergie

Risques de mal-adaptation et points de vigilance

- Utilisation inefficace de ressources
- Transfert incontrôlé de vulnérabilité
- Erreur de calibrage

Pour aller plus loin

European Union Energy Initiative (2017). *Energy and Climate Change Adaptation in Developing Countries*
http://www.euei-pdf.org/sites/default/files/field_publication_file/euei_pdf_2017_energy_and_climate_change_adaptation_in_developing_countries.pdf

Banque mondiale (2011). *Climate Impacts on Energy Systems: Key Issues for Energy Sector Adaptation*.
<http://documents.worldbank.org/curated/en/580481468331850839/pdf/600510PUB01D181impacts09780821386972.pdf>.

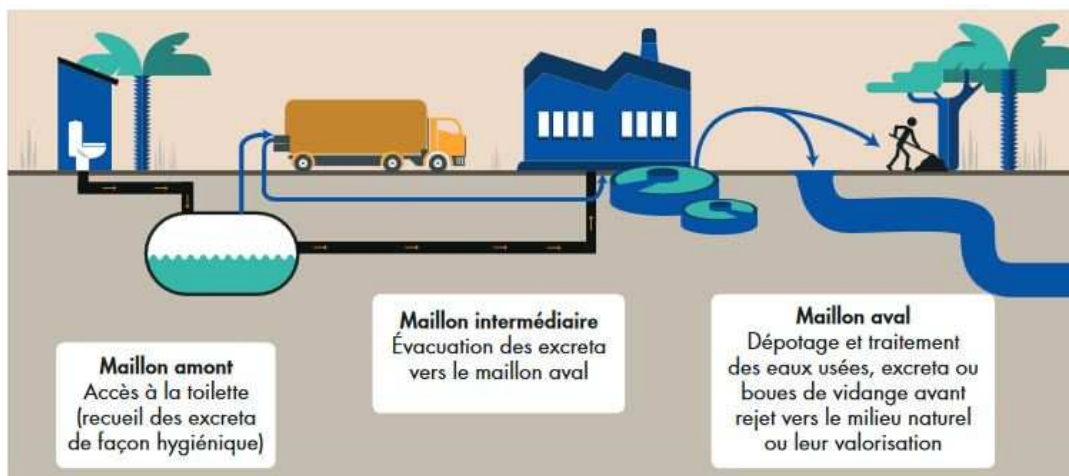
Assainissement liquide

L'enjeu majeur de l'assainissement consiste à réduire les risques sanitaires et environnementaux générés par l'absence d'élimination hygiénique des eaux usées et excréta contenant des germes pathogènes. La mise en œuvre d'un service d'assainissement durable est un droit humain.

Les impacts du changement climatique sur les ressources en eau ont des répercussions sur l'accessibilité et la continuité des services d'eau et d'assainissement. La croissance démographique, l'élévation du niveau de vie et le développement économique ont tendance à accroître les consommations spécifiques en eau potable et donc la production d'eaux usées. Ainsi, ces variables peuvent accentuer la vulnérabilité des services d'assainissement.

L'évolution des tendances climatiques et les événements extrêmes (cyclones, inondations, sécheresses) entraînent des conséquences qui peuvent directement altérer le fonctionnement des services et leur viabilité dans le temps.

Les effets du changement climatique sont visibles sur l'ensemble de la population et des villes, mais touchent en particulier les populations les plus vulnérables, augmentant les inégalités.



Source : PsEau (2018)


Facteurs d'exposition

Implantation et localisation des réseaux

Facteurs de vulnérabilité

Systèmes de protection
Conception des systèmes d'assainissement

Impacts


Augmentation des températures
Sécheresse

- Impacts des sécheresses sur la ressource en eau: débits inférieurs dans les réseaux, avec des flux plus concentrés
- Diminution de la capacité de transport des effluents
- Impacts de l'augmentation des températures sur le métabolisme des micro-organismes des eaux usées et la sensibilité des milieux récepteurs
- Impacts sur la température des effluents et sur l'activité des processus biologiques (augmentation de la sulfato-réduction et de l'hydrolyse des matières organiques par exemple): les modèles montrent qu'une augmentation de 1°C conduit à une augmentation de 7% de la production de sulfures
- Nuisances olfactives
- Sensibilité accrue des milieux récepteurs aux rejets urbains par temps sec et lors des pluies
- Risques pour la sécurité du personnel d'exploitation


Précipitations

- Impacts sur les infrastructures et équipements : dommages physiques (corrosion, fissuration, destruction des latrines et systèmes d'assainissement, baisse de la durée de vie des ouvrages, etc.), pénétration des eaux pluviales dans le réseau d'eaux usées (débordements, saturation), problèmes d'accès aux équipements, etc.
- Impacts sur le fonctionnement du service : pannes par submersion des pompes de relevages et des systèmes électriques pour les réseaux d'eaux usées, dysfonctionnements des processus biologiques de traitement, perturbation des services de vidange (difficultés d'accès, fréquence de vidange, etc.);
- Impacts sur l'environnement : augmentation des rejets – débordements et écoulements des eaux

Impacts

- usées sur la voie publique – rejets moins bien traités, dégradation de la qualité des ressources en eau, perturbation des écosystèmes et de la biodiversité ;
- Impacts sanitaires et sociaux : nuisances olfactives dues à l'augmentation des émissions de dioxyde d'azote, augmentation des risques d'empoisonnement, problèmes d'accès aux équipements sanitaires, augmentation des maladies d'origine hydrique, etc.).



Cyclones

- Dégradation (dommages physiques) ou destruction des infrastructures
- Impacts des inondations liées aux fortes précipitations



Elévation du niveau de la mer

- Intrusions salines

Options d'adaptation

- Evaluer le débit de référence, défini comme la capacité maximale garantissant aucun rejet non traité au milieu naturel, en fonction des effets des changements climatiques
- Dimensionner les ouvrages de manière adaptée (en fonction des périodes de retour)
- Optimiser la gestion des réseaux et prévoir des scénarios de gestion de crise
- Adapter les capacités de stockage des réseaux et limiter la fréquence et durée des versements (aménagement de bassins de rétention par exemple)
- Améliorer ou introduire les techniques de contrôle à la source pour réduire les débits ruisselés et l'impact de leur pollution
- Informer les usagers et le public sur les risques (pollution du milieu récepteur, nuisances olfactives, débordements, inondations, etc.) et les mesures

Sources d'information

- Programme d'action national d'adaptation au changement climatique (PANA)
- Plans de prévention élaborés par les gestionnaires de réseaux

Parties prenantes


- Elu.e.s
- Services municipaux d'assainissement
- Préfet
- Agence nationale de l'eau et de l'assainissement (ANDEA)
- Ministère de l'eau, de l'énergie et des hydrocarbures
- Bureau national de coordination des changements climatiques (BNCC)
- Cellule de prévention et gestion des urgences (CPGU)
- Coordination du projet SDAUM
- Associations de quartiers
- Associations de femmes
- Autres associations locales
- ONG et organisations internationales actives dans le secteur de l'eau et l'assainissement

Risques de mal-adaptation et points de vigilance

- Utilisation inefficace de ressources
- Transfert incontrôlé de vulnérabilité
- Erreur de calibrage

Pour aller plus loin

Ps Eau (2018). *Les services d'eau et d'assainissement face au changement climatique. Quels impacts ? Comment agir ?*
http://www.pseau.org/outils/ouvrages/ps_eau_les_services_eau_et_assainissement_face_au_changement_climatique_2018.pdf



ASTEE (2015). *Gestion des eaux usées urbaines. Contributions pour un objectif "Eau" post 2015 et pour le 7ème Forum mondial de l'eau.*
<https://www.astee.org/publications/gestion-des-eaux-usees-urbaines/>

Approvisionnement en eau

L'analyse d'exposition, de vulnérabilité et de risques doit prendre en considération toutes les composantes du système d'approvisionnement en eau, qui comprend généralement: la ressource (en surface ou souterraine), le système de transport vers l'installation de traitement, l'unité de traitement, les installations de stockage et le système de distribution vers les usagers.e.s.

Les effets du changement climatique sont visibles sur l'ensemble de la population et des villes, mais touchent en particulier les populations les plus vulnérables, augmentant les inégalités.

Facteurs d'exposition

Implantation et localisation des ressources
Implantation et localisation des réseaux

Facteurs de vulnérabilité

Systèmes de protection
Conception des systèmes d'approvisionnement en eau

Impacts



Augmentation des températures
Sécheresse

- Impacts sur la disponibilité des ressources en eau : diminution de la ressource des eaux de surface, diminution des débits moyens des cours d'eau, diminution de la recharge en eau des eaux souterraines,
- Impacts sur la qualité de la ressource: baisse de la qualité de l'eau due à la prolifération des algues et aux besoins accrus de traitement
- Impacts sur l'approvisionnement : interruptions de services, baisses de pression, risques accrus de pollution (intrusions d'eaux usées)
- Impacts sur la consommation : augmentation des besoins et des volumes prélevés en période de forte chaleur ou de sécheresse, tensions sur la ressource en eau, conflits d'usage
- Impacts encore plus marqués sur les populations vulnérables, liés à la dégradation de la qualité du service et à l'utilisation de ressources alternatives (exacerbation des situations de pauvreté)



Précipitations

- Compte tenu du niveau d'incertitude, les projections sur les crues sont à prendre avec précaution. Les crues extrêmes dépendent fortement des projections des précipitations extrêmes qui sont très incertaines.
- Impacts sur les infrastructures et équipements : dommages physiques (corrosion, fissuration, destruction, surutilisation pour répondre aux fortes demandes, baisse de la durée de vie des ouvrages, etc.) sur les infrastructures de stockage, de traitement et de distribution, intrusions salines dans les réserves d'eau douce (submersion), corrosion et oxydation des prises d'eau et des réseaux
- Impacts sur la qualité du service : interruptions, dégradation de la qualité de l'eau par pollution ou turbidité, inaccessibilité des points de distribution, coupure des alimentations en énergie (électricité), etc.
- Effets de cascade: impacts sanitaires et environnementaux: augmentation des risques de maladies d'origine hydrique, multiplication des conflits d'usage, migration vers les zones urbaines (à la recherche de points d'eau)
- Impacts encore plus marqués sur les populations vulnérables, liés à la dégradation de la qualité du service et à l'utilisation de ressources alternatives (exacerbation des situations de pauvreté)



Cyclones

- Dégradation (dommages physiques) ou destruction des infrastructures
- Impacts des inondations liées aux fortes précipitations
- Coupure des alimentations en énergie (électricité)



Elévation du niveau de la mer

- Intrusions salines

Options d'adaptation

- Augmenter la capacité de charge du système de drainage des eaux pluviales et des bassins de rétention et augmenter l'entretien du système de drainage
- Stabiliser les zones sujettes aux glissements de terrain, les pentes et les talus
- Surélever les installations
- Entreprendre une analyse détaillée de la modélisation des inondations et relocaliser l'actif dans une zone à faible risque.
- Élévation de l'infrastructure de stockage pour protéger contre l'intrusion d'eau salée.
- Élever les équipements mécaniques et électriques dans les installations d'exploitation ou d'entretien.
- Utiliser des matériaux résistants à la corrosion ou imperméables
- Réduire le pompage des lentilles d'eau douce pour inhiber l'intrusion saline
- Cartographier la vulnérabilité de la ressource en eau
- Planifier une occupation des sols compatibles avec les ressources en eau disponibles localement
- Promouvoir les économies d'eau dans tous les secteurs et pour tous les usages
- Promouvoir la réutilisation des eaux usées traitées
- Optimiser le stockage de l'eau (retenues)
- Limiter l'imperméabilisation des sols et favoriser l'infiltration des eaux pluviales

Sources d'information

- Programme d'action national d'adaptation au changement climatique (PANA)

Parties prenantes

- Elu.e.s
- Services municipaux de gestion de l'eau
- Agence nationale de l'eau et de l'assainissement (ANDEA)
- Ministère de l'eau, de l'énergie et des hydrocarbures
- Bureau national de coordination des changements climatiques (BNCC)
- Cellule de prévention et gestion des urgences (CPGU)
- Coordination du projet SDAUM
- Associations de quartiers
- Associations de femmes
- Autres associations locales
- ONG et organisations internationales actives dans le secteur de l'eau (pS-Eau, Interaide, Office international de l'eau, etc.)

Risques de mal-adaptation et points de vigilance

Utilisation inefficace de ressources (par exemple le recours à la technologie énergivore de désalinisation d'eau de mer dans le cas où une protection et un traitement efficace des ressources souterraines suffiraient)

Transfert incontrôlé de vulnérabilité (par exemple le pompage dans les nappes profondes pour une commune sans concertation à l'échelle du bassin versant pouvant réduire l'accès pour d'autres communes du bassin)

Erreur de calibrage (par exemple une digue de protection pas suffisamment rehaussée)

Pour aller plus loin

Ps Eau (2018). *Les services d'eau et d'assainissement face au changement climatique. Quels impacts ? Comment agir ?*
http://www.pseau.org/outils/ouvrages/ps_eau_les_services_eau_et_assainissement_face_a_u_changement_climatique_2018.pdf

Fiche thématique 8

Infrastructures et systèmes de transport

Le secteur des transports est une source majeure, et en forte croissance, d'émissions de gaz à effet de serre : les politiques d'atténuation dans ce domaine s'avèrent indispensables pour inverser la tendance, y compris en termes de planification spatiale et d'organisation des flux de déplacement. Les efforts dans ce secteur se concentrent ainsi davantage sur l'atténuation que sur l'adaptation. Cependant, le secteur des transports est également vulnérable aux incidences du changement climatique et requiert des politiques d'adaptation pour renforcer la résilience des infrastructures et services aux phénomènes météorologiques extrêmes.

La plupart des infrastructures de transport sont construites aujourd'hui pour une durée de 50 ans ou plus : il est donc indispensable d'intégrer les répercussions des futurs changements climatiques pour protéger les investissements à long terme. Ces approches induisent une large fourchette de coûts et d'investissements et comportent diverses implications économiques, sociales et environnementales. Aucune n'approche ne couvre toutes les situations ou tous les scénarios : une bonne option d'adaptation tient compte à la fois du contexte propre au projet de transport et aux risques que les autorités et parties prenantes sont prêtes à accepter. Par exemple, une route résiliente s'adapte aux conséquences des conditions météorologiques extrêmes et des effets locaux du changement climatique (inondations, vents violents et variations de températures).

Facteurs d'exposition

Localisation et emprise au sol des réseaux et infrastructures de transport (routes, aéroports, gares, ports, etc.)

Facteurs de vulnérabilité

Ancienneté des infrastructures
Etat actuel des systèmes et infrastructures de transport

Impacts



Augmentation des températures
Sécheresse

- Inconfort thermique dans les transports (consommation énergétique accrue pour le refroidissement)



Précipitations

- Dégradation, fragilisation (dommages physiques) ou destruction des infrastructures par les inondations
- Perturbation du service de transport avec des conséquences sur la mobilité des personnes et les activités économiques



Cyclones

- Dégradation, fragilisation (dommages physiques) ou destruction des infrastructures
- Impacts des inondations liées aux fortes précipitations
- Perturbation du service de transport avec des conséquences sur la mobilité des personnes et les activités économiques

Options d'adaptation

- Identifier les zones inondables
- Réparation et entretien des installations
- Améliorer et renforcer les pratiques d'entretien et de remise en état
- Relocaliser pour éviter les dangers
- Améliorer les plans d'intervention d'urgence pour agir en cas de défaillance
- Intégrer des critères de changement climatique dans la planification et la construction de nouveaux équipements
- Reconstruire ou renforcer les installations en appliquant des normes de conception plus élevées pour protéger efficacement ou renforcer les infrastructures (routes submersibles par exemple)
- Dimensionner les ouvrages de drainage pour résister aux précipitations extrêmes
- Evaluer les répercussions des précipitations sur le comportement des routes, chaussées et matériaux de support
- Construire des routes submersibles ou réhabiliter les routes existantes pour résister aux inondations
- Evaluer les répercussions de l'augmentation des températures sur le comportement des routes, chaussées et matériaux de support
- Prévoir de l'ombrage en ville
- Améliorer la fiabilité des équipements aux sollicitations d'origine thermique: utiliser des matériaux adaptés aux

températures élevées pour les revêtements routiers

- Envisager la redondance des installations (construction d'une installation similaire) > coût élevé
- Prendre en compte les interactions entre atténuation (stratégie de réduction des émissions) et adaptation

Sources d'information

- Programme d'action national d'adaptation au changement climatique (PANA)

Parties prenantes

- Elu.e.s
- Préfet
- Ministère du transport, du tourisme et de la météorologie
- Services municipaux des transports
- Bureau national de coordination des changements climatiques (BNCC)
- Cellule de prévention et gestion des urgences (CPGU)
- Associations de quartiers
- Associations de femmes
- Autres associations locales
- ONG et organisations internationales actives dans le secteur des transports

Risques de mal-adaptation et points de vigilance

Capacités insuffisantes pour s'adapter effectivement (ressources financières et connaissances techniques)

Pour aller plus loin

Association mondiale de la route. 2016. *Stratégies de transport pour l'atténuation et l'adaptation au changement climatique.*
<https://www.piarc.org/fr/login.htm?path=/ressources/publications/10/27823,2016R25FR.pdf..>