



Changements climatiques et vulnérabilité des villes africaines

Research briefs





Changements climatiques et vulnérabilité des villes africaines

Research briefs

Changements climatiques et vulnérabilité des villes africaines

Research briefs

Dirigé par

Paolo GASPARINI, Angela DI RUOCCO, Anne-Marie BRUYAS
AMRA S.c.ar.l., Naples (Italie)

Auteurs

Cette publication est le résultat d'un projet de collaboration entre institutions européennes et africaines, fournissant les résultats de la recherche et les indications pour que certaines villes de l'Afrique sub-saharienne puissent mieux se préparer aux impacts des changements climatiques. Le projet a demandé un effort de recherche intégrée qui a réuni de nombreux chercheurs ayant une expertise dans différents domaines traitant de la modélisation du climat, des risques naturels et sociaux, de la planification urbaine et de la gouvernance. La formation d'étudiants africains était au cœur même du projet. Les doctorants des universités africaines et européennes impliqués ont joué un rôle important, produisant ainsi de nouvelles connaissances et de nouveaux outils dans le processus de recherche CLUVA.

Liste des personnes impliquées dans CLUVA par ordre alphabétique

Guro AANDAHL, Essete ABEBE, Ketema ABEBE, Hany ABO EL WAFI, Paola ADAMO, Clive AGNEW, Gilles AMBARA, Edoardo BUCCHIGNANI, Katja BUCHTA, Paolo CAPUANO, Gina CAVAN, Admos CHIMHOWU, Adrien COLY, Andre D'ALMEIDA, Francesco DE PAOLA, Raffaele DE RISI, Kibassa DEUSDEDIT, Angela DI RUOCCO, Mouhamadou M. DIAKHATÉ, Ibrahima DIOP, Oumar DIOP, François ENGELBRECHT, Tove ENGGROB BOON, Simona ESPOSITO, Rebeka FEKADE, Rodrigue FEUMBA, Sandra FOHLMEISTER, Alex GARCIA-ARISTIZABAL, Paolo GASPARINI, Simonetta GIORDANO, Maurizio GIUGNI, Souleymane GUEYE, John HANDLEY, Siri Bjerkreim HELLEVIK, Lise HERSLUND, Derek HOHLS, David HULME, Pietro IAVAZZO, Iunio IERVOLINO, Fatemeh JALAYER, Nathalie JEAN-BAPTISTE, Regina JOHN, David JORDHUS-LIER, Gertrud JØRGENSEN, Peter KABANO, Sigrun KABISCH, Ludovic KANDE, Fatim KANTE, Patrik KARLSSON NYED, Gabriel KASSENKA, Mary-Jane KGATUKE, Fatoumata KINDA, Jan Erling KLAUSEN, Wilbard KOMBE, Christian KUHLICKE, Klara KWEKA MSALE, Alphonse KYESSI, Jacques LEFEVRE, Sarah LINDLEY, Moussa LO, Warner MARZOCCHI, Elinorata MBUYA, Graeme McFERREREN, Paola MERCOGLIANO, Caroline MOSER, Christine MOUDIKI, Nicolas NAKOUYE, Mariétou NDIAYE, Ndèye Marème NDOUR, Alemu NEBEBE, Jean Noel NGAPGUE, Rachel NGONTJAM, Paul NGOHE EKAM, Timack NGOM, Arnaud Boris NGOSO, Demba NIANG, Diana NKIROTE KOOME, Jean-Baptiste OUEDRAOGO, Youssoufou OUEDRAOGO, Antonios PAVLOU, Stephan PAULEIT, Andreas PRINTZ, Florian RENNEN, Alfonso ROSSI FILANGIERI, Manoj ROY, Inger-Lise SAGLIE, Fatimatou SALL, Bani SAMARI SEYDOU, T. Bakari SANKARA, Cheikh SARR, Pasquale SCHIANO, Mariangela SELLERINO, Abdou SENE, Riziki SHEMDOE, Ingo SIMONIS, Aly SINE, Alfredo STEIN, Amadou Abou SY, Boubou Aldiouma SY, Thomas TAMO TATIETSE, Monique TATSAA NGOUMO, Roger TCHANGANG, Eyob TENKIR, Stefano TERRACCIANO, Joanne TIPPET, Emmanuel TONYE, Maria Elena TOPA, Hamidou TOURE, Seydou Eric TRAORE, Urbain TRAORE, Maurice TSALEFAC, Guido UHINGA, Anwar VAHED, Terence van ZYL, Trond VEDELD, Guy WEETS, Tekle WOLDEGERIMA, Tekle WOLDEGERIMA KAHSAY, Liku WORKALEMAHU, Abraham WORKNEH, Jean YANGO, Isidore YANOGO, Kumelachew YESHITELA, Nebyou YONAS, Samuel YONKEU, Darik ZEBENIGUS, Maurice ZOGNING, Tanga Pierre ZOUNGRANA

Révision de la version anglaise

Sarah LINDLEY

Traduction en français

Véronique BLANCHON, Anne-Marie BRUYAS

Auteurs des photos

Adrien COLY, Raffaele DE RISI, Angela DI RUOCCO, Alex GARCIA-ARISTIZABAL, Lise HERSLUND, Fatemeh JALAYER, Nathalie JEAN-BAPTISTE, Sigrun KABISCH, Wilbard KOMBE, Emmanuel TONYE, Maria Elena TOPA

Conception graphique

Paolo TRAUTTEUR
Doppiavoce, Napoli, Italie

Impression

Officine Grafiche Francesco Giannini & Figli S.p.A., Napoli, Italie

AVANT-PROPOS

Paolo Gasparini, Coordinateur Scientifique et Chief Executive Officer de AMRA Scarl, Naples

CLUVA est un projet sur la vulnérabilité de certaines villes africaines au changement climatique. Il s'agit d'un projet ambitieux sous de nombreux aspects, qui a réuni une équipe multidisciplinaire composée de responsables scientifiques de haut niveau, chacun d'eux habitué à examiner ces aspects sous différents angles. Le projet a développé des modèles de probabilité du risque et de la vulnérabilité ayant à disposition peu de données. La recherche s'est confrontée à la complexité des effets des changements climatiques, aggravés par des facteurs humains au niveau local. Le projet a essayé également de transmettre les incertitudes des scénarios proposés. Enfin, le but était de proposer des mesures à faible coût de réduction des risques réalisables aussi bien au niveau physique, que social et de gouvernance.

Le projet CLUVA a réussi à aborder tous ces défis d'une manière scientifique remarquable, analysant des problèmes habituellement non soumis au traitement probabiliste. Il nous fournit des outils simples qui peuvent être facilement mis en œuvre et pourront être utilisés de façon complète lorsque toutes les données seront disponibles. Des directives ont été élaborées afin de réduire les conséquences des risques et de la vulnérabilité, et peuvent être appliquées dans toutes les villes étudiées (de la conception à la gestion des systèmes d'eaux pluviales, à l'analyse

de la fiabilité du réseau routier, aux procédures de gestion des interventions d'urgence, aux mesures de renforcement des maisons adobe, à l'aménagement du vert urbain, etc.). Les activités de formation ont également représenté un effort important dans le projet afin d'aborder de façon uniforme les effets des changements dus aux aléas climatiques.

Nous espérons que les administrateurs locaux trouveront dans ce guide récapitulatif, non seulement les résultats de la recherche, mais aussi les indications nécessaires pour le développement et la gouvernance de leurs villes.

Notre projet montre que les changements climatiques ne produiront pas une augmentation dramatique des aléas dans les villes étudiées pour les décennies à venir, à l'exception possible de St. Louis au Sénégal sujette à l'action conjointe de la désertification et de l'élévation du niveau de la mer. La vulnérabilité et l'exposition aux risques peuvent par contre s'accroître considérablement à cause des facteurs humains (par exemple avec l'augmentation de la population urbaine, à cause de la faible présence d'espaces verts urbains, etc.) et donc le risque en général va augmenter dans les prochaines décennies.

Les partenaires provenant tous de contextes très différents, l'aspect le plus passionnant de CLUVA a été les nombreuses discussions animées sur les enjeux communs du projet tout en respectant les pensées de chacun; ce qui a permis une croissance culturelle considérable de tous les membres de l'équipe. Ceci a été pour moi un réel privilège d'avoir partagé cette expérience avec chacun d'eux.



INTRODUCTION

Guy Weets, Responsable Scientifique de CLUVA

Selon l'IPCC (International Panel on Climate Change), l'Afrique est un des continents les plus vulnérables au changement climatique et à la variabilité climatique. Malgré cela, il n'existe aujourd'hui que très peu d'études réalisées sur les changements climatiques concernant l'Afrique de l'Est, de l'Ouest et l'Afrique centrale. L'interaction de plusieurs facteurs tels que la pauvreté, la santé, une rapide urbanisation accentuent encore plus cette situation révélant une faible capacité d'adaptation.

CLUVA a pour principal objectif de développer des méthodes simples applicables aux villes africaines afin de gérer les risques climatiques et d'améliorer la résilience et la capacité d'adaptation aux risques qui en dérivent à long terme.

Les cas d'études ont été sélectionnés de façon à valider des méthodes englobant la plus grande partie des risques climatiques et des vulnérabilités dans ces régions. Les critères qui ont été pris en compte sont les suivants :

- 1) le climat : humide, sec, sahélien et mitigé;
- 2) la situation géographique : littoral, estuaire, basse terre, haute terre, côte ouest, côte est;
- 3) le type de risques : inondations, sécheresse, désertification, canicule, élévation du niveau de la mer;
- 4) la capacité d'une université locale à mettre en place une équipe multidisciplinaire afin de contribuer non seulement à la recherche mais également capable de fournir un support scientifique aux autorités locales pour faire face aux risques climatiques à long terme.

Enfin, nous avons sélectionné cinq villes : Saint-Louis, Ouagadougou, Douala, Dar-es-Salam et Addis-Abeba.

L'aspect le plus innovateur de CLUVA est l'intégration même de tous ces aspects liés aux risques climatiques en un seul ensemble de méthodes qui peut être facilement applicable par les villes intéressées.

La réussite de CLUVA a été fortement conditionnée par la participation active

des acteurs au niveau local aussi bien pour une analyse approfondie de la situation (environnement, situation sociale et économique, autorités locales, etc.) que pour l'intégration des projets d'urbanisme et du rôle de la politique régionale ou nationale face aux changements climatiques.

Il faut reconnaître que le niveau local joue un rôle de plus en plus important lorsque l'on parle de risques climatiques. Malheureusement, aucune des cinq villes sélectionnées n'a une propre stratégie climatique ou un plan d'action. Les actions climatiques existantes sont issues du gouvernement central seulement. En outre, les changements climatiques sont perçus par les mairies comme un sujet difficile et complexe.

En effet, pour aborder les multiples facettes des risques liés au changement climatique, il faut non seulement l'intervention des différents services administratifs mais aussi et surtout une forte implication politique. CLUVA apparaissait dès lors un projet à haut risque. Afin d'atténuer cet aspect, nous avons décidé de faire participer les acteurs locaux dès le début du projet en leurs donnant ainsi la possibilité de prioriser la recherche.

Cinq groupes ont été créés pour les activités de recherche, trois d'entre eux responsables de la recherche de base et les deux autres groupes responsables de la mise en pratique de la recherche :

Le groupe relatif aux aléas climatiques

a travaillé sur des projections régionales de changements climatiques à haute résolution (8 km) allant jusqu'en 2050 sur une zone englobant les 5 villes. Ceci a permis d'évaluer la probabilité d'événements météorologiques extrêmes : la fréquence et l'intensité des températures et des précipitations sur les villes. Toutefois le manque de données sur les événements passés ainsi que le manque d'enregistrement des changements de la couverture terrestre a rendu le travail des chercheurs extrêmement difficile. Cela leurs a tout de même permis de faire des prévisions sur les inondations, les vagues de chaleurs, la sécheresse et la désertification de façon assez poussée.



Le groupe d'évaluation de la vulnérabilité

a travaillé sur les différents types de vulnérabilité à savoir : 1) la vulnérabilité des structures physiques : maisons, routes et autres infrastructures; 2) La vulnérabilité des espaces verts et le rôle des écosystèmes dans le but d'atténuer les événements météorologiques extrêmes; et 3) la vulnérabilité sociale. Le thème de la vulnérabilité sociale a été plus approfondi que prévu. Ceci est important considérant le grand nombre de ménages et de communautés vivant dans une zone à haut risque. Notre méthode a développé une approche sur 4 dimensions à la vulnérabilité, à savoir une approche physique, une approche institutionnelle, une approche sur les biens et enfin une approche sur le comportement. Cette approche a permis d'intégrer ces éléments en un seul concept qui se rapproche entre autre automatiquement à l'activité des institutions menée par le groupe de travail relatif à « **l'utilisation du sol et les stratégies gouvernementales** ». Le dernier élément de ce groupe de travail a été de développer un cadre de risques multiples. Cela permet d'évaluer les conséquences en cas d'événements catastrophiques superposés sur les infrastructures principales dans des zones urbaines et de comprendre l'évolution du risque associé au fil du temps.

Le groupe qui s'est occupé de l'utilisation innovatrice des sols et du développement des stratégies gouvernementales

a analysé d'une part la structure des administrations publiques et des mesures qui peuvent être adoptées localement et d'autre part, il a confronté des indicateurs de vulnérabilité avec des indicateurs d'utilisation du sol afin d'identifier en particulier les zones et communautés vulnérables, à risque élevé.

Le groupe relatif à la réalisation des fiches ville

: outre les trois principaux groupes de recherche, un groupe de mise en application a été inséré pour chacune des villes avec trois objectifs: 1) Gérer les rapports avec les acteurs locaux, 2) adapter les méthodes aux conditions locales de manière spécifique 3) aider à identifier d'autres risques particuliers considérés importants par les acteurs locaux et non pris en compte par les groupes principaux. Ce groupe est également responsable pour la réalisation des fiches villes et pour supporter les acteurs locaux pour la réalisation d'actions après le projet.

Le groupe d'étude sur le capacity building

: le consortium a également investi de façon considérable pour accroître les capacités de la recherche en 1) proposant aux jeunes chercheurs et doctorants des ateliers de formation 2) en faisant en sorte de les intégrer dans les équipes de recherche et les programmes de travail.

UN PROJET INTERDISCIPLINAIRE ET MULTIRÉGIONAL

CLUVA est composé d'un partenariat de chercheurs d'institutions supérieures africaines et européennes, spécialisés dans différents domaines et traitant de modélisation du climat, de risques naturels et sociaux, d'urbanisation et mécanismes décisionnels. L'hétérogénéité des compétences disponibles a permis à l'équipe du projet d'appliquer un grand ensemble de méthodes quantitatives multidisciplinaires à différentes échelles et de méthodes de probabilité applicables aux cinq villes africaines étudiées.

En outre, la coopération entre les partenaires africains et européens sur une période de trois ans ainsi que les résultats du projet ont considérablement amélioré la capacité de recherche en Afrique et ce, à long terme.

Consortium

AAU (Addis Ababa University), Addis Abeba, Ethiopie : architecture, design urbain, urbanisme, et planification environnementale.

AMRA (Analysis and Monitoring of Environmental Risk), Naples, Italie (coordinateur) : évaluation environnementale des risques, études physiques de la vulnérabilité, méthodes multirisques.

ARU (Ardhi University), Dar es Salam, Tanzanie : gestion des sols et des ressources naturelles; régularisation et amélioration des habitats à faible revenu.

CMCC (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici), Lecce, Italie : développement et modélisation du climat, impact des changements climatiques.

CSIR (Council for Scientific and Industrial Research), Pretoria, Afrique du Sud : recherche et innovation de produits et services basés sur les technologies de l'information et de la communication, modèles sur les changements climatiques.

KU (Københavns Universitet), Copenhagen, Danemark : analyse spatiale avec l'utilisation du GIS, urbanisme, y compris



Guido Augustino UHINGA

Étudiant en doctorat au Centre pour la Technologie de l'Information et de la Communication (CICT), Ardhi University, Dar es Salam

«Le projet CLUVA a amélioré mes capacités scientifiques à faire la recherche car il m'a fourni une occasion d'obtenir une formation sur des méthodes de travail améliorant et consolidant mes connaissances et les compétences nécessaires pour mener à bout mes activités. Les prévisions climatiques réalisées dans le projet CLUVA pour Dar es Salam amélioreront les prévisions de risques dans le sens que les méthodes développées dans CLUVA peuvent être reproduites ailleurs en Tanzanie, en particulier dans les zones avec les mêmes conditions que Dar es Salam pour évaluer et prévoir les risques».

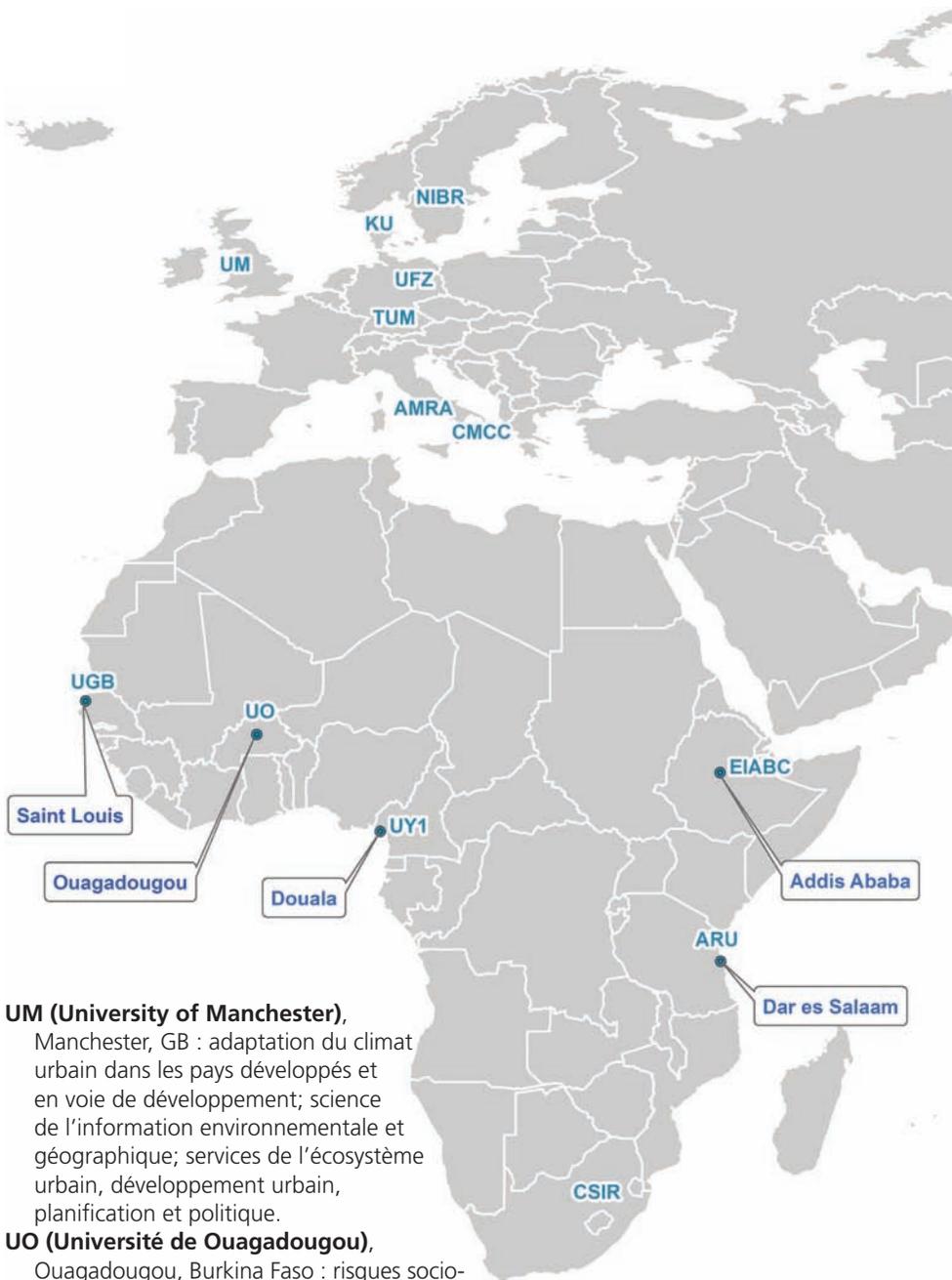
la planification participative, la gestion des espaces verts et la gestion locale des eaux.

NIBR (Norsk Institutt for By- Og Regionforskning), Oslo, Norvège : urbanisme, gouvernance, bien-être, migration et dimensions sociales des changements climatiques et environnementaux.

TUM (Technische Universität München), Munich, Allemagne : écologie urbaine et planification des infrastructures écologiques, modélisation de l'utilisation des sols, interprétation des données de télédétection.

UFZ (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung), Leipzig, Allemagne : résilience des sociétés faces aux risques naturels comme base d'analyse de la vulnérabilité des communautés.

UGB (Université Gaston Berger de Saint Louis), Saint Louis, Sénégal : systèmes d'information géographique (GIS), modèles mathématiques, plateformes de gestion de l'information (dataweb).



UM (University of Manchester),

Manchester, GB : adaptation du climat urbain dans les pays développés et en voie de développement; science de l'information environnementale et géographique; services de l'écosystème urbain, développement urbain, planification et politique.

UO (Université de Ouagadougou),

Ouagadougou, Burkina Faso : risques socio-économiques dans le contexte urbain.

UYI (Université de Yaoundé I),

Yaoundé, Cameroun : télécommunication/ télédétection appliquée à la gestion des risques naturels.

PRINCIPAUX RISQUES NATURELS POUR LES VILLES ÉTUDIÉES

Inondations

Les inondations sont l'un des risques naturels principaux qui perturbent la prospérité, la sécurité et la civilité des aménagements humains. Le terme Inondation fait référence à un écoulement d'eau sur des surfaces habituellement sèches. Des crues ou montées rapides des eaux peuvent avoir origine de la mer (sous la forme d'une vague de tempête ou de la dégradation du littoral), de la fonte des glaciers, de la fonte des neiges ou de la pluie (qui peuvent se transformer en torrents ou crues subites lorsque le volume d'eau dépasse la capacité des cours d'eau), ou bien de l'insuffisance d'infiltration du sol. La défaillance de systèmes artificiels d'endiguement (par exemple barrage et réservoirs) peut également provoquer des inondations (The World Bank, 2012).

Les risques d'inondation sont généralement évalués au moyen de ces paramètres tels que la profondeur et la rapidité de l'eau et la probabilité que ce phénomène se produise.

Les inondations dans les zones urbaines ne dépendent pas seulement des fortes précipitations ou d'événements climatiques extrêmes; mais également des changements apportés dans les zones édifiées.

L'urbanisation limite les écoulements d'eau en construisant des habitations, des routes, des trottoirs sur de grandes surfaces de terrain, obstruant ainsi les voies naturelles. L'urbanisation à grande échelle et la croissance démographique ont amené un grand nombre de personnes, spécialement les populations les plus pauvres, à vivre dans

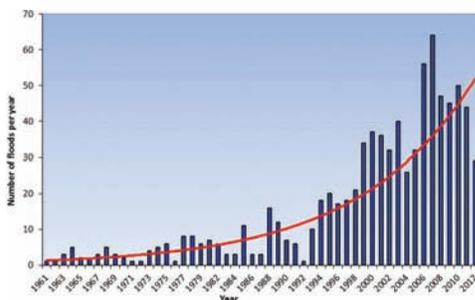


Figure 1. Nombre d'inondations par an en Afrique au cours du dernier demi-siècle (source: EM-DAT, 2013).

les plaines inondables autour et dans les zones urbaines.

Plus l'affolement des villes africaines augmente et plus l'impact humain sur les terrains urbains et sur le drainage s'intensifie. Même des orages modérés maintenant produisent de très hauts débits dans les rivières à cause des eaux de ruissellement sur les surfaces dures et dans les égouts (Douglas et al., 2008). Ces situations surviennent souvent lorsque les populations les plus défavorisées vont construire dans les plaines inondables à basse altitude, sur les marécages ou au-dessus du niveau de la marée sur la côte (McGranahan et al., 2007). Selon le CRED Dataset (EM-DAT, 2013), le nombre de désastres dus aux inondations en Afrique montre une tendance à la hausse au cours du dernier demi-siècle (Fig. 1).

Les effets des changements climatiques se superposent aux modifications d'utilisation des sols par les personnes au niveau local et pourrait intensifier l'impact de la croissance urbaine sur les inondations.





Sécheresse

La sécheresse est une carence de précipitation d'une certaine quantité attendue ou "normale" qui, quand elle se prolonge hors saison ou sur une plus longue durée, ne suffit plus à répondre à la demande d'eau.

On peut définir trois types de sécheresses :

- *sécheresse météorologique*, définie comme une carence de précipitation d'une certaine quantité attendue ou "normale" sur une longue période de temps (définition générale);
- *sécheresse agricole*, définie comme une carence de disponibilité d'eau pour la culture ou la croissance des plantes;
- *sécheresse hydrologique*, définie comme une carence de réserve d'eau de surface et souterraine qui porte à un manque de disponibilité d'eau pour satisfaire la demande normale et spécifique.

Le climat est un élément primaire de la sécheresse hydrologique à cause de l'augmentation excessive de la température, de la réduction des pluies et de la couverture des nuages qui portent par conséquent à des taux plus élevés d'évaporation. Les effets résultant de la sécheresse sont aggravés par les activités humaines comme la déforestation, le surpâturage et des méthodes de culture pauvres, ce qui réduit la rétention d'eau dans les sols et rend inappropriées les techniques de conservation conduisant ainsi à la dégradation des sols.

Le Tableau 1 donnant les statistiques par continent montre que le plus grand nombre



de sécheresses signalées ont été enregistrées en Afrique.

Le monitoring de la sécheresse est généralement basé sur l'analyse des indices de sécheresse qui intègrent des milliers de données sur les précipitations, sur le manteau neigeux, l'écoulement fluvial et d'autres indicateurs d'alimentation d'eau dans un grand tableau général. Il y a plusieurs indices qui mesurent, sur une période donnée, l'évolution de la quantité des précipitations à partir des normes historiquement établies. Bien qu'aucun indice ne soit meilleur par rapport aux autres, certains sont toutefois mieux adaptés que d'autres pour des utilisations spécifiques (Tableau 2).

Tableau 1. Catastrophes de sécheresse classées par continent sur la période de 1900 à 2012 (EM-DAT, 2013).

	N. de catastrophes	N. de morts	N. de personnes touchées	Dommages (000 US\$)
Afrique	291	847,143	364,294,799	2,920,593
Amériques	131	77	69,417,226	50,271,139
Asie	152	9,663,389	1,707,836,029	34,251,865
Europe	42	1,200,002	15,488,769	25,481,309
Océanie	20	660	8,027,635	10,703,000
Monde entier	636	11,711,271	2,165,064,458	123,627,906

Tableau 2. Résumé des principaux indices de sécheresse (Tsakiris et al., 2007).

Indices	Description et utilisation	Forces	Faiblesses
Indices de sécheresses météorologiques			
Pourcentage de précipitation normale et point de départ de précipitation accumulée	Calcul simple Utilisé par le grand public	Efficace pour comparer une zone ou saison seule	Les précipitations n'ont pas une distribution normale Les valeurs dépendent du lieu et de la saison
Déciles Gibbs and Maher (1967)	Calcul simple qui regroupe les précipitations en déciles Utilisé par le Système Australien de surveillance de la Sécheresse	Mesure statistique précise Calcul simple Fournit une uniformité dans les classifications des sécheresses	Les calculs précis demandent un long enregistrement de données climatiques
Indice de Précipitation Standardisée (SPI) McKee et al. (1993)	Basé sur la probabilité de précipitation sur une échelle de temps donnée. Utilisé par de nombreux experts de sécheresse	Calculé sur différentes échelles de temps, fournit une alerte précoce de la sécheresse et aide à évaluer la gravité de la sécheresse	Valeurs basées sur des données préliminaires qui peuvent changer Les précipitations sont le seul paramètre utilisé
Indice Palmer de Gravité de Sécheresse (PDSI) Palmer (1965) Alley (1984)	Algorithme d'Humidité du sol calibré pour des zones relativement homogènes Utilisé dans les Etats-Unis pour déclencher des programmes de lutte contre la sécheresse et des plans d'urgence	Premier indice sur la sécheresse complet, largement utilisé. Très efficace pour les sécheresses agricoles car il prend en compte l'humidité du sol	PDSI peut être en retard pour les sécheresses émergentes. Moins bien approprié pour les zones montagneuses d'événements climatiques extrêmes fréquents Complexe Catégories pas forcément consistantes en terme de probabilité d'apparition, spatialement et temporellement
Indice d'Humidité de Récolte (CMI) Palmer (1968)	Dérivant de PDSI Reflète la fourniture d'Humidité à court terme	Identifie les sécheresses agricoles potentielles	Ce n'est pas un bon outil d'analyse des sécheresses à long terme
Indice de Reconnaissance de Sécheresse (RDI) Tsakiris (2004)	Similaire à SPI Variable de base P/PET	La sécheresse est basée sur les précipitations et l'évapotranspiration potentielle Approprié pour des scénarios de changement climatiques	Besoins d'information pour calculer le PET
Indices de sécheresse hydrologique			
Indice de Sécheresse Hydrologique Palmer (PHDI) Palmer (1965)	Idem a PDSI mais plus exigeant pour considérer la fin d'une sécheresse La sécheresse est déterminée seulement quand le ratio P_e (humidité reçu par humidité demandée) est 1	Idem a PDSI	Idem a PDSI
Indice de Fourniture d'Eau de Surface (SWSI) Shafer and Dezman (1982)	Forme développée de l'Indice de Palmer pour prendre en compte le manteau neigeux en montagne	Il représente les conditions de fourniture de l'eau de surface et inclue la gestion de l'eau Il associe des traits hydrologiques et climatiques Il prend en considération le stockage d'eau	Gestion dépendante et unique pur chaque bassin qui limite les comparaisons Ne représente pas très bien les évènements extrêmes

Désertification

La Désertification telle que définie par la Convention Internationale sur la Désertification est la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides provoquées par les changements climatiques et les activités humaines. Elle est accompagnée d'une réduction du potentiel naturel de la terre et d'un épuisement des eaux de surface et souterraines. Mais avant toute chose la désertification a des effets sur les conditions de vie et l'expansion économique des personnes concernées.

Même si les cycles d'années de sécheresse et les changements climatiques ont participé à l'avancée de la désertification, la cause principale de la désertification sont les changements dans les habitudes d'utilisation des ressources naturelles comme le surpâturage, le défrichement des terres,

la récolte abondante des terrains cultivées et des forêts et plus généralement l'utilisation des terres d'une façon inappropriée pour les conditions locales (Fig. 2).

Dans une certaine mesure, on estime que deux tiers des terres africaines sont déjà altérées et cette dégradation (Fig. 3) des terres touche au moins 485 millions de personnes soit 65% de l'ensemble de la population africaine (United Nations ECA, 2008).

Etant donné que la plupart des économies des pays africains sont basées sur l'Agriculture, la plupart des problèmes de désertification en zones rurales sont le résultat de pratiques agricoles pauvres et de certains systèmes d'utilisation de la terre. La déforestation en particulier pour répondre aux besoins d'énergie et récupérer de nouvelles terres agricoles est une autre grave cause directe de la désertification.

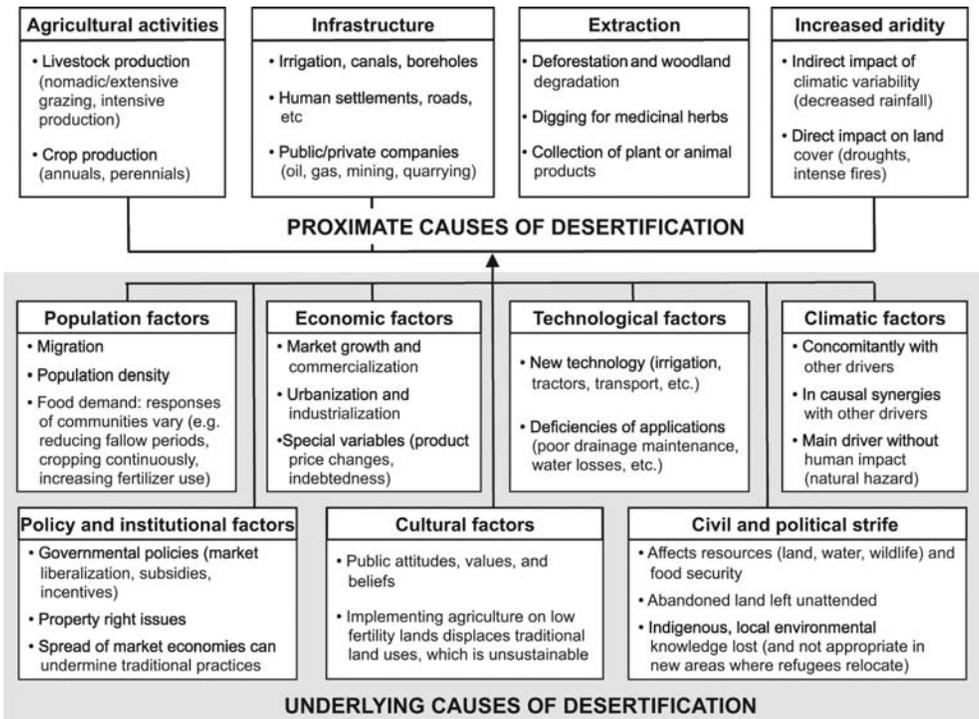


Figure 2. Cadre des différentes causes de désertification (Reynolds et al., 2011).

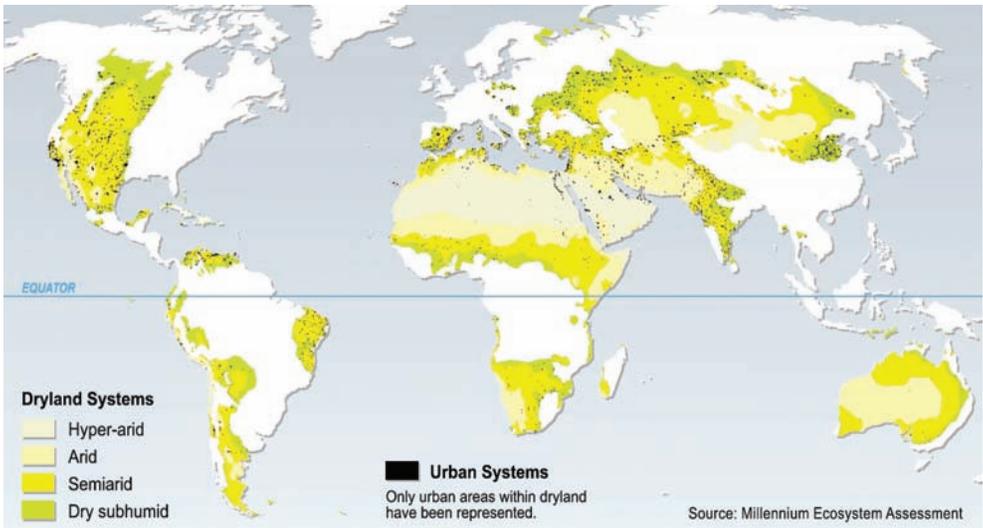


Figure 3. Zones arides au jour d'aujourd'hui et leurs différentes catégories (sec subhumide, semi-aride, ou hyper-aride, basé sur les valeurs de l'Indice d'Aridité (Source: Millennium Ecosystem Assessment Desertification Synthesis Report (2005), base sur les données du NEP Geo Data Portal, 2000).

Canicule

L'Organisation Mondiale de la Météorologie et l'Organisation Mondiale de la Santé ne sont pas arrivées encore à une définition standard de canicule même si il existe déjà un accord sur deux conditions qualitatives pour pouvoir appeler un événement tel quel : températures élevées et durée prolongée. Ces caractéristiques sont le résultat de l'interaction entre processus atmosphérique, océanique et de la surface terrestre souvent accompagnés par des conditions d'humidité et de faibles précipitations. La canicule peut entraîner de graves répercussions sur la santé publique dues au stress provoqué par la chaleur et les changements temporaires dans le style de vie et peut avoir des conséquences néfastes sur la santé de la population touchée, produisant une augmentation de la mortalité et de la morbidité, en particulier pour les personnes les plus vulnérables. En outre, la canicule a un fort impact d'un point de vue social et économique, augmentant les feux de forêts, les pertes de ressources agricoles et de l'écosystème et provoquant une forte demande sur les infrastructures (comme la

production de l'énergie, la distribution de l'eau, transports, etc.) (Kuglitsch et al., 2010). Il y a au moins trois façons d'identifier la canicule : a) définition d'un seuil basé sur l'analyse statistique des données de référence météorologiques historiques, par exemple sur la base des valeurs les plus élevées observées dans les séries chronologiques d'une station météorologique dans un domaine spécifique; b) définition d'un seuil provenant d'une analyse statistique de la relation entre les indices climatiques et la mortalité, ou c) définition d'un seuil provenant d'études biométéorologiques du bien-être de l'homme dans des conditions de températures élevées et de forte humidité. Depuis les années 1960, les mesures de température en Afrique du Sud et de l'Ouest montrent qu'il y a eu une tendance au réchauffement qui se poursuit jusqu'à nos jours, avec une augmentation du nombre de canicules sur ces zones.

Élévation du niveau de la mer

Les connaissances sur l'histoire de la Planète nous montrent que les changements climatiques peuvent provoquer des grands

changements du niveau de la mer. Avec le réchauffement climatique causé par les émissions de gaz effet serre un tel phénomène peut se vérifier aujourd'hui. Pour évaluer dans quelle mesure et à quelle vitesse le niveau moyen global de la mer s'élève, les scientifiques ont mis au point deux approches fondamentalement différentes.

La première approche est basée sur des modèles physiques, qui ont pour but de décrire de façon quantitative les processus physiques qui contribuent à la croissance du niveau moyen global de la mer, par exemple l'expansion thermique de l'eau de l'océan à cause du réchauffement, plus la masse provenant principalement de la fusion des glaciers terrestres et les changements profonds du bassin océanique global à cause des mouvements de la croûte terrestre. La deuxième approche est basée sur des modèles qui tentent d'exploiter le lien entre l'élévation du niveau de la mer observée et les variations de température moyenne mondiale observées dans le passé pour prévenir le futur. Pour comprendre les changements du niveau de la mer à un certain emplacement de la côte, il faut connaître l'ensemble des caractéristiques globales, régionales et locales en relation avec les changements des niveaux de la terre et des océans. En effet, les changements du niveau de la mer peuvent varier localement de plusieurs

dizaines de centimètres (encore plus dans certains cas) par rapport au changement du niveau de la mer prévu rendant certains lieux, comme les villes de delta sur des terrains en éboulement, particulièrement vulnérables. Il y a de nombreuses raisons pour justifier cet écart entre les changements du niveau de la mer global et local, notamment le résultat des effets du vent local et des mouvements verticaux de la terre liés à des processus tectoniques ou à des causes anthropiques (par exemple l'extraction du pétrole) (Rahmstorf, 2012). De précédentes études indiquent que la plupart des pays africains de la côte sont particulièrement vulnérables à l'élévation du niveau de la mer, provoquant une augmentation de l'érosion côtière et des inondations sur les côtes basses (Fig. 4). Ce phénomène menace pas mal de régions et pourrait mettre beaucoup de populations en danger.

L'impact de l'élévation du niveau de la mer, qui est aggravé dans beaucoup d'endroits, comme les deltas par l'affaissement local, pourrait accentuer les problèmes existants tels que l'érosion côtière, les inondations plus persistantes, la perte des zones humides, et l'augmentation de la salinisation des aquifères et des eaux souterraines. Ces phénomènes auraient des effets significatifs sur les communautés et les économies africaines.



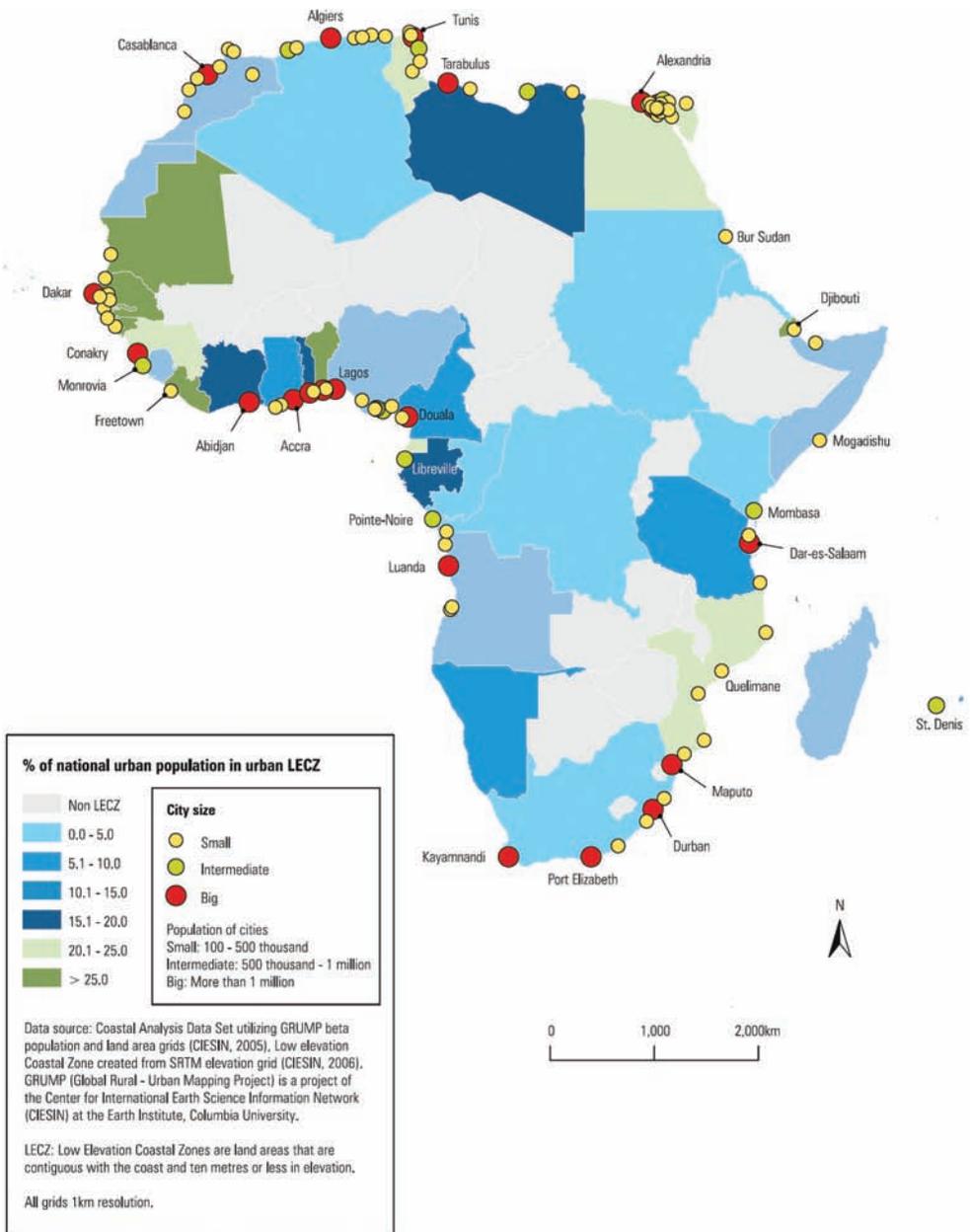


Figure 4. Pourcentage de la population urbaine dans les villes africaines qui sont situées dans les zones côtières de basse altitude (LECZ).

PRÉVISIONS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN AFRIQUE

Le changement climatique concerne la fréquence, l'intensité, l'étendue géographique, la durée et le calendrier des extrêmes météorologiques et climatiques, et peut entraîner des phénomènes extrêmes sans précédent. Le besoin d'information sur le changement climatique aussi bien au niveau régional que local est l'un des points critiques du débat, en raison des exigences des leaders politiques et des décideurs.

Pour savoir comment le climat est en train d'évoluer pour l'avenir, il faut connaître l'évolution de la concentration des gaz effet serre, et donc leurs émissions de sources naturelles et artificielles. A cet effet, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC) a défini un ensemble de scénarios qui décrivent des versions possibles (jusqu'en 2100) des émissions dans l'atmosphère des gaz à effet de serre, aérosols et autres substances polluantes. La possibilité que chaque prévision d'émissions aura lieu comme décrit dans les scénarios est très incertaine, plusieurs propositions sont donc nécessaires pour fournir une meilleure idée de la variation possible. Jusqu'en 2007, les prévisions climatiques étaient réalisées d'après 40 scénarios, selon le Rapport spécial sur les scénarios d'émissions (SRES). Chaque scénario représente différents développements démographiques, sociaux, économiques, technologiques et environnementaux. Par la suite, un nouvel ensemble, the Representative Concentration Pathways (RCP), a été développé. Basé sur le niveau de forçage radiatif hypothétique de 2100, il s'agit ici d'une nouvelle façon de



Gilles Ambara

Étudiant en doctorat de Génie électrique et des télécommunications, Université de Yaoundé

«Les nouvelles technologies peuvent contribuer à l'atténuation des risques au Cameroun de différentes façons. Prenons l'exemple des risques d'inondation, qui sont étudiés dans le cadre du projet CLUVA. Il est maintenant possible de déterminer les zones inondables en utilisant une série de logiciels et de méthodologies. Cela aide à trouver des stratégies de prévention et à prévenir des pertes: les nouvelles technologies permettent de meilleures prévisions météorologiques, et les gens vivants dans les zones inondables peuvent être évacués en avance quand il y a un risque d'inondation».

fournir les données aux modèles climatiques. Ceux-ci tiennent essentiellement compte de la possibilité de variation des composants atmosphériques qui agissent sur l'équilibre des radiations en entrée et en sortie et donc sur le climat. Jusqu'à présent, il y a quatre scénarios RCP existants et chacun suppose un niveau différent de forçage radiatif d'ici l'an 2100 : 3, 4.5, 6 et 8.5 W/m². Dans le projet CLUVA, les scénarios d'émission IPCC de référence sont le A2 et l'ensemble des scénarios SRES ainsi que les scénarios 4.5 et 8.5 de l'ensemble RCP. La Figure 5 montre des exemples de prévisions de changements saisonniers de la température



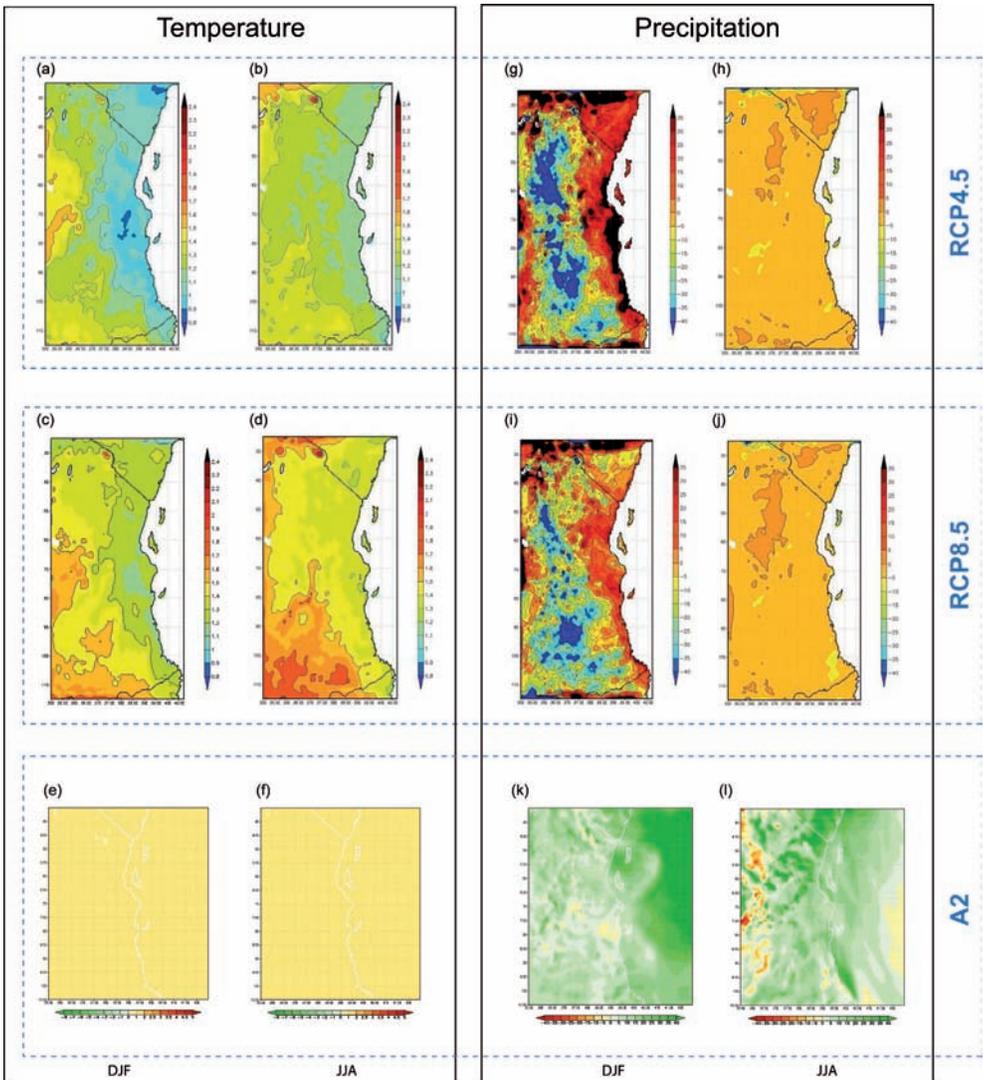


Figure 5. Les variations saisonnières de la température moyenne à 2 mètres du sol (à gauche) et variation en pourcentage des précipitations saisonnières (à droite) pour la période 2021-2050 par rapport à 1971-2000, en considérant trois scénarios d'émissions (A2, RCP4.5, et RCP8.5). Pour chaque cas, les résultats sont présentés pour deux saisons: DJF (Décembre, Janvier, Février) et JJA (Juin, Juillet, Août).

et des précipitations appliqués dans une zone proche de la Tanzanie pour la période 2021-2050 par rapport à 1971-2000. Les variations saisonnières de la température moyenne sont indiquées pour une hauteur de 2 mètres du sol (Figures 5a à f, en °C). Figures 5g à l montrent la variation en pourcentage de précipitations

saisonniers entre les deux tranches de temps. Les chiffres indiquent les parcelles pour deux saisons: DJF (Décembre, Janvier, Février) et JJA (Juin, Juillet, Août). La première rangée montre les résultats compte tenu du scénario RCP4.5, et la deuxième rangée les résultats compte tenu du scénario RCP8.5.

MÉTHODOLOGIES POUR L'ANALYSE DU RISQUE

Paramètres de définition du risque

D'un point de vue quantitatif, le Risque peut être considéré comme la combinaison des conséquences d'un événement (dommages) et la probabilité de sa survenance (aléa).

La science de l'estimation du risque doit intégrer les incertitudes liées à chaque étape du processus d'évaluation d'une manière logique et rationnelle. Par conséquent, il est généralement basé sur des analyses probabilistes. Conceptuellement, le risque est le résultat de l'opération :

Risque = Aléa * Vulnérabilité * Enjeu économique

On entend par le terme *aléa*, la probabilité qu'un certain événement catastrophique d'une intensité se produise dans un endroit et dans un intervalle de temps définis.

Le terme *vulnérabilité* est un concept multidimensionnel interprété et appliqué de manière différente en fonction du domaine d'application. D'un côté quantitatif, il est généralement considéré comme une mesure des dégâts probables dus à un événement catastrophique d'une certaine intensité. Enfin, le terme *enjeu économique* correspond à la valeur des éléments exposés au risque pour la zone concernée.

Hormis ces éléments de base, il faut remarquer que des estimations de risques plus holistiques pourraient nécessiter également de tenir compte d'autres éléments comme la résilience et les capacités d'adaptation.

La résilience peut être définie comme la capacité d'un système, d'une communauté ou d'une société exposée aux risques, de résister, d'assimiler, de s'adapter et de se redresser des effets d'un événement d'une manière opportune et efficace, notamment grâce à la préservation et à la restauration de ses structures de base essentielles et de ses fonctions.

De même, les capacités d'adaptation sont liées à la capacité des personnes, des organisations et des systèmes de faire face et de gérer des conditions défavorables, des

urgences ou des catastrophes en utilisant les compétences et les ressources disponibles. Distinguer la résilience et les capacités d'adaptation de la vulnérabilité globale vise à identifier les caractéristiques intrinsèques du système (éléments généralement positifs) qui existent déjà et pourraient donc encourager les parties prenantes à poursuivre leurs efforts en matière de réduction des risques.

Notion de vulnérabilité sociale

Le terme «vulnérabilité sociale» décrit de façon générale, la sensibilité des personnes à un risque. Cette définition nous permet de comprendre «les caractéristiques d'une personne ou d'un groupe en fonction de leurs capacités à anticiper, à faire face, à résister et à se remettre de l'impact d'un aléa naturel» Blaikie et al. (1994: 9). La recherche CLUVA souligne à la fois les dimensions sociales et temporelles des événements extrêmes et se concentre sur la question de comment les individus et les groupes sociaux anticipent, résistent, font face et se remettent d'une catastrophe.

Vulnérabilité sociale dans le projet

CLUVA: habilité d'un acteur à anticiper, à s'adapter et à se remettre des effets d'un aléa

Cadre d'évaluation de la vulnérabilité dans les villes étudiées du projet CLUVA

Il est généralement admis que les impacts les plus graves provenant des inondations sont causés par le résultat de conditions socio-économiques, démographiques et physiques très dynamiques. Ces conditions ont tendance à être particulièrement caractéristiques pour les quartiers pauvres en milieu urbain. Les causes profondes des perturbations liées au climat sont la rapide urbanisation anarchique dans les zones à haut risque, ainsi que la dégradation de l'environnement local plus vaste. Les événements climatiques ajoutent une nouvelle couche de préoccupations dans les villes étudiées. Les communautés qui sont fréquemment exposées sont celles qui s'installent le long des agglomérations côtières, à proximité d'un lit de rivière en



Rebka Fekade

Maître-assistant/Architecte à l'Institut Ethiopeien d'Architecture, Développement de la ville et construction d'immeubles, Université de Addis Abeba

«Grâce au projet CLUVA, j'ai pu apprendre comment obtenir des informations et des données à partir d'une **approche participative**, c'est-à-dire comprendre les indicateurs identifiés par les chercheurs, recueillir des informations pertinentes de façon qualitative et quantitative, interagir avec les communautés locales.

L'atelier de Leipzig a été utile non seulement pour acquérir des méthodologies, mais aussi pour transférer ces connaissances dans certains des cours que j'enseigne. Avec CLUVA je suis maintenant consciente de l'importance d'avoir un haut niveau de sensibilité à l'égard des valeurs locales pour recueillir les informations nécessaires et prévenir les risques».

raison de leur besoin en sources d'eau douce. L'impact dans ces communautés a bien été documenté, nous savons que des crues soudaines provoquent de graves dommages physiques aux bâtiments et aux installations sanitaires, ainsi que la dégradation des routes et la perturbation de la vie sociale quotidienne dans toutes les secteurs étudiés.

A la lumière de ces faits, les éléments de base de la vulnérabilité à prendre en considération sont :

- **Exposition**, décrivant la possibilité physique d'être touché.
- **Sensibilité**, exprimant la prédisposition à subir un tort parce qu'une personne ou un groupe ressent un certain niveau de fragilité ou d'une condition désavantageuse.
- **Adaptation et capacité d'adaptation**, se référant à la capacité des individus ou des groupes sociaux de répondre au stress, à la menace ou aux événements catastrophiques en les prenant en charge ou en s'y adaptant (Fuchs et al, 2011; Kabisch et al, 2012).

L'évaluation de la vulnérabilité sociale demande un examen des circonstances contextuelles. Cela signifie mettre en évidence et rattacher des facteurs / indicateurs pertinents compris dans quatre dimensions clés comme le montre la Figure 6 :

- **La vulnérabilité des biens** qui englobe les moyens de subsistance et les ressources matérielles des individus et des groupes.
- **La vulnérabilité institutionnelle** qui se réfère à l'état des collectivités locales et des groupes d'action civile qui s'activent à prévenir, adapter ou réduire l'effet des événements climatiques extrêmes.
- **La vulnérabilité comportementale** qui représente la perception et l'attitude à gérer le risque des individus et des groupes.
- **La vulnérabilité physique** qui représente les caractéristiques naturelles et/ou artificielles de l'environnement construit et de la surface de terrain (Jean-Baptiste et al., 2011).



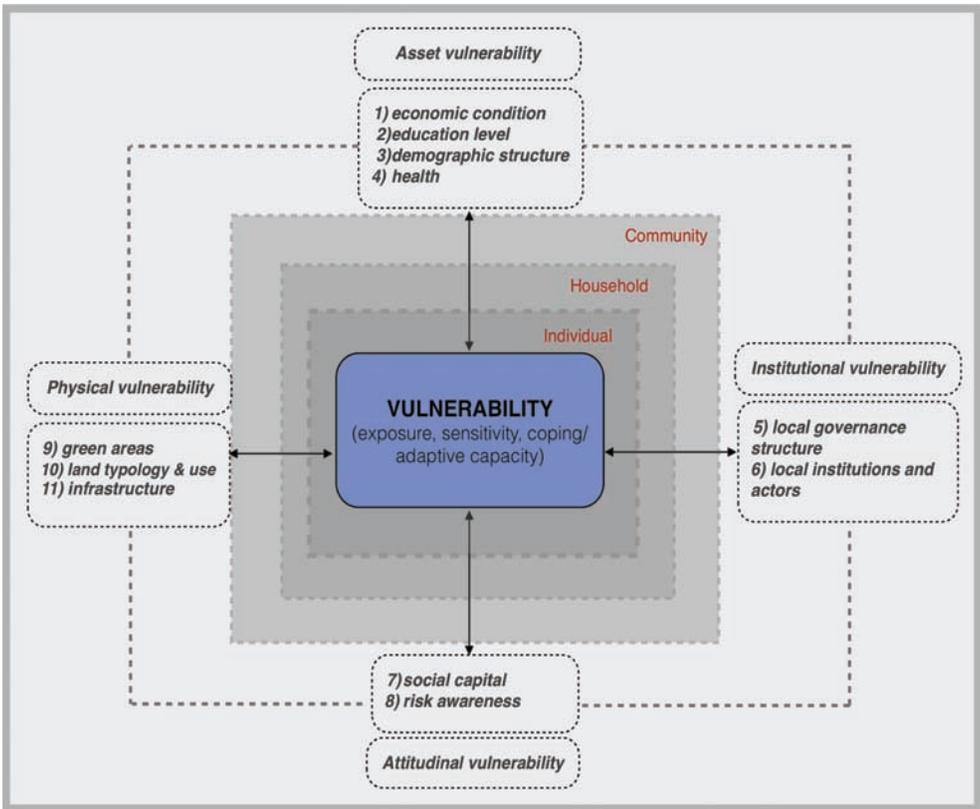


Figure 6. Cadre d'estimation de la vulnérabilité sociale dans CLUVA.



Figure 7. Leader local qui montre les conséquences d'une inondation (fermeture d'un lieu de culte) à Ouagadougou (photo: Nathalie J.B).



Figure 8. Focus group avec les résidents de la Bonde et des dirigeants communautaires (photo: Sigrun Kabisch).



Notion de « hot-spot »

La notion de “hot-spot” est utilisée dans différentes disciplines pour indiquer la concentration ou l’intensité d’un phénomène spécifique dans un contexte géographique donné.

Les hot-spots liés aux risques d’inondations peuvent donc être définis comme des lieux qui sont particulièrement sensibles aux inondations. La Figure 9 est un schéma représentatif d’un hot-spot pour le risque d’inondation. Le hot-spot du risque ‘R’ (Risque) est identifié comme un secteur où il existe une forte probabilité d’inondation appelé ‘H’ (Aléa) et coïncide avec une zone de forte exposition ‘E’ (Exposition). Considérant que près de la moitié de la population mondiale vit dans des centres urbains, identifier les hot-spots liés aux inondations est une étape fondamentale pour l’urbanisation et la gestion des risques. La délimitation des hot-spots urbains fournit sans aucun doute de précieuses informations pour les décisions à prendre mais peut également servir comme support aux chercheurs pour indiquer les futures tendances et dynamiques en milieu urbain.

La cartographie des hot-spots urbains liés aux risques d’inondations fournit un rapide outil de screening pour l’urbaniste de façon à identifier de façon efficace les zones qui ont besoin de mesures immédiates ou à long terme, comme par exemple l’adoption de procédures d’estimation des risques de détail et les différents stratégies de prévention à entreprendre.

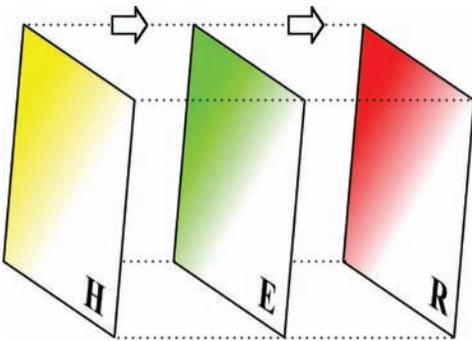


Figure 9. Aléa (H), Exposition (E) et Risque (R): le concept de hot-spot.

Les stratégies de prévention vont de la planification des structures pouvant atténuer le risque d’inondation, à la politique de relogement (si conseillée), aux mesures de restriction du territoire et aux actions de sensibilisation du public.

La procédure adoptée dans CLUVA pour délimiter les hot-spot à risque d’inondation est l’intersection entre les zones à fort risque d’inondation et celles à forte exposition au risque. Ceci est représenté par le croisement entre les données géomorphologiques et la densité de la population. L’identification des hot-spot urbains se fait en superposant la carte des zones potentiellement inondables (identifié par l’indice d’humidité topographique ou TWI en anglais Topographic Wetness Index), la carte des types de morphologie urbaine (UMT : Urban Morphology Types) définissant les zones résidentielles et les passages urbains (routes principales), et un ensemble de données géo-spatiales pour la démographie (ex : densité de la population).

Vulnérabilité et adaptation des écosystèmes urbains

Les écosystèmes urbains offrent un soutien essentiel pour les villes. Ils fournissent de la nourriture et des produits pour les populations urbaines; ils régularisent et soutiennent les environnements urbains locaux au profit des résidents, et ils attribuent des espaces pour les activités récréatives et culturelles. Différents types d’espaces verts et de zones d’eau fournissent ces opportunités et se situent partout dans la ville, que ce soit les arbres dans les rues, les potagers, les parcs municipaux ou les vallées fluviales.

Ces espaces «verts» ont été cartographiés à l’aide d’un système de classification des sols spécialement développé sur la base de «morphologie urbaine». Les cartes fournissent une base pour évaluer les écosystèmes urbains existants déjà dans les différents quartiers de la ville et les fonctions qu’ils peuvent idéalement remplir à ces endroits. Cela donne une idée du potentiel d’adaptation qui existe. Il est cependant nécessaire de comprendre la pression ultérieure causée par le climat. Un modèle a été utilisé pour estimer les



Katja Buchta

*Adjoint de recherche à
l'Université Technique de Munich,
Coordinatrice pour la Planification
et la gestion du paysage*

«Grâce à CLUVA, je comprends que l'une des priorités pour atténuer les risques climatiques dans les villes africaines soit la sensibilisation sur les risques climatiques en expliquant comment la planification urbaine est liée à ce sujet. Les activités d'implantation dans les zones à risque (par exemple les zones inondables) devraient être limitées et les pertes de terres agricoles et d'**espaces verts** réduits au minimum. Par conséquent, les structures d'habitations à grande densité dans des zones bien sélectionnées, attrayantes et à faible risque doivent être soutenues, tout en valorisant les espaces verts et l'agriculture urbaine. Transformer les zones inondables en zones d'agriculture urbaine entraverait le développement d'habitations dans ces zones, améliorerait la sécurité alimentaire de la ville et redynamiserait les fonctions de ces écosystèmes».

variations des températures de surface à la suite de l'occupation du sol et des changements climatiques. En outre, le risque d'endommagements de l'horticulture et des champs de culture des différents événements liés au climat, comme les inondations et la canicule, a été évalué au

moyen de consultations d'experts locaux. Ce travail contribue à fournir une base solide pour la planification «d'infrastructures vertes». D'autres informations plus précises concernant les données, les méthodes, les modèles et les résultats liés à cette partie de la recherche est disponible pour les spécialistes sur le site internet de CLUVA.

Instruments de mesure dans une perspective de risques multiples

La notion de risques multiples désigne une variété complexe de combinaisons de risques (c'est-à-dire différentes combinaisons d'aléas et différentes combinaisons de vulnérabilités). L'analyse des aléas multiples comprend donc l'examen de chaque source d'aléas, l'estimation d'interactions possibles ou bien d'effets en cascade. En revanche, la perspective de vulnérabilités multiples comporte l'examen de la réponse des différents éléments exposés (tels que l'environnement construit, les espaces verts qui représentent les écosystèmes urbains, ou le contexte social) sur les effets des différents aléas considérés. Compte tenu de la complexité des processus, le cadre de travail élaboré dans le projet CLUVA comporte deux niveaux d'analyse: une analyse de premier niveau, dans lequel une évaluation des dommages physiques potentiels est effectuée (par exemple sur les bâtiments, les infrastructures et les écosystèmes urbains); et une analyse de second niveau, dans lequel on considère un ensemble de conditions du contexte social représentant les pertes indirectes. A ce deuxième niveau, deux autres solutions complémentaires peuvent être prises en compte :



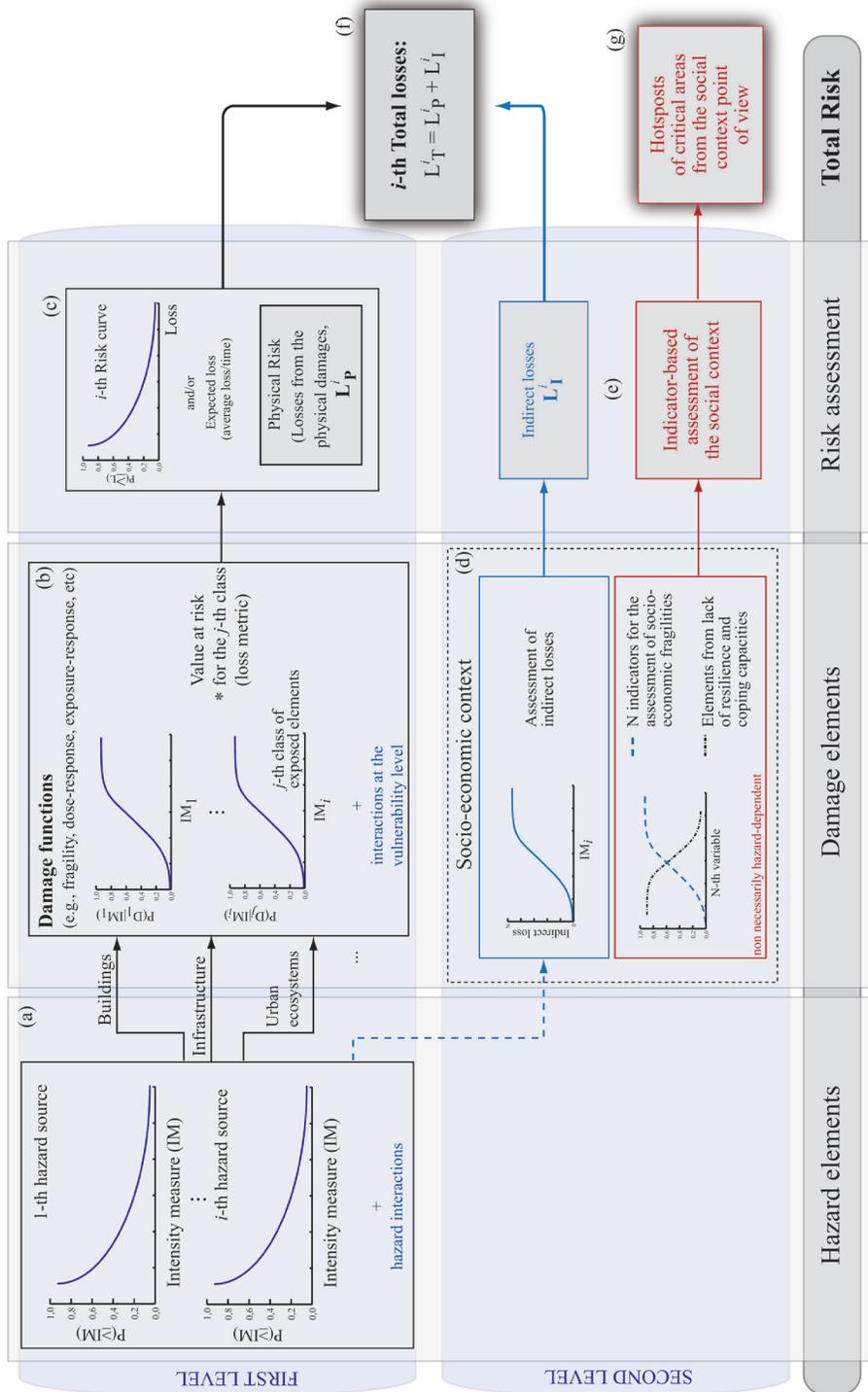


Figure 10. Schéma représentatif des deux niveaux d'estimation du risque dans le projet CLUVA.

1. une évaluation générale des risques en fonction des pertes indirectes tangibles, et
2. l'évaluation d'un indicateur de base afin d'identifier les hot-spots des zones critiques où le contexte social peut amplifier les pertes. La Figure 10 montre les deux niveaux d'évaluation de risques multiples développés dans le cadre général du projet CLUVA.

Ce cadre a également été traduit dans un système informatique pour aider à effectuer les calculs des aléas relatifs et risques multiples. Le prototype développé MASAI (Multi-hazard and multi-risk assessment tool - outil d'estimation de dangers et risques multiples), est disponible et peut être testé à l'adresse suivante: <http://www.amrcenter.com/masai.htm>

Comme tout outil fondamental pour la prise de décision sur le risque, le procédé d'estimation du risque quantitatif et de risques multiples n'exclue pas les incertitudes et implique donc l'utilisation de probabilités. Une analyse de risques multiples peut offrir plusieurs avantages utiles à la prise de décision. D'une part, les résultats quantitatifs exprimés dans les courbes de dépassement des pertes et des pertes annuelles attendues (ou conséquences) peuvent être utilisés pour classer les risques et évaluer les différentes options de prévention des risques. D'autre part, les résultats qualitatifs utilisant l'analyse des indicateurs, fournissent des informations complémentaires qui met en évidence des zones dans des conditions de contexte social particulier.



RECOMMANDATIONS POUR LES STRATÉGIES DE PRÉVENTION DU RISQUE

Rôle des écosystèmes urbains dans la planification

Dans les villes africaines à croissance rapide, les écosystèmes urbains jouent un rôle essentiel pour plusieurs aspects comme la prévention de l'érosion des sols, la fourniture de nourriture et de bois de chauffage, la modération de l'effet d'îlot thermique, la réduction des risques d'inondation et la mise à disposition d'espaces sociaux pour la population. Le projet CLUVA a démontré que les écosystèmes urbains sont un moyen important d'atténuer les impacts négatifs de l'urbanisation et du changement climatique dans les villes africaines. Ci-dessous quelques indications clés sont décrites pour intégrer les écosystèmes urbains dans les stratégies de développement, et pour mieux comprendre les avantages qu'ils peuvent apporter :

- **La concentration du développement urbain** est d'une importance primordiale pour réduire les pressions sur les écosystèmes urbains. La modélisation du développement urbain démontre que la création de structures d'habitation à forte densité autour des nœuds urbains et dans certaines zones à faible risque situées à la périphérie de la ville est le moyen le plus efficace pour la sauvegarde des terres agricoles et des forêts de grande valeur.
- Un réseau d'espaces verts cohérent qui réunit plusieurs fonctions d'écosystèmes devrait être élaboré. Cette **infrastructure verte urbaine** est tout aussi importante que les infrastructures techniques et sociales pour promouvoir un développement urbain durable et la résilience au changement climatique. Cette stratégie de développement devrait être fondée sur une estimation globale de l'ensemble de la structure urbaine verte et de ses fonctions.
- **Les systèmes fluviaux** sont le pilier d'un réseau d'infrastructures vertes. Les lits des fleuves doivent être privés d'obstacles ou d'aménagement inappropriés et les fonctions du lit majeur doivent être

- améliorées afin de réduire les risques d'inondation dans les zones urbaines.
- Il est très important que **l'agriculture** soit reconnue dans la planification urbaine d'une part comme une source de produits alimentaires pour la subsistance des citoyens. En outre, l'agriculture urbaine a également d'autres fonctions importantes comme la rétention d'eau dans le sol et la réduction des températures locales. Un régime foncier sûr et le soutien aux agriculteurs pour mettre en place des pratiques qui respectent l'environnement sont des points clés de l'urbanisation.
- **La réserve d'arbres** en milieu urbain est l'élément le plus important pour atténuer l'effet d'îlot thermique, l'assimilation du carbone, mais aussi pour la fourniture de bois et d'autres produits tels que les fruits. Dans les localités côtières, les forêts de mangroves protègent des ondes de tempête. Par conséquent, une attention particulière devrait être accordée à la protection des forêts et des arbres ainsi qu'à la création de nouvelles forêts et la plantation d'arbres dans les zones urbaines.

Projets d'ingénierie et systèmes d'évacuation des eaux pluviales

La conception et la gestion des systèmes d'évacuation d'eaux pluviales sont des questions difficiles dans les pays en développement, compte tenu du développement urbain rapide, des types d'habitations urbaines non planifiées et de la grande pauvreté. Dans les villes des pays étudiés, les systèmes d'égouts sont souvent insuffisants en termes d'expansion et de fonctionnement, en particulier à cause d'une mauvaise gestion des déchets (Fig. 11). Les zones urbaines ont tendance à être dépassées par le développement d'habitations incontrôlé qui représente un obstacle important pour le système d'évacuation des eaux. Le moyen essentiel pour résoudre la plupart de ces problèmes est de procéder à une planification intégrée et à une approche de gestion par lesquelles les deux besoins primaires, le sol et l'eau, soient pris en compte ensemble. Un programme de développement urbain durable est nécessaire pour s'assurer



Figure 11. Système d'évacuation non planifié à Dar-es-Salam (gauche, photo de M.E. Topa); système d'évacuation d'eau à Ouagadougou (droite, photo de A. Di Ruocco).

que les problèmes d'évacuation des eaux soient pris en considération à l'avance et continuent à être pris en compte dans le futur.

La conception et la gestion des systèmes d'évacuation d'eaux pluviales devraient inclure :

- l'estimation et la planification des activités qui affectent potentiellement la qualité ou la quantité des eaux de ruissellement;
- le développement de plan de gestion de la qualité des eaux pluviales sous la tutelle du gouvernement local;

- la planification, la réalisation et la maintenance de nouvelles infrastructures d'évacuation des eaux;
- l'identification des possibilités de modernisation des infrastructures existantes afin d'améliorer la performance environnementale.

Figures 12 et 13 ci-dessous décrivent les approches traditionnelles recommandées pour gérer les eaux pluviales en milieu urbain.

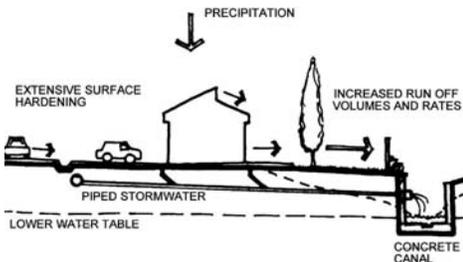


Figure 12. Approche traditionnelle d'évacuation des eaux pluviales (City of Cape Town Manual).

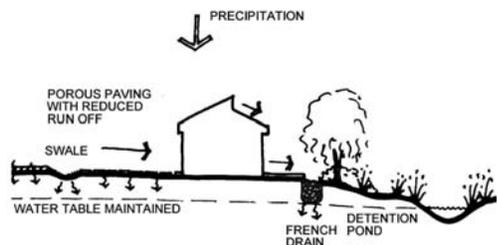


Figure 13. Approche responsable de l'évacuation des eaux pluviales (City of Cape Town Manual).



Les meilleures pratiques de gestion des eaux pluviales (Best Management Practices BMPs) visent à un transfert adéquate des eaux et à un contrôle des inondations économiquement acceptable pour la communauté. Les BMP conservent autant que possible les caractéristiques des eaux de ruissellement «naturelles», les avantages d'infiltration de systèmes encore non développés et réduisent ou empêchent la dégradation de la qualité de l'eau. Le choix et la conception des méthodes BMP doivent donc intégrer les problèmes de quantité et de qualité de l'eau. Les méthodes BMP qui répondent aux contrôles à la source tels que le balayage des rues, le nettoyage des bassins versants et de la réglementation anti-litière doivent être partie intégrante de plans d'évacuation spécifiques. Les contrôles à la source peuvent avoir un effet significatif sur la charge totale des contaminants rejetés dans un plan d'eau récepteur, mais ne suffisent pas à réduire le total des charges de contaminants à des niveaux acceptables et ce, dans la plupart des zones de développement. Il est important d'effectuer d'ultérieurs traitements et le contrôle des eaux de ruissellement dans la sélection des BMP.

Une réduction considérable du débit de pointe peut être obtenue par l'utilisation et l'intégration des méthodes BMP, comme par exemple, chaussées perméables, lits d'infiltration, différentes méthodes de retenue. Il est important de noter, toutefois, que les

BMP sont des pratiques de gestion des eaux pluviales qui pourraient être intégrées et qui ne remplacent pas forcément les approches traditionnelles qui sont déjà en place.

Fiabilité du réseau routier

L'impact du changement climatique sur le réseau routier est considérable, en particulier pour les effets provoqués par les fortes précipitations, les inondations et les glissements de terrain. Les éléments du réseau routier qui sont plus vulnérables peuvent être divisés en deux principales catégories : les routes avec leurs systèmes de drainage et les passages sur les cours d'eau.

Les routes et leurs systèmes de drainage peuvent subir des dégâts (Fig. 14a) à la suite d'une inondation de rivière ou d'un cours d'eau, ou à la suite de fortes eaux de pluie qui dépassent la capacité de drainage des fossés et des routes. Les dommages aux cours d'eaux (Fig. 14b) comprennent l'érosion et le creusement des fossés de drainage, la détérioration de l'accès à la traversée des cours d'eaux et l'affaiblissement des contreforts lorsque la capacité des fossés est dépassée. L'estimation de la fiabilité du réseau suite à des catastrophes naturelles est une question complexe qui implique plusieurs facteurs physiques et fonctionnels. En général, la méthodologie adoptée pour évaluer la performance du réseau routier doit être choisie en fonction de l'importance du rôle joué par le



Figure 14. Exemples de dégâts à une route (a) et à un pont (b) (FEMA, 2005).

Tableau 3. Exemple d'options possibles d'adaptation alternatives (adapted from Bennet, 2011).

Routes	Ponts
Augmenter la capacité de tous les drainages	Renforcer tous les ponts
Augmenter la capacité de drainage dans les zones qui sont les plus susceptibles d'être inondées	Renforcer les ponts traversant les rivières qui sont les plus susceptibles d'être inondées
Augmenter la capacité de drainage dans les zones où les inondations causent plus de dégâts ou retards.	Renforcer les ponts où il y a plus de circulation
Analyser le type de drainage et son système de maintenance; déterminer la propriété et les responsabilités de maintenance	Évaluer les ponts qui sont les plus à risque
Améliorer l'efficacité du drainage par un nettoyage plus fréquent ou ciblé	Préparer des plans d'urgence pour communiquer aux conducteurs des routes alternatives et quels sont les ponts étroits les plus à risque lors d'inondations

réseau lui-même et la disponibilité de données et d'informations sur le réseau.

Le but principal d'une analyse de risque est d'améliorer la résilience du réseau routier (c'est à dire sa capacité à retrouver sa fonctionnalité après une catastrophe naturelle) et cet objectif ne peut être obtenu que par des actions d'adaptation et d'atténuation (par exemple, la planification, la conception, l'exploitation ou la maintenance). En ce qui concerne les inondations, les mesures d'adaptation à court terme (voir la liste dans le Tab. 3) devraient se concentrer sur la collecte systématique de données sur les événements météorologiques extrêmes qui ont provoqué des dégâts, et des études plus détaillées sur les parties du réseau qui sont actuellement sujettes aux

inondations. La modélisation d'inondation faite sur le bassin hydrologique devrait prendre en considération les zones à haut risque pour affiner l'estimation du risque quant aux biens critiques et afin d'identifier les zones non touchées actuellement, mais qui pourraient l'être dans l'avenir.

Un autre élément clé de la résilience face aux catastrophes est le concept d'adaptation ou en d'autres termes la flexibilité d'un système à répondre à ses besoins primaires lorsqu'il est touché par un danger. Pour un réseau routier, par exemple, le degré d'adaptation est lié à l'existence d'itinéraires routiers alternatifs qui peuvent être identifiés de sorte que les flux de circulation soient déviés en cas de blocage sur une partie du réseau. Sans un examen complet



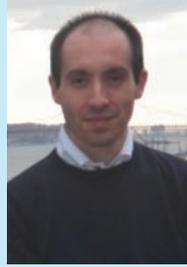
de ces aspects parallèlement aux autres recommandations, les catastrophes qui se produisent dans une partie de la ville peuvent avoir un effet considérable sur l'ensemble de la population urbaine.

Renforcement des maisons en adobe

Les habitats non planifiés sont particulièrement vulnérables aux inondations en raison d'une qualité généralement médiocre de la construction et du fait qu'elles soient souvent situées dans des zones particulièrement sensibles aux inondations. Les stratégies de prévention des risques proposées dans le cadre du projet CLUVA sont axées sur les catégories de logements prédominants qui ont été identifiés dans les quartiers de trois des villes étudiées: à savoir, maisons en adobe pour Ouagadougou, maisons faites de briques en ciment pour Dar-es-Salam et des maisons faites de boue et de bois pour Addis-Abeba.

Ces stratégies se concrétisent souvent dans les mesures d'adaptation déjà en pratique par la communauté locale. Quelques exemples de stratégies de prévention structurelles proposées sont : la construction de fondations surélevées, la réalisation de barrières, la fermeture des fenêtres et des portes contre les infiltrations, l'amélioration des propriétés des matériaux et la protection des murs directement en contact avec l'eau.

Les outils d'analyse de pointe montrent 1) comment la vulnérabilité d'une structure traditionnelle peut être touchée par le choix de stratégies de prévention proposées et 2) combien le choix de stratégies de prévention contribue à réduire les risques d'inondation dans toute la ville.



Raffaele De Risi

Chercheur Post-doctorat
d'Ingénierie structurelle et
Architecture, Université de Naples
Federico II

«En travaillant sur le projet CLUVA, j'ai appris à comprendre et à apprécier les aspects sociaux de la **vulnérabilité** et des **risques**. Par conséquent, en plus de l'incroyable richesse de connaissances techniques que j'ai pu développer pour la résolution de problèmes, j'ai eu la possibilité de prendre conscience de ce que sont les vrais problèmes qui peuvent toucher une société comme la société africaine. Inutile de dire que la possibilité de travailler dans un environnement interdisciplinaire plein de gens brillants et motivés, m'a appris ce que signifie être un bon chercheur et m'a donné envie d'améliorer».

Ceci dit, il faut aussi reconnaître qu'un choix responsable quant aux zones de construction des nouvelles constructions reste bien la stratégie la plus efficace de prévention des risques. Par conséquent, pour chacune des trois villes étudiées, une carte bicolore a été réalisée pour montrer les zones sans dangers et les zones à risque par rapport aux inondations. Celles-ci fournissent un moyen utile pour les décideurs locaux afin d'identifier les zones résidentielles à risque et les sites de construction appropriés pour l'avenir.



Politiques et stratégies de gouvernance, enrichissement des données

Les mesures de prévention au niveau local est un nouveau domaine à prendre en compte dans la planification urbaine, et aucune norme a encore été établie pour connaître le chemin à entreprendre. Un certain nombre de mesures importantes ont été identifiées et peuvent être utilisées comme liste de vérification pour évaluer la préparation d'une ville, afin d'identifier les priorités et les synergies entre différents secteurs. Etant donné que l'adaptation au changement climatique est un problème complexe et transversal, une approche intersectorielle à plusieurs niveaux est nécessaire. Rendre les villes plus résilientes nécessite différents types de connaissances. Les villes devraient donner la priorité aux données de terrain à haute résolution et à la cartographie de la vulnérabilité. Les informations importantes devraient être mises toutes ensemble. Cependant, il n'est pas indispensable que toutes les estimations exactes soient terminées pour planifier. Commencez dès maintenant! Le principal obstacle pour que l'adaptation aux changements climatiques devienne partie intégrante de la planification urbaine dans



Ndeye Marème Ndour

Étudiante en doctorat en Sciences géographiques et Environnement des Ecosystèmes, Université Gaston Berger of Saint-Louis

«L'effort de CLUVA pour intégrer les décideurs dans tous les processus de recherche (la collecte des données, l'analyse de l'information, l'élaboration et la validation des outils et des modèles de gestion) est une approche positive qui a rompu avec les pratiques d'une «recherche fragmentée». Ce modèle de partenariat permettra d'améliorer les processus de prise de décision au Sénégal grâce à une meilleure compréhension des phénomènes de la part des décideurs politiques, et de la disponibilité des données dans des formats accessibles et compréhensibles. Des efforts doivent être poursuivis dans ce sens afin de faire face aux risques et aux situations de catastrophes dans tout le pays».

Tableau 4. Liste de vérification.

Mesures principales	Mesures associées	Conditions de mise en œuvre
Amélioration de de l'utilisation des sols et normes de construction plus sévères	Logements abordables et modernisation	Propriétaires / pilotes des processus Différents acteurs locaux à impliquer
Mise à niveau du drainage urbain et de la gestion des eaux pluviales	Amélioration de la gestion des déchets domestiques	Coordination horizontale à différents niveaux entre les acteurs locaux
Amélioration de l'aménagement de l'environnement en mettant l'accent sur les espaces verts de la ville et sur ses fonctions écologiques	Gestion des catastrophes et préparation aux secours	La sensibilisation et la planification locale participative
	Intégration dans la planification urbaine	Enrichissement des connaissances et collecte des données pertinentes déjà disponibles – stockage de l'ensemble des données dans un seul endroit
	Avantages multiples et synergie entre les mesures	

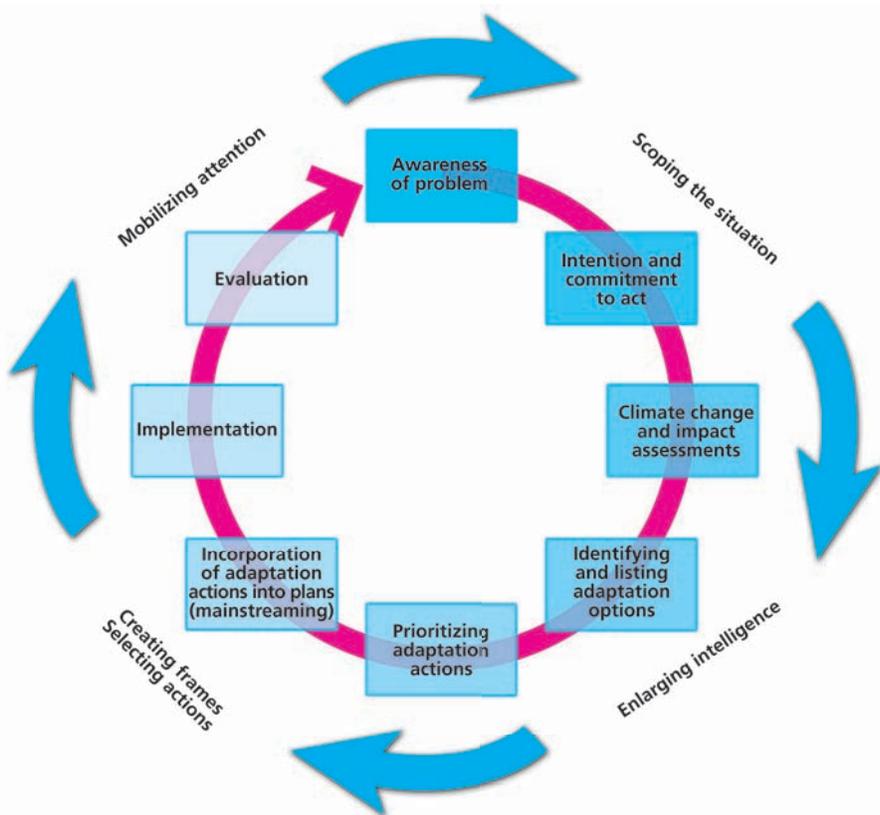


Figure 15. Les éléments typiques de la planification de la prévention (cercle intérieur) et les dimensions de la prise de stratégie (cercle extérieur).



Figure 16. Rencontre avec les acteurs locaux à Addis-Abeba.

les villes étudiées est la faible réponse au niveau local. Les services de base et la gestion de l'occupation des sols y sont mal conduits car l'administration municipale n'arrive pas à suivre les demandes de l'urbanisation rapide. Le premier remède pour l'adaptation au changement climatique dans le développement des villes est l'urgence des problèmes d'inondation que les citoyens et les professionnels affrontent déjà. Il y a une prise de conscience des problèmes et certaines solutions, mais de nombreuses mesures ne sont tout simplement pas applicables sur l'ensemble de la ville à l'heure actuelle. Cependant, les décideurs pensent qu'ils pourraient être en mesure de répondre à certaines mesures stratégiques: en particulier ceux qui peuvent mobiliser un certain nombre d'acteurs locaux et qui font remonter les problèmes qui se sont déjà vérifiés dans leur ville.

Des rencontres avec les acteurs locaux dans les villes étudiées suggèrent que l'encadrement des mesures d'adaptation tel que la «gestion intégrée des eaux» est une bonne voie à suivre. Cela permettrait une meilleure gestion des eaux par une approche à l'échelle urbaine basée sur les intérêts communs et les synergies possibles dans différents secteurs.

Dans les villes où le système de gouvernance est actuellement trop fractionné pour conduire un effort de prévention institutionnel mené dans toute la ville, des «**projets locaux intégrés**» dans les zones les plus vulnérables abordant la gestion des sols ainsi que des projets de modernisation et de subsistance, semblent trouver un écho parmi les acteurs locaux et pourraient entreprendre un processus «d'apprentissage par la pratique» de la prévention au niveau de la ville.



RECOMMANDATIONS SUR LES BESOINS DE DONNÉES

- Données de terrain mises à jour et à haute résolution pour les villes
- Données de référence à long terme fiables provenant de stations d'observation sur le terrain
- Information sur des éléments retenus importants pour les mesures de prévention comme la gestion des déchets, le drainage, l'approvisionnement en eau ceci au niveau du quartier, mais aussi pour les habitats non planifiés
- Collecte des données pertinentes et stockage dans un seul endroit réservé au thème de l'adaptation du changement climatique
- Cartographies des aléas et de la vulnérabilité à une échelle détaillée

RECOMMANDATIONS SUR LES STRATEGIES DE GOUVERNANCE POUR AMELIORER LA RESILIENCE DES ZONES URBAINES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

- Développer et/ou améliorer la prévention et gestion des risques naturels, au niveau national, régional et urbain
- S'assurer que les politiques, les directives et la planification urbaine intègrent bien la gestion et les mesures de prévention des risques
- Améliorer la planification et la gestion de l'occupation des sols
- Rénover le drainagé urbain, la gestion des gaspillages d'eau et des eaux de pluies
- Adopter des stratégies de développement urbain visant à éviter une forte augmentation de l'imperméabilité de surface causée par une forte expansion des habitations au détriment de terres agricoles et d'autres espaces verts. Ceci peut être obtenu en augmentant la densité des habitations de façon équilibrée
- Programmer l'aménagement de l'environnement (éviter les superpositions et augmenter les espaces verts) l'accompagnant des mesures suivantes :
 1. amélioration de la gestion des déchets
 2. politique de logement pour trouver des alternatives aux zones vulnérables
 3. la revalorisation de zones non planifiées
 4. stratégies de relogement telles que les aides sur le revenu ; dépistage des vulnérabilités et efforts de rénovation
 5. cartographie de la vulnérabilité et identification des zones à haut risque
 6. décentralisation des compétences et des ressources au niveau municipal
 7. action de sensibilisation et renforcement des capacités aux niveaux inférieurs de l'administration, en particulier au niveau municipal

CLUVA – CLIMATE CHANGE AND URBAN VULNERABILITY IN AFRICA PLAN DE TRAVAIL DU PROJET

Coordinateur du Projet, *Guy Weets*

WP1 Changement climatique et modèles d'aléa naturel, *Paolo Gasparini*

Task 1.1 Modèles de projection des changements climatiques, *Pasquale Schiano*

Task 1.2 Services de cartographie climatique de réseau WEB, *Ingo Simonis*

Task 1.3 Scénarios de probabilité d'aléas naturels, *Maurizio Giugni*

WP2 Vulnérabilité et estimation du risque, *Stephan Pauleit*

Task 2.1 Vulnérabilité de structures urbaines et subsistance, *Junio Iervolino*

Task 2.2 Vulnérabilité et adaptation potentielle liées aux écosystèmes urbains, *Sarah Lindley*

Task 2.3 Estimation de la vulnérabilité sociale, *Sigrun Kabisch*

Task 2.4 Estimation de la vulnérabilité sociale, *Warner Marzocchi*

WP3 Amélioration de la résilience des systèmes urbains vis-à-vis du changement climatique, *Gertrud Jørgensen*

Task 3.1 Amélioration de la résilience des systèmes urbains vis-à-vis du changement climatique, *Trond Vedeld*

Task 3.2 Indicateurs d'utilisation des sols, *Lise Herslund*

Task 3.3 Développement de nouvelles utilisations de la terre et stratégies de gouvernance pour améliorer la résilience de zones urbaines vis-à-vis du changement climatique, *Lise Herslund*



WP4 Capacité de recherche et diffusion, Anwar Vahed

Task 4.1 Capacité de recherche, *Anwar Vahed*

Task 4.2 Programmes de formation et compétences à long terme, *Stephan Pauleit*

Task 4.3 Diffusion aux chercheurs et spécialistes, *Paolo Gasparini*

WP5 Etudes de cas, méthodologies et outils d'estimation, Guy Weets

Task 5.1 Ouagadougou Burkina Faso, *Hamidou Toure*

Task 5.2 Douala Cameroun, *Emmanuel Tonyé*

Task 5.3 Saint-Louis Sénégal, *Adrien Coly*

Task 5.4 Dar-es-Salam, *Wilbard Kombe*

Task 5.5 Addis-Abeba, *Kumelachew Yeshitela*

Task 5.6 Consolidation des cinq cas, méthodologie révisée, évaluation des outils, *Guy Weets*

WP6 Gestion et coordination du Projet, Alfonso Rossi Filangieri



BIBLIOGRAPHIE

- Bennet, J. (2011). *Preparing for climate change: Adapting local transport*. UK Climate Impacts Programme, Oxford.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (1994). *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. London: Routledge.
- City of Cape Town. Development Service. "Stormwater Management Planning and Design Guidelines for New Developments". June 2002.
- Douglas I., Alam K., Maghenda M., McDonnell Y., Mclean I. and Campbell J. (2008). "Unjust waters: climate change, flooding and the urban poor in Africa". *Environment & Urbanization* Vol 20(1): 187–205. DOI: 10.1177/0956247808089156.
- EM-DAT, 2013. The OFDA/CRED International Disaster Database – www.emdat.be – Université catholique de Louvain – Brussels – Belgium.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (2005a). *Flood-Resistant Local Road Systems: A report Based on Case Studies*, American Lifelines Alliance.
- Fuchs, S., Kuhlicke, C., Meyer V. (2011). Editorial for the special issue: vulnerability to natural hazards – the challenge of integration, *Natural Hazards*, 58/2: 609-619. DOI 10.1007/s11069-011-9825-5.
- Jean-Baptiste, N., Kuhlicke, C., Kunath, A., Kabisch, S., (2011). Review and evaluation of existing vulnerability indicators in order to obtain an appropriate set of indicators for assessing climate related vulnerability. CLUVA Deliverable D2.11. Available at http://www.cluva.eu/deliverables/CLUVA_D2.11.pdf.
- Kabisch, S., Kunath, A., Schweizer-Ries, P., Steinführer, A. (Eds.) (2012). *Vulnerability, Risks and complexity. Impacts of Global change on Human Habitats*, Göttingen: Hogrefe.
- Kane C., Humbert J., Kane A. (2013). Responding to climate variability: the opening of an artificial mouth on the Senegal River. *Regional Environmental Change* February 2013, Volume 13, Issue 1, pp 125-136.
- Kuglitsch F. G., A. Toreti, E. Xoplaki, P. M. Della-Marta, C. S. Zerefos, M. Turkes and J. Luterbacher (2010). Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L04802, doi:10.1029/2009GL041841.
- McGranahan, G, D Balk and A Anderson (2007). The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones, *Environment & Urbanization* Vol 19, No 1, April, pages 17-37.
- Procyk, A., and Dhariwal, R. (2010). *Transportation Sector Case Study: Characterizing vulnerability to Infrastructure Failure Interdependencies (IFIs) from flood and earthquake hazards*. www.chs.ubc.ca/dprc_koa/.
- Rahmstorf, S. (2012) Modeling sea level rise. *Nature Education Knowledge* 3(10):4.
- Reynolds J. F., Grainger A., Stafford Smith D. M., Bastin G., Garcia-Barrios L., Fernández R. J., Janssen M. A., Jürgens N., Scholes R. J., Veldkamp A., Verstraete M. M., Von Maltitz G. and Zdruli P., (2011). Scientific concepts for an integrated analysis of Desertification, *Land Degrad. Develop.* 22: 166-183 (2011).
- Savonis, M. J., Burkett V. R., Potter J. R., Kafalenos R., Hyman R., and Leonard, K. (2009). *The Impact of Climate Change on Transportation in the Gulf Coast*. Proceedings of TCLEE 2009: Lifeline Earthquake Engineering in a Multihazard Environment, Oakland, California.
- The World Bank, 2012. *Cities and Flooding. A Guide to Integrate Urban Flood Risk Management for the 21st Century*.
- Tsakiris G., Loukas A., Pangalou D., Vangelis H., Tigkas D., Rossi G. and Cancelliere A., (2007) Drought Characterization. In: A. Iglesias, M. Moneo, A. Lopez-Francos (Eds) *Drought Management Guidelines Technical Annex*, CIHEAM/EC MEDAWater, Zaragoza, pp. 85-102.
- UN-HABITAT, 2008. *State of the World's Cities 2008/2009. Harmonious Cities*.
- United Nations ECA (Economic Commission for Africa), 2008. *Africa Review Report on Drought and Desertification*.
- World Bank. 2013. *Turn Down the Heat: Climate Extremes, Regional Impacts, and the Case for Resilience*. A report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics. Washington, DC:World Bank. License: Creative Commons Attribution—NonCommercial—NoDerivatives3.0 Unported license (CC BY-NC-ND 3.0).





Selon l'IPCC (International Panel on Climate Change), l'Afrique est l'un des continents les plus vulnérables au changement climatique et à la variabilité climatique. Malgré cela, il n'existe que très peu d'études réalisées sur les changements climatiques concernant l'Afrique de l'Est, de l'Ouest et l'Afrique centrale. L'interaction de plusieurs facteurs tels que la pauvreté, la santé, une rapide urbanisation accentuent encore plus cette situation révélant une faible capacité d'adaptation. Le projet CLUVA (The Climate Change and Urban Vulnerability in Africa) a été conçu pour répondre à ces questions.

CLUVA a comme principal objectif de développer des méthodes simples applicables aux villes africaines afin de les aider à gérer les risques liés au climat et à réduire leur vulnérabilité face aux impacts du changement climatique. Les chercheurs ont étudié ces questions pour cinq villes (Addis-Abeba en Ethiopie, Dar-es-Salam en Tanzanie, Douala au Cameroun, Saint-Louis au Sénégal et Ouagadougou au Burkina Faso) et ont aidé les institutions locales, universités et services municipaux, à construire les capacités nécessaires à faire face aux changements climatiques et aux risques qu'ils représentent.

Ceci a été réalisé grâce à un effort de recherche intégré entre experts européens et africains dans les domaines spécifiques du changement climatique, de la gestion des risques et de l'urbanisme, utilisant leurs connaissances pour évaluer les impacts environnementaux, sociaux et économiques du changement climatique. CLUVA s'est penché en particulier sur les inondations qui semblent être le risque le plus dévastateur et présent dans toutes les villes. D'autres dangers comprennent l'érosion, les canicules de chaleur, la sécheresse et les risques à long terme, comme la désertification ou l'élévation du niveau de la mer.

De nouvelles méthodes ont été développées dans ces cinq villes, à la fois pour l'estimation de la vulnérabilité au changement climatique, et pour la définition de nouvelles mesures de prévention et d'adaptation, visant à fournir aux décideurs les outils indispensables pour la gestion des risques.

