

# Manuel de planification et d'évaluation des mesures de réduction du risque d'inondation basées sur les écosystèmes en Afrique de l'Ouest



**UNU**  
**EHS**



# Manuel de planification et d'évaluation des mesures de réduction du risque d'inondation basées sur les écosystèmes en Afrique de l'Ouest

## Auteurs

Sally Janzen, Jana Balzer, Fabian Merk, Jonas Hansohm, Yvonne Walz

## Réviseurs

Andrea Ortiz-Vargas, Andreas Fink, Emmanuel Nketiah Ahenkorah, Fabian Rackelmann, Fabrice Renaud, Karen Sudmeier-Rieux, Raymond Djangma, Udo Nehren



UNU  
EHS



Federal Ministry  
of Education  
and Research

# Résumé

Le changement climatique exacerbe les risques d'inondation en Afrique de l'Ouest. La réduction des risques de catastrophes basée sur les écosystèmes (Eco-DRR) est de plus en plus reconnue comme une partie de la solution pour faire face à ce défi. Ce manuel sert de guide à la mise en œuvre réussie de l'Eco-DRR, avec des étapes pratiques sur comment planifier, localiser et évaluer les interventions.

## Il formule les recommandations suivantes :

### Évaluation des risques d'inondation :

Utiliser une évaluation des risques d'inondation comme base pour tout placement et évaluation de Eco-DRR. Cette évaluation peut être réalisée de différentes manières, en fonction du temps et des ressources dont on dispose.

### Sélection des mesures Eco-DRR en fonction du contexte :

Choisir les mesures Eco-DRR en fonction des besoins et des conditions locales spécifiques.

### Endroits stratégiques :

Identifier les emplacements pour les mesures Eco-DRR qui maximisent leur impact sur la réduction du risque global d'inondation. Cela implique de comprendre les spécificités de chaque zone et de trouver un compromis entre plusieurs aspects qui entrent en jeu.

### Évaluation exhaustive :

Évaluer les effets de l'Eco-DRR sur les trois composantes du risque d'inondation pour finalement les combiner afin d'évaluer la réduction du risque de l'Eco-DRR.

### Implication des parties prenantes :

Impliquer activement les parties prenantes locales dans la sélection, la localisation et l'évaluation de l'Eco-DRR. Cet engagement est essentiel pour obtenir des informations locales, renforcer l'adhésion et garantir la durabilité de la mesure.

### Équipe pluridisciplinaire :

Compte tenu de la nature interdisciplinaire de la tâche, il convient d'impliquer notamment des hydrologues, des géoscientifiques, des écologistes, des météorologues, des planificateurs, des spécialistes des risques, et des sociologues afin de considérer différentes expertises et perspectives pour obtenir un meilleur résultat.

De fortes pluies au Togo et au Bénin provoquent le débordement du fleuve Mono, affectant des milliers de personnes qui vivent à proximité du fleuve. Le niveau de l'eau est surveillé par la communauté

© Arianna Flores Coral / UNU-EHS



# Table des matières

<b>1. Introduction</b>	<b>8</b>
<b>2. Comprendre et évaluer le risque d'inondation</b>	<b>10</b>
2.1. Principales composantes du risque d'inondation	10
2.2. L'évaluation du risque d'inondation	13
<b>3. Réduction du risque d'inondation basée sur les écosystèmes</b>	<b>16</b>
3.1. La régulation de l'aléa par les écosystèmes	19
<b>4. Localisation stratégique des mesures de réduction du risque d'inondation basées sur les écosystèmes</b>	<b>22</b>
4.1. Sélection des mesures Eco-DRR	22
4.2. Choix et priorisation du site pour la mise en œuvre des mesures Eco-DRR	23
<b>5. Évaluation des mesures de réduction du risque d'inondation basées sur les écosystèmes</b>	<b>26</b>
5.1. Évaluation de l'impact de l'Eco-DRR sur toutes les composantes du risque	26
5.1.1. Évaluation de l'impact de l'Eco-DRR sur l'aléa	26
5.1.2. Évaluation de l'impact de l'Eco-DRR sur l'exposition	28
5.1.3. Évaluation de l'impact de l'Eco-DRR sur la vulnérabilité	30
5.1.4. Évaluation de l'Eco-DRR pour la réduction des risques	31
<b>6. Exemple d'application de l'Eco-DRR dans un contexte rural en Afrique de l'Ouest : Agroforesterie pour la réduction du risque d'inondation dans le bassin de l'Ouémé, Bénin</b>	<b>32</b>
6.1. Site de mise en œuvre de l'agroforesterie	34
6.2. Évaluation de l'agroforesterie	35
<b>7. Conclusion et recommandations</b>	<b>40</b>
Annexe	42
Bibliographie des publications	45

## Liste des figures

<b>Figure 1</b>	Inondation en milieu rural dans le contexte de l'Afrique de l'Ouest. Source : PAM	11
<b>Figure 2</b>	Inondation urbaine dans le contexte de l'Afrique de l'Ouest. Source : AFP / John Wessel	11
<b>Figure 3</b>	Hélice du risque. Source : IPCC, 2014.	12
<b>Figure 4</b>	Illustration des services écosystémiques fournis par les mangroves. Image : Walz 2019, icônes : TEEB	17
<b>Figure 5</b>	Illustration des services écosystémiques fournis par les zones humides. Image : Janzen 2024 ; icônes : TEEB.	17
<b>Figure 6</b>	Illustration des zones de drainage et de rétention en fonction de l'inondation. Source : Propre illustration, basée sur Björnsen Beratende Ingenieure GmbH, 2022.	19
<b>Figure 7</b>	Implication des parties prenantes dans la sélection et la localisation des mesures Eco-DDR. Photo : Walz 2024.	22
<b>Figure 8</b>	Compromis à prendre en compte dans la localisation stratégique de l'Eco-DDR.	23
<b>Figure 9</b>	Illustration de l'évolution du risque au niveau des trois composantes à la suite de la mise en œuvre de l'Eco-DDR. D'après Janzen et al, 2024	27
<b>Figure 10</b>	Diagramme conceptuel permettant d'évaluer le potentiel d'Eco-DDR en termes de réduction d'aléa, en comparant l'étendue de l'inondation sans Eco-DDR (a) à l'étendue de l'inondation après Eco-DDR (b). La figure c montre la comparaison et la réduction de l'aléa obtenue grâce à la mesure Eco-DDR. Source : propre.	28
<b>Figure 11</b>	Diagramme conceptuel illustrant le changement dans l'exposition aux inondations suite à la mise en œuvre d'Eco-DDR. Le diagramme montre a) l'aléa en cas de statu quo, b) l'aléa avec Eco-DDR, c) l'exposition aux inondations en cas de statu quo, d) l'exposition aux inondations avec Eco-DDR, et e) le changement de l'exposition aux inondations en conséquence. Source : propre.	29
<b>Figure 12</b>	Illustration du changement de présence de services écosystémiques (selon la classification TEEB) suite au passage des terres cultivées (à gauche) à l'agroforesterie (à droite). D'après Janzen et al, 2024.	30
<b>Figure 13</b>	Exemple de comparaison des résultats d'une évaluation des risques dans KalypsoIndicatorRisk avec le risque d'inondation statu quo (à gauche) et le risque d'inondation avec Eco-DDR (à droite) et les zones où le risque d'inondation a été réduit entourées en vert. Adapté de Schudel et al, 2022.	31
<b>Figure 14</b>	Carte du Bassin de l'Ouémé au Bénin. Source : Janzen et al : Janzen et al, 2024	33
<b>Figure 15</b>	Exemple de questions de l'enquête auprès des experts pour la sélection de mesures d'Eco-DDR dans le bassin de l'Ouémé.	33
<b>Figure 16</b>	Illustration des aspects considérés dans le choix de l'endroit de l'agroforesterie (à gauche) et de la commune identifiée comme stratégique pour la mise en œuvre de l'agroforesterie (à droite). Les points chauds du risque, les terres agricoles, les fonctions de rétention et les vulnérabilités existantes (au milieu) ont permis de choisir la commune de Tchaourou pour la mise en œuvre de l'Eco-DDR.	34
<b>Figure 17</b>	Hydrogramme comparant l'aléa dans la commune de Bonou en cas de statu quo (ligne noire) et d'échantillons aléatoires (lignes grises) d'agroforesterie avec leur médiane (ligne rouge). Source : Janzen et al. à paraître.	35
<b>Figure 18</b>	Illustration de changement de l'exposition aux inondations grâce à l'agroforesterie, avec un zoom sur la partie sud du bassin de l'Ouémé, mettant en évidence les zones qui ne sont plus exposées aux inondations en vert par rapport au scénario de statu quo.	36
<b>Figure 19</b>	Comparaison de la vulnérabilité écologique dans le bassin de l'Ouémé : statu quo (à gauche) et mise en œuvre de l'agroforesterie dans la commune de Tchaourou (à droite) montrant une diminution de la vulnérabilité à Tchaourou.	37
<b>Figure 20</b>	Changement au risque d'inondation suite à la mise en œuvre de l'agroforesterie, illustrant l'évaluation du risque "statu quo" (à gauche) et l'évaluation du risque dans le cadre de l'agroforesterie (à droite).	38

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b>	Changement quantitatif de l'exposition aux aléas dans le cadre de l'agroforesterie dans les communes de Ouinhi, Bonou et Zagnanado.	36
<b>Tableau 2</b>	Résumé des mesures Eco-DDR existantes et planifiées en Afrique de l'Ouest, telles qu'identifiées à travers une revue de la littérature et un examen ciblé des projets et des politiques.	42

# 1. Introduction

Les inondations ont augmenté en Afrique de l'Ouest ces dernières années (Nka et al., 2015). La gestion du risque d'inondation, exacerbé par le changement climatique, est de première importance. Les mesures de réduction des risques de catastrophes basées sur les écosystèmes (Eco-DRR) sont des solutions de plus en plus reconnues (Nehren et al., 2019). Alors, la planification stratégique et l'évaluation complète de l'efficacité des Eco-DRR sont essentielles pour une utilisation efficace. Ce manuel fournit des étapes pratiques pour la planification et l'évaluation de l'Eco-DRR en Afrique de l'Ouest. En soutenant le placement

stratégique et l'évaluation de ces mesures, cette publication guide la réussite de la mise en œuvre de l'Eco-DRR, augmentant ainsi la résilience des communautés ouest-africaines.

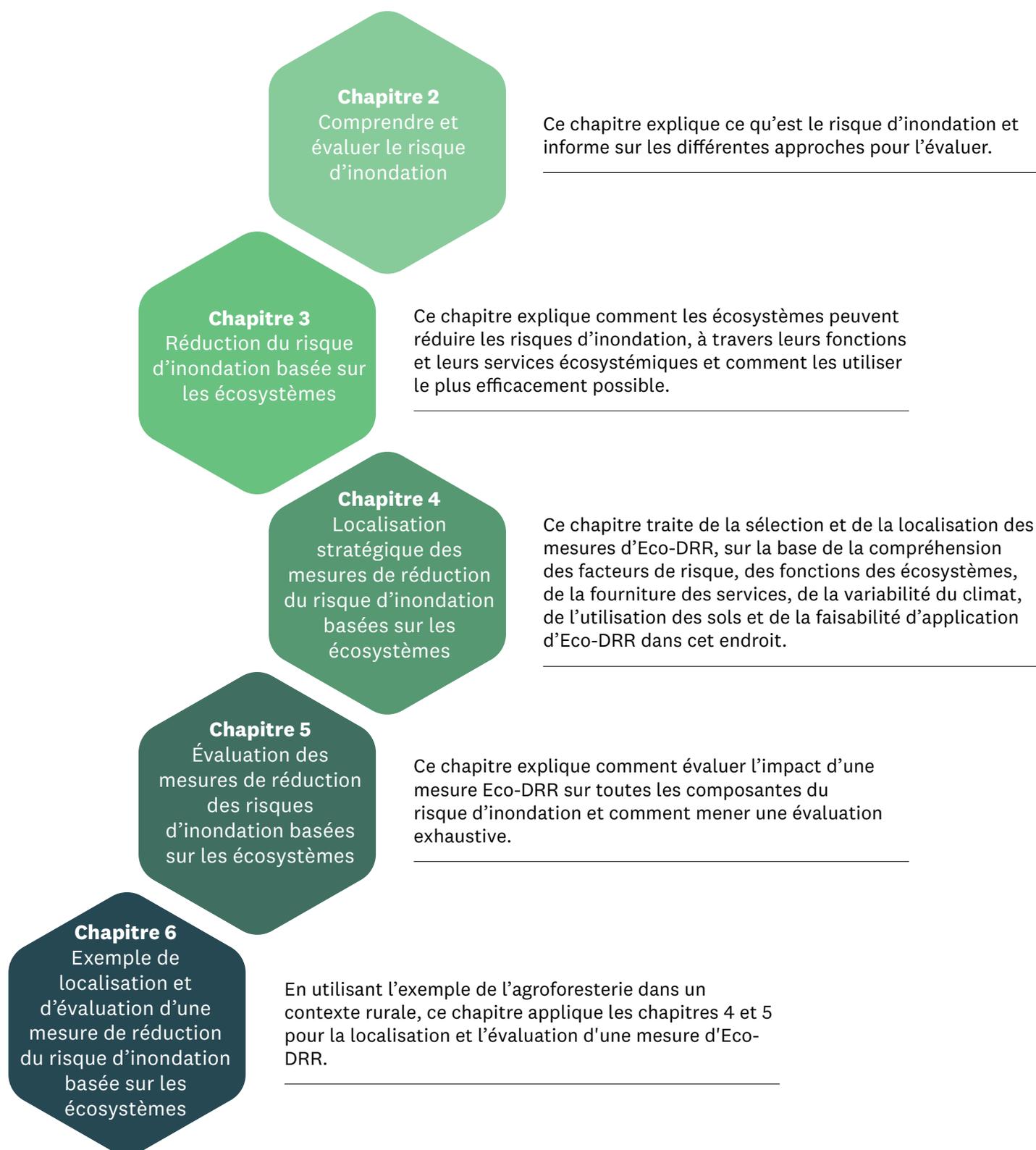
Destiné principalement aux équipes locales, régionales et nationales qui s'occupent de réduction des risques de catastrophes, ainsi qu'aux planificateurs, aux ONG et aux autres parties prenantes impliquées dans la gestion des risques d'inondation en Afrique de l'Ouest. Ce guide pratique offre des directives simples pour la mise en œuvre de mesures efficaces de réduction des risques de catastrophes.

Les impacts des inondations du fleuve Mono entre le Togo et le Bénin sont ressentis par les communautés vivant au long du fleuve dans les deux pays

© Arianna Flores Corral / UNU-EHS



Ce manuel est organisé comme suit :



## Conclusion et recommandations

Sommaire du manuel avec les messages clés et des conseils pratiques pour la planification et l'évaluation des mesures d'Eco-DRR en vue de la réduction des risques de catastrophes.

**Annexe :** Catalogue des mesures Eco-DRR efficaces pour la réduction des risques d'inondation en Afrique de l'Ouest.

# 2. Comprendre et évaluer le risque d'inondation

Ce chapitre est divisé en deux sous-chapitres. **2.1.** définit les trois composantes du risque d'inondation - à savoir : l'aléa, l'exposition et la vulnérabilité - et illustre ce qu'elles signifient pour l'évaluation des risques d'inondation. **2.2.** résume les approches pertinentes pour évaluer les composantes du risque d'inondation et oriente vers des outils et des sources de données pour l'évaluation du risque d'inondation.

## 2.1. Principales composantes du risque d'inondation

Voici deux images d'Afrique de l'Ouest - l'une rurale (figure 1) et l'autre urbaine (figure 2) - qui pourraient représenter votre zone d'étude, afin de comprendre les composantes du risque d'inondation.

La zone submergée est une observation de **l'aléa d'inondation**<sup>1</sup>. Sur les deux images, l'aléa est **caractérisé par l'étendue (zone inondée), la durée et la profondeur de l'eau**. L'aléa peut résulter directement de fortes pluies (inondation pluviale), du débordement du lit d'une rivière (inondation fluviale) ou des deux phénomènes.

**L'exposition**<sup>2</sup> **aux inondations** décrit tous les éléments d'intérêt d'un système socio-écologique dans la zone inondée. Elle varie d'un endroit à l'autre et se présente de manière très différente dans les exemples ruraux et urbains ci-dessus. Pour comprendre et évaluer l'exposition, demandez-vous: **Qui est exposé et quels sont les principaux biens exposés qui pourraient être affectés par l'eau** dans votre environnement ? Quels sont les éléments à prendre en compte pour comprendre l'exposition ? S'agit-il des cultures, comme dans l'exemple du milieu rural, ou plutôt des infrastructures essentielles, telles que les routes ou le réseau électrique dans le contexte urbain ?

1 Le GIEC (2023) définit l'aléa comme suit : Occurrence potentielle d'un événement physique ou d'une tendance, d'origine naturelle ou humaine, susceptible d'entraîner des pertes en vies humaines, des blessures ou d'autres effets sur la santé, ainsi que des dommages et des pertes touchant les biens, les infrastructures, les moyens de subsistance, la fourniture de services, les écosystèmes et les ressources environnementales

2 Le GIEC (2023) définit l'exposition comme suit : Présence de personnes, de moyens de subsistance, d'espèces ou d'écosystèmes, de ressources et de services environnementaux, d'éléments d'infrastructure ou de biens économiques, sociaux ou culturels dans un lieu susceptible de subir des dommages. .



**Figure 1** - Inondation en milieu rural dans le contexte de l'Afrique de l'Ouest. Source : [PAM](#)



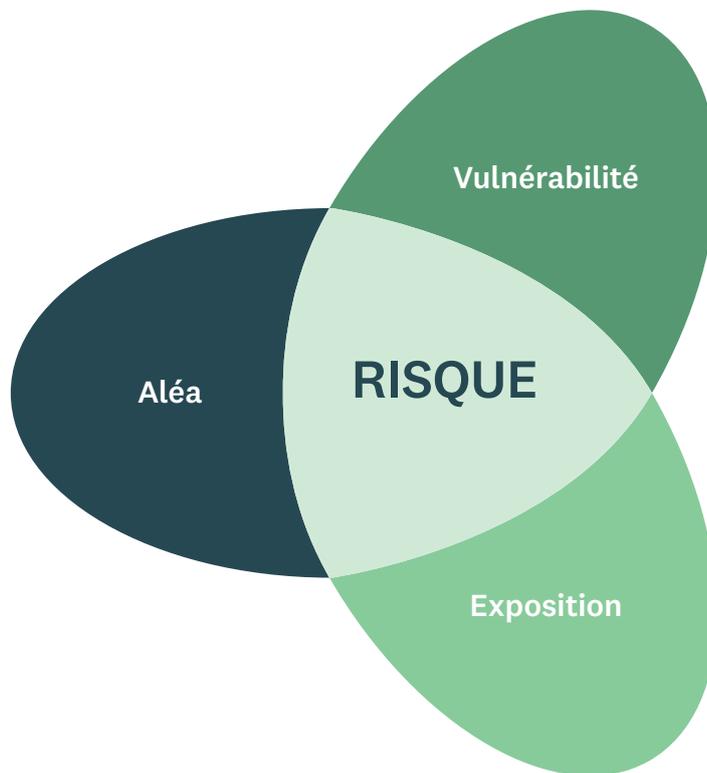
**Figure 2** - Inondation urbaine dans le contexte de l'Afrique de l'Ouest. Source: AFP / John Wessel

Enfin, il reste à comprendre la **vulnérabilité**<sup>3</sup> à l'inondation: **dans quelle mesure ces éléments exposés sont-ils susceptibles d'être affectés par l'inondation ?** Examinez et décidez si vos biens sont sensibles aux inondations ou non.

Par exemple, si une terre agricole était inondée, les cultures sensibles aux inondations telles que les arachides ou le maïs seraient endommagées par les inondations, tandis que le riz peut mieux résister aux inondations et subirait moins de dégâts. Le riz est donc moins vulnérable. En milieu urbain, les matériaux de construction définissent la vulnérabilité (physique) d'une maison : une maison en briques résiste mieux

à une inondation qu'une maison faite en terre battue. Les personnes peuvent également être plus ou moins touchées par les inondations en fonction de leur vulnérabilité. Par exemple, les conditions économiques peuvent entraver ou permettre aux gens de se remettre des conséquences des inondations subies. Les conditions physiques peuvent entraver ou faciliter leur évacuation lors d'une inondation et leur capacité d'adaptation.

Pris ensemble, ces trois éléments forment le risque d'inondation, comme l'illustre la figure 3 ci-dessous.



**Figure 3** - Hélice du risque. Source : IPCC, 2014.

<sup>3</sup> Le GIEC (2023) définit la vulnérabilité comme suit : Propension ou prédisposition à subir des dommages. Cela englobe divers concepts, notamment les notions de sensibilité ou de fragilité et l'incapacité de faire face et de s'adapter.

## 2.2. L'évaluation du risque d'inondation

Ayant compris les composantes du risque d'inondation, évaluez-les individuellement pour ensuite les rassembler et calculer le risque d'inondation.

**Aléa**- L'objectif de l'évaluation de l'aléa est de disposer d'une carte contenant les informations suivantes sur l'inondation : **la zone** inondée, **la gravité** (profondeur, étendue, vitesse de l'écoulement) et **la durée** de l'inondation. Pour mesurer l'aléa de manière explicite sur le plan spatial, il convient d'utiliser l'une des approches suivantes, en fonction du temps et des ressources disponibles :

- La modélisation hydrologique et/ou hydrodynamique : simulez l'écoulement de l'eau et la propagation des crues sur la base des périodes de retour des crues

et des statistiques de précipitations extrêmes.

- Masques d'inondation des crues précédentes: utilisez des cartes d'inondations précédentes montrant l'étendue de l'eau et les zones touchées.
- Marques de l'eau: recherchez les signes physiques de niveaux d'eau maximums dans votre zone d'évaluation afin de comprendre les zones précédemment touchées par des inondations et la gravité de celles-ci.
- Évaluation des inondations ou carnets: informez-vous pour savoir si les inondations passées ont été documentées.

### Outils de modélisation des risques d'inondation

Les modèles hydrologiques, tels que Soil & Water Assessment Tool ([SWAT](#)), et les modèles hydrodynamiques, tels que [HEC-RAS](#), peuvent servir d'outils pour la visualisation spatiale des zones inondables. L'idéal est d'utiliser une combinaison des deux (introduire les débits du modèle hydrologique dans le modèle hydrodynamique) afin de compenser la simplification excessive et la puissance de calcul élevée.

Pour valider les modèles, il faut prendre en compte les informations relatives à la genèse temporelle de l'inondation et à l'étendue de l'aléa, comme suit :

**Pour l'évaluation temporelle :** mesurez le débit des cours d'eau ou des nappes phréatiques à partir des stations de jaugeage. Si aucune donnée sur les débits n'est disponible, concevez l'aléa en fonction des niveaux de retour des précipitations.

**Pour la référence spatiale :** comparez les masques d'inondation basés sur des satellites (par exemple, de la mission [SENTINEL](#)) aux étendues d'inondation simulées. L'utilisation des données des stations de jaugeage et des masques d'inondation spatiaux permet d'accroître la fiabilité du calcul de l'aléa.

**Exposition aux inondations** - Après avoir identifié les éléments d'intérêt qui peuvent être à risque, tels que les personnes, les hôpitaux, les routes, etc., cartographiez les afin d'évaluer où ces biens se chevauchent avec l'aléa. Ce n'est que lorsqu'il y a chevauchement que les biens clés sont exposés et l'ampleur de l'exposition peut être quantifiée. Plus les biens sous l'eau sont nombreux et importants, plus l'exposition des biens qui pourraient subir des dommages est grande.

Les méthodes d'évaluation de l'exposition sont les suivantes :

- Évaluation basée sur des indicateurs: quantifiez les biens exposés au sein des unités administratives concernées à l'aide d'indicateurs.
- Images satellites: regardez quels biens ont été touchés lors d'une inondation précédente .
- Fonctions d'endommagement: quantifiez les dommages monétaires pour identifier les actifs exposés.
- Visite sur le terrain: inspectez de premières mains les biens touchés par les inondations.

- Données locales, régionales ou nationales: rassemblez des informations sur les biens affectés par les inondations antérieures, par exemple à partir des [évaluations rapides des dommages et besoins après une catastrophe](#).

**Vulnérabilité aux inondations** - Après avoir compris quelles sont les caractéristiques qui jouent un rôle en termes de vulnérabilité de votre système, quantifiez ces caractéristiques pour les évaluer. Utilisez une approche basée sur les indicateurs pour l'évaluation de la vulnérabilité, en transformant les facteurs de vulnérabilité, comme la "pauvreté", en indicateurs, par exemple, "partie de la population en dessous du seuil de pauvreté national [%]". Veillez à comprendre la relation entre chaque indicateur et la vulnérabilité, qui ne va pas toujours dans la même direction. Par exemple, plus la part de la population en dessous du seuil de pauvreté national est élevée, plus le niveau de vulnérabilité est élevé, alors que plus la partie des zones protégées est élevée, plus la vulnérabilité de l'écosystème est basse. Pour la méthodologie, voir le [Handbook for Practitioners on Risk Assessment in West Africa](#) et le [Climate Risk Sourcebook](#).

## Sources de données pour l'évaluation de l'exposition et de la vulnérabilité

### Données sur la localisation des biens pour l'évaluation de l'exposition

En outre de consulter les registres et plans locaux, régionaux et nationaux pertinents pour le secteur, consultez les plateformes de données suivantes :

- [OpenStreetMap](#) - une carte du monde avec une licence de contenu libre.
- [Humdata](#) - données humanitaires fournies par le Bureau de la coordination des affaires humanitaires des Nations unies.
- [Worldpop](#) - données démographiques spatiales pour la santé et le développement.

### Données permettant de caractériser la susceptibilité ou les capacités d'adaptation

En plus de consulter le recensement ou des documents locaux/régionaux/nationaux similaires, et de contacter les institutions locales/régionales/nationales compétentes pour obtenir des données, consultez les plateformes et les ensembles de données internationaux suivants :

- [Humdata](#) - données humanitaires.
- [Programme DHS de l'USAID](#) - enquête démographique et sanitaire.
- [Afripop](#) - répartition de la population en Afrique.

**Risque d'inondation** – La combinaison des trois composantes - l'aléa, l'exposition et la vulnérabilité - permet de définir le risque global d'inondation. Cette agrégation donne une vue d'ensemble des points chauds du risque d'inondation, où des interventions sont nécessaires. Cependant, cette agrégation ne permet pas de comprendre les facteurs sous-

jacents du risque, ce qui signifie qu'il est également nécessaire de disposer de produits d'information au niveau des composantes du risque. L'évaluation des risques est généralement basée sur des indicateurs. Consultez les guides pratiques et ressources disponibles pour une analyse détaillée (voir les ressources supplémentaires ci-dessous).

## Ressources et outils pour l'évaluation des risques :

- L'évaluation des risques en Afrique de l'Ouest : Un manuel pour les praticiens ([Partie 1](#) et [Partie 2](#))
- [Climate Risk Sourcebook](#) - lignes directrices sur l'évaluation globale des risques climatiques
- [L'indice de risque INFORM](#) - un outil d'évaluation des risques de catastrophes basé sur des indicateurs mondiaux
- [KalypsoIndicatorRisk](#) : un logiciel en libre accès qui facilite le calcul de l'évaluation des risques et permet une comparaison rapide des scénarios. Veuillez consulter (CLIMAFRI 2022) pour le guide de l'utilisateur et le matériel de formation en auto-apprentissage.

Les impacts des inondations du fleuve Mono entre le Togo et le Bénin sont ressentis par les communautés vivant au long du fleuve dans les deux pays.

© Arianna Flores Corral / UNU-EHS



# 3. Réduction du risque d'inondation basée sur les écosystèmes

À la fin de ce chapitre, vous saurez :

- Comment les écosystèmes peuvent réduire les risques d'inondation en apportant des avantages à toutes les composantes du risque.
- Comment différencier le potentiel de rétention et de drainage des écosystèmes et où exploiter ces fonctions pour contribuer à réduire l'aléa plus efficacement.

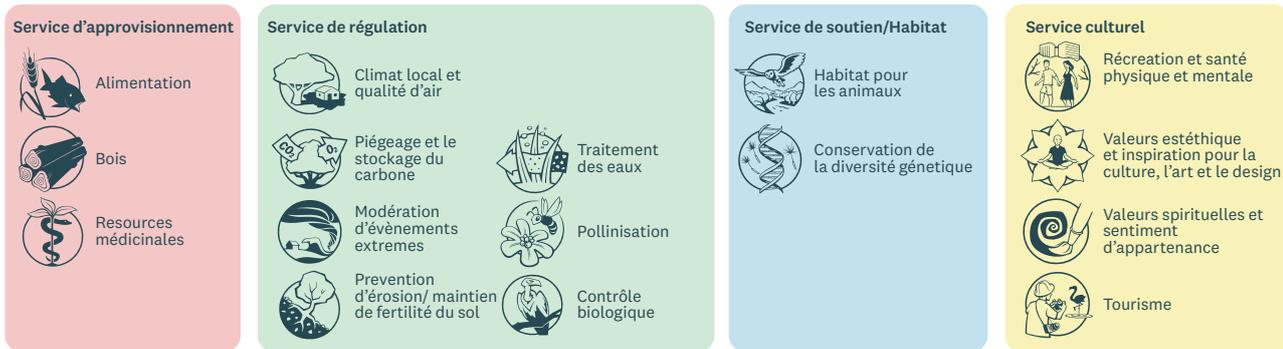
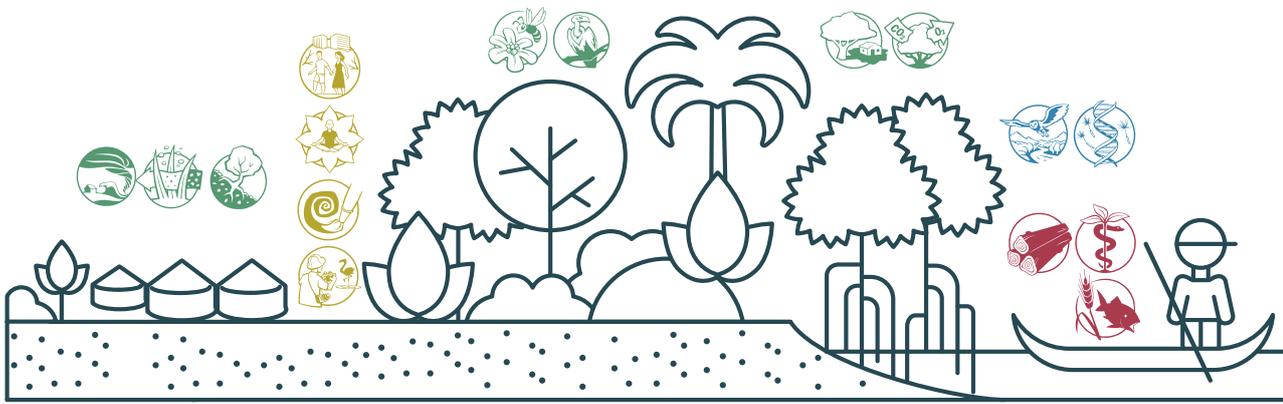
Les écosystèmes tels que les mangroves ou les zones humides peuvent servir pour réguler les inondations (Nehren et al. 2023). Ils fournissent des services qui peuvent réduire toutes les composantes du risque (Sudmeier-Rieux et al. 2021 ; Ruangpan et al. 2020). L'approche consistant à utiliser les écosystèmes dans le cadre d'une stratégie globale de réduction des risques de catastrophe est connue sous le nom de réduction des risques de catastrophe basée sur les écosystèmes (Eco-DRR) (voir Estrella & Saalimaa, 2013). Elle s'appuie sur l'utilisation de ce que l'on appelle les "services écosystémiques", qui peuvent être catégorisés comme suit : les services d'approvisionnement, par exemple en nourriture, en bois ou en eau ; les services de régulation, par exemple la modération des événements extrêmes ; les services d'habitat, par exemple habitat pour les espèces ; et les services culturels, tels que les loisirs (TEEB, 2013). Les figures 4 et 5 ci-dessous illustrent les services écosystémiques fournis par les mangroves et les zones humides pour la réduction des risques.

Si l'Eco-DRR est principalement axée sur la prévention avant un événement désastreux, ces mesures peuvent également soutenir

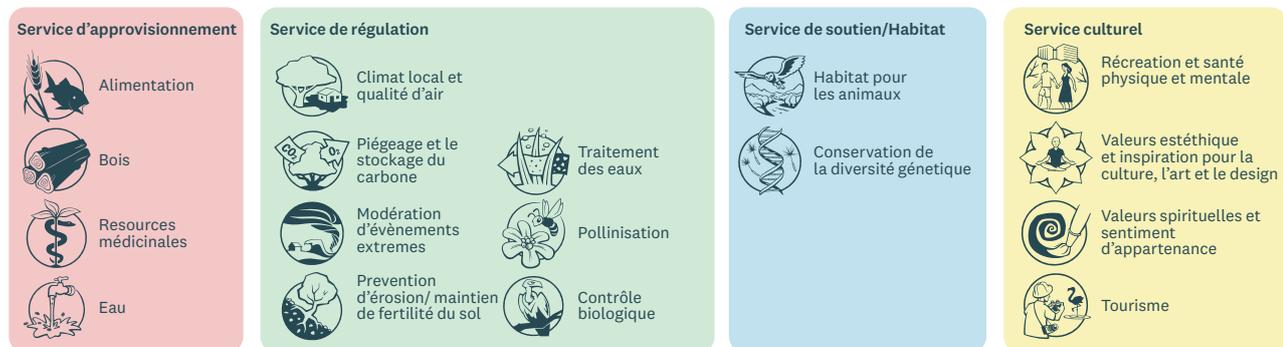
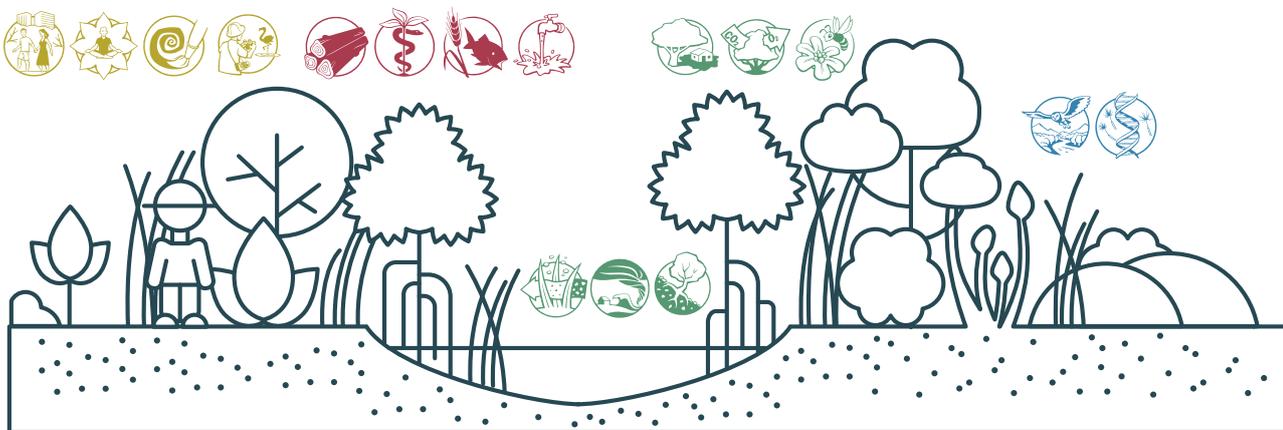
d'autres étapes du cycle de gestion des risques de catastrophes. Par exemple, la fourniture de bois peut soutenir la reconstruction après un événement. En outre, l'Eco-DRR offre une série d'avantages qui améliorent le bien-être de la société et font que les actions d'Eco-DRR contribuent à de multiples autres objectifs, tels que la sécurité alimentaire et la conservation de la biodiversité.

Consultez les documents suivants pour mieux comprendre les services écosystémiques :

- [Évaluation des écosystèmes pour le millénaire](#) (MEA) (2005)
- [L'économie des écosystèmes et de la biodiversité](#) (TEEB) (2013)
- [Le groupe intergouvernemental sur la biodiversité et les services écosystémiques](#) (IPBES) [Guide sur la conceptualisation des multiple valeurs de la nature et ses bénéfices](#) (2016)



**Figure 4** - Illustration des services écosystémiques fournis par les mangroves.  
Image: Walz 2019; icônes: TEEB



**Figure 5** - Illustration des services écosystémiques fournis par les zones humides.  
Image: Janzen 2024; icônes: TEEB.

Depuis nombreuses années, le lac Ahémé est un lieu de vie et une source de revenus pour les communautés.

© Arianna Flores Corral / UNU-EHS



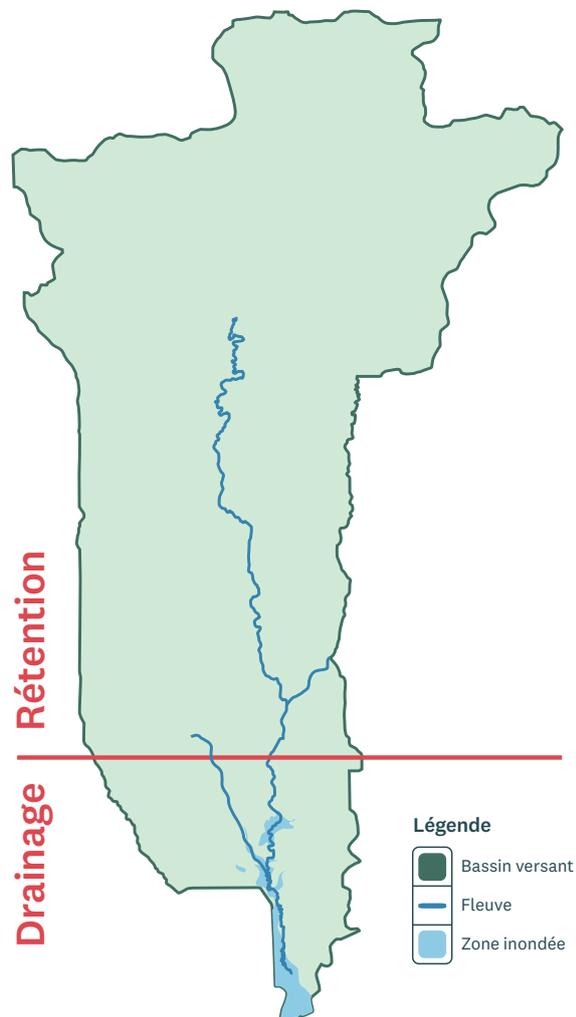
### 3.1. La régulation de l'aléa par les écosystèmes

Les écosystèmes peuvent réguler l'inondation en réduisant l'érosion et en retenant ou en drainant les eaux de crue. Les forêts, par exemple, contribuent à améliorer la structure et la stabilité des sols, en les maintenant en place et en renforçant leur résistance à l'érosion. En outre, elles peuvent contribuer à l'augmentation de rétention d'eau, en particulier dans les zones en amont où le volume d'eau est encore faible et où il est possible de stocker de l'eau, en augmentant l'infiltration de l'eau dans le sol. Cela permet de réduire le ruissellement et donc la quantité d'eau qui s'écoule dans la rivière et qui pourrait contribuer à une inondation. Dans les zones où le volume de ruissellement est trop important pour qu'une augmentation de la rétention soit efficace, les eaux de crue doivent être drainées vers des écosystèmes capables de stocker l'eau. Les écosystèmes peuvent servir de zones de débordement, recueillant les eaux pluviales excédentaires, empêchant ainsi l'inondation d'autres zones d'intérêt.

C'est pourquoi, par exemple, le reboisement en tant que mesure Eco-DRR est plus efficace dans les bassins versants supérieurs, tandis que les zones humides sont mieux utilisées dans les bassins versants inférieurs sujets aux inondations, si l'espace le permet, et le long de la rivière.

Pour sélectionner la bonne mesure d'Eco-DRR, il faut se demander si le bassin versant bénéficie davantage d'un drainage ou d'une rétention (ou des deux) et à quel endroit du bassin versant la mesure Eco-DRR doit être appliquée (voir la figure 6 pour l'illustration des mesures de rétention ou drainage dans un bassin versant).

Souvent, une combinaison de mesures de drainage et de rétention est bénéfique. La combinaison de la rétention en amont avec des stratégies de drainage en aval peut encore améliorer le potentiel de réduction des risques de l'Eco-DRR.



**Figure 6** - Illustration des zones de drainage et de rétention en fonction de l'inondation. Source : Propre illustration, basée sur Bjørnsen Beratende Ingenieure GmbH, 2022.

Pour une compilation des mesures Eco-DRR en fonction de leur emplacement dans le bassin versant, voyez le [WWF Flood Green Guide \(2016\)](#) et l'annexe pour des exemples de mesures Eco-DRR en Afrique de l'Ouest.

Une mesure Eco-DRR peut en outre avoir une fonction de barrière et réduire l'exposition. Par exemple, la création de zones tampons riveraines réduit l'exposition. Cependant, comme la réduction des inondations est généralement axée dans le contexte des inondations fluviales,

ce manuel se concentre sur les mesures de réduction de l'aléa.

Après avoir compris les différentes fonctions et services fournis par la nature, prenez des écosystèmes pertinents dans votre contexte et considérez :

- **Comment l'écosystème affecte-t-il les processus hydrologiques ?**  
Retient-il l'eau de pluie, par exemple en l'interceptant ; augmente-t-il la porosité du sol et la capacité de stockage de l'eau dans le sol, permettant ainsi à une plus grande quantité d'eau de s'infiltrer ? Sert-il à drainer, modifiant la trajectoire des eaux de crue ?
- **Qu'est-ce que les gens extraient de l'écosystème ?** Est-ce une source de nourriture ? Est-ce une source d'inspiration ?
- **Comment les gens utilisent-ils l'écosystème ?** Pour leurs moyens de subsistance, pour les loisirs, pour les activités spirituelles ou pour se détendre ?

Dans une dernière étape, indiquez **où** ces services sont obtenus. Pour la méthodologie, voir :

- [Burkhard et Maes, 2017](#) pour la cartographie des services écosystémiques
- [Brown et Fagerholm, 2015](#) pour la cartographie participative des services écosystémiques
- [Campagne et Roche, 2018](#) pour relier l'occupation des sols aux services écosystémiques.

Il est important de noter que les avantages des mesures Eco-DRR ne sont pas immédiats. Il existe un décalage entre la mise en œuvre de la mesure et ses impacts sur le risque (Purwanto et al., 2024). En outre, les mesures peuvent entraîner ce que l'on appelle des "disservices", c'est-à-dire que l'Eco-DRR fournit des services non désirés (Friess et al., 2020). Par exemple, l'agroforesterie peut entraîner une augmentation de l'ombre et de la présence d'insectes, ce qui peut affecter le rendement des cultures (Kloos et Renaud, 2016).

Les fortes pluies au Togo et au Bénin ont fait déborder le fleuve Mono en 2019, impactant des milliers de personnes au long du fleuve.

© Arianna Flores Corral / UNU-EHS



# 4. Localisation stratégique des mesures de réduction du risque d'inondation basées sur les écosystèmes

Dans ce chapitre, vous apprendrez

- Comment sélectionner et localiser stratégiquement une mesure Eco-DRR

## 4.1. Sélection des mesures Eco-DRR

Pour déployer efficacement des mesures d'Eco-DRR, il est essentiel de comprendre le contexte local et les options disponibles. Pour cela, on peut s'appuyer sur la littérature et les enquêtes, mais aussi sur des tables rondes avec les parties prenantes concernées. Impliquer les communautés locales et les parties

prenantes pour intégrer leurs connaissances et vous assurer que la ou les mesures Eco-DRR sélectionnées répondent à leurs besoins. Cela permet également de susciter l'adhésion et l'appropriation des mesures Eco-DRR par les personnes qui vivront avec ces mesures et qui les entretiendront.

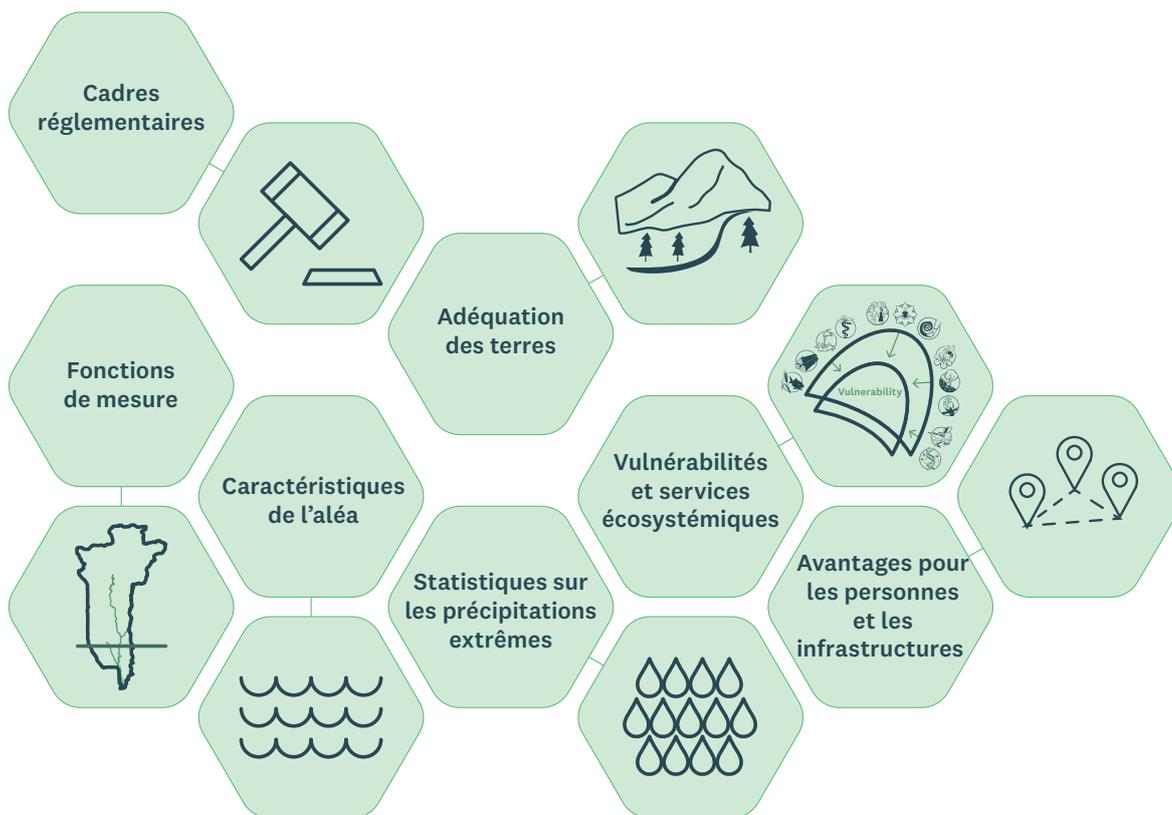


**Figure 7** - Implication des parties prenantes dans la sélection et la localisation des mesures Eco-DRR.  
Photo : Walz 2024.

## 4.2. Choix et priorisation du site pour la mise en œuvre des mesures Eco-DRR

Le choix de l'endroit approprié pour les mesures d'Eco-DRR implique de différents facteurs (voir la figure 8 ci-dessous) et nécessite souvent de trouver un compromis entre eux. Définissez les endroits potentiels pour la mesure choisie, tout en tenant compte des cadres réglementaires et de l'adéquation du terrain. Identifiez le

meilleur endroit parmi les endroits potentiels, en tenant compte d'un certain nombre d'aspects supplémentaires expliqués ci-après. Si l'emplacement est déjà connu, les étapes peuvent être suivies dans l'ordre inverse afin d'identifier quelles mesures sont plus pertinentes à l'endroit choisi.



**Figure 8** - Compromis à prendre en compte dans la localisation stratégique de l'Eco-DRR.

### Cadres réglementaires

La planification et la réglementation de l'utilisation des sols limitent la manière dont les terres peuvent être utilisées. De même qu'il peut y avoir des cadres qui entravent le développement d'une certaine utilisation des sols, il peut y avoir des incitations financières qui guident et encouragent d'autres formes d'utilisation des sols. Il est donc important de connaître les plans d'occupation des sols au niveau local et des cadres réglementaires locaux afin de travailler en accord avec le régime foncier.

### Adéquation du terrain

Les mesures Eco-DRR peuvent être liées à différents environnements. Par conséquent, des facteurs tels que la topographie, le type de sol et l'espace doivent être pris en compte lors de la mise en œuvre de ces mesures. Par exemple, les zones humides peuvent prospérer dans des puits topographiques où l'eau s'accumule, tandis que les mesures qui envisagent d'accroître la résilience des systèmes alimentaires (par exemple, l'agroforesterie) devraient être associées à des terres agricoles.

## Fonctions de la mesure

Les fonctions de l'écosystème dans la gestion des risques d'inondation sont multiples - qu'il s'agisse du danger en drainant ou en retenant l'eau, de l'exposition en créant des zones de rétention ou des zones tampons, ou de la vulnérabilité en fournissant des services écosystémiques tels que de la nourriture ou de l'eau douce.

## Statistiques sur les précipitations extrêmes

Les données météorologiques et les modèles indiquant où et à quelle fréquence les précipitations extrêmes se produisent (ou pourraient se produire à l'avenir) peuvent éclairer sur l'endroit stratégique des mesures. Par exemple, si de fortes pluies touchent fréquemment le bassin versant inférieur, il peut être inefficace d'appliquer des mesures d'atténuation des inondations dans le bassin versant supérieur.

## Caractéristiques de l'aléa

Les inondations peuvent être pluviales (l'intensité des précipitations dépasse la capacité du sol à retenir l'eau) ou fluviales (les niveaux d'eau élevés dans les canaux fluviaux dépassent la hauteur des berges) avec des caractéristiques hydrodynamiques très différentes. Comprendre comment le risque d'inondation est généré

dans votre région vous permettra de savoir s'il faut prendre en compte l'ensemble du bassin versant dans le cas des inondations fluviales ou se concentrer sur les inondations pluviales, qui apparaissent généralement dans les zones où la combinaison de fortes précipitations et d'une topographie vallonnée conduit à l'accumulation des eaux pluviales dans des zones à faible pente.

## Vulnérabilités et services écosystémiques

Les mesures d'Eco-DRR peuvent réduire les vulnérabilités en apportant des avantages tels que la sécurité alimentaire, des sources de revenus alternatives et une amélioration du bien-être. Examinez les vulnérabilités et le potentiel de l'Eco-DRR à les réduire dans le choix de l'endroit stratégique.

## Avantages pour les personnes et les infrastructures

Les mesures d'Eco-DRR doivent atteindre les personnes ou les objets qu'elles visent à protéger. Les bénéfices doivent être accessibles aux personnes et suffisamment proches pour sauvegarder les infrastructures critiques. Des programmes tels que "paiement pour les services écosystémiques" (PSE) peuvent garantir que les bénéfices de l'Eco-DRR obtenus en aval sont également ressentis sur le site de mise en œuvre de l'Eco-DRR. L'accès aux bénéfices favorise l'adhésion locale.

### Ressources complémentaires :

- Banque mondiale 2017 [Mise en œuvre d'une protection contre les inondations fondée sur la nature](#)
- IUCN 2020 [Normes mondiales pour des solutions basées sur la nature](#)
- World Bank 2024 [Analyse des possibilités de solutions fondées sur la nature](#)

Les fortes pluies au Togo et au Bénin ont fait déborder le fleuve Mono en 2019, impactant des milliers de personnes au long du fleuve.

© Arianna Flores Corral / UNU-EHS



# 5. Évaluation des mesures de réduction du risque d'inondation basées sur les écosystèmes

Dans ce chapitre, vous découvrirez

- Une approche structurée pour évaluer de manière exhaustive les mesures Eco-DRR
- Différentes méthodes et outils à utiliser pour évaluer l'impact de l'Eco-DRR sur toutes les composantes du risque d'inondation

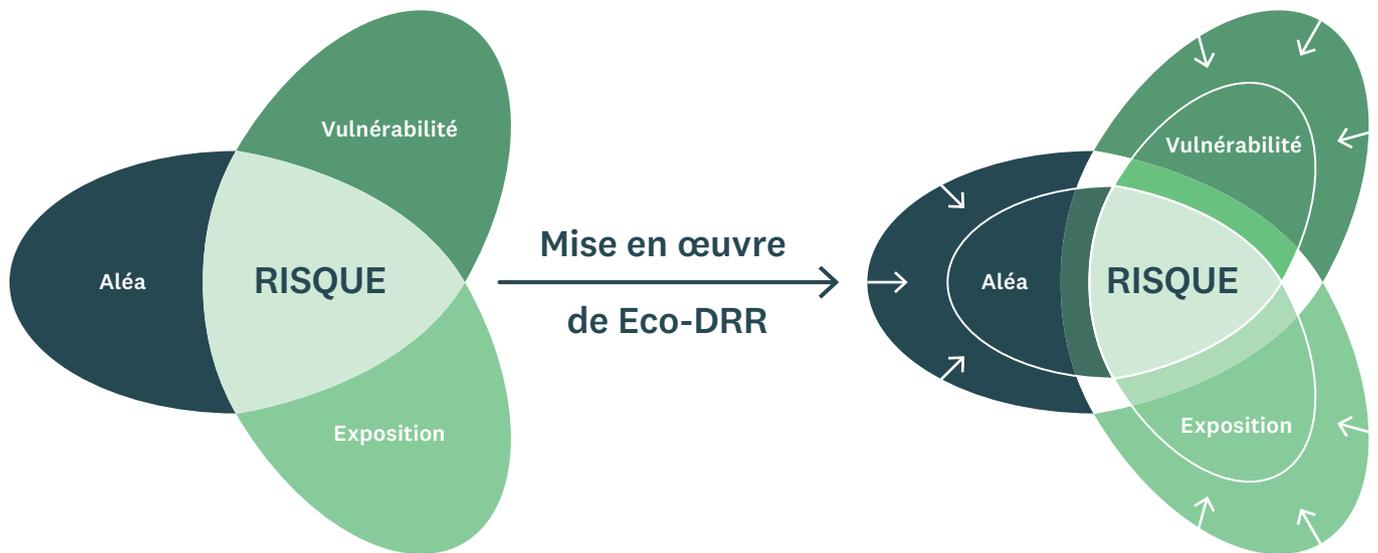
## 5.1. Évaluation de l'impact de l'Eco-DRR sur toutes les composantes du risque

Pour évaluer l'efficacité des mesures Eco-DRR dans la réduction des risques d'inondation, il est essentiel de comprendre leur impact sur les trois composantes du risque : l'aléa, l'exposition et la vulnérabilité, en gardant à l'esprit qu'il peut y avoir un décalage entre la mise en œuvre de l'Eco-DRR et ses effets sur le risque. Le processus consiste à comparer le risque d'inondation sans et avec les mesures Eco-DRR (voir figure 9).

Les sections suivantes examinent comment évaluer l'effet d'une mesure Eco-DRR sur les trois composantes du risque, sur l'aléa (5.1.1), l'exposition (5.1.2) et la vulnérabilité (5.1.3), pour ensuite arriver à l'évaluation de l'impact de l'Eco-DRR sur le risque (5.1.4).

### 5.1.1. Évaluation de l'impact de l'Eco-DRR sur l'aléa

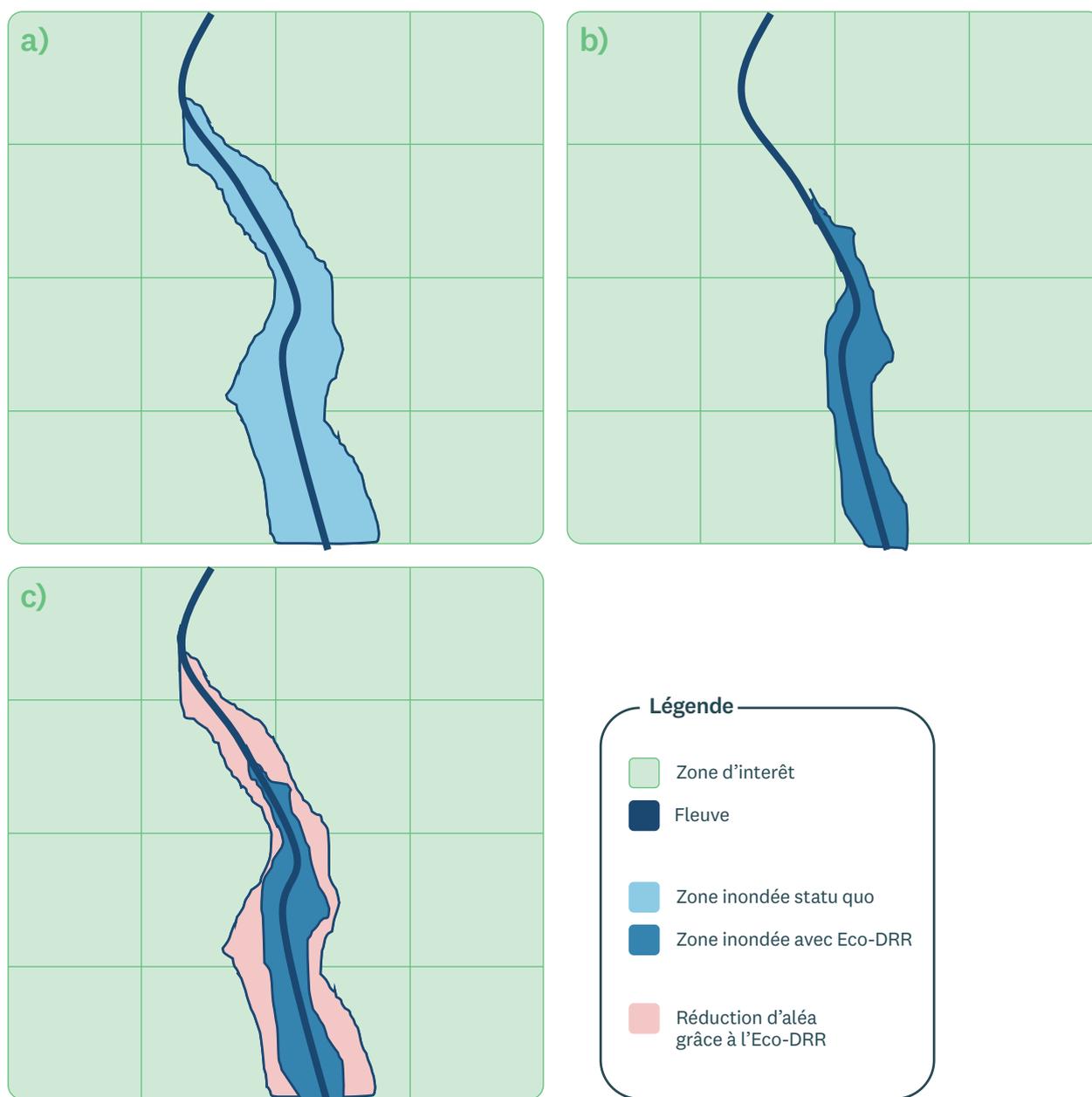
Les mesures Eco-DRR affectent les processus hydrologiques, réduisant généralement l'inondation. Pour évaluer cela, il faut comparer l'inondation "statu quo" à l'aléa avec Eco-DRR, comme illustré dans la figure 10. Les zones submergées en cas de statu quo, qui ne le sont plus après la mise en œuvre d'une mesure Eco-DRR (voir figure 10 c) en orange), représentent l'avantage de la mesure en termes de réduction d'aléa.



**Figure 9** - Illustration de l'évolution du risque au niveau des trois composantes à la suite de la mise en œuvre de l'Eco-DRR. D'après Janzen et al, 2024

Pour la comparaison de l'aléa avant et après :

- Utiliser la modélisation hydrologique en collaborant avec un hydrologue pour mesurer les changements. Pour l'approche méthodologique visant à saisir les changements dans les processus hydrologiques tels que le ruissellement de surface, l'infiltration, l'évapotranspiration et l'eau du sol à la suite de la mise en œuvre de l'Eco-DRR, voir Janzen et al. (2024) ;
- Mesurer l'étendue et la profondeur des inondations in situ, en comparant les niveaux d'inondation avant et après la mise en œuvre de l'Eco-DRR, soit par des mesures sur le terrain, soit à partir d'images satellites. Bien que l'attribution de la réduction de l'aléa à l'Eco-DRR puisse s'avérer difficile en raison de la multiplicité potentielle de facteurs qui contribuent à la réduction d'inondation, les mesures sur le terrain permettent d'estimer l'avantage de l'effet de l'Eco-DRR en termes de réduction d'aléa.

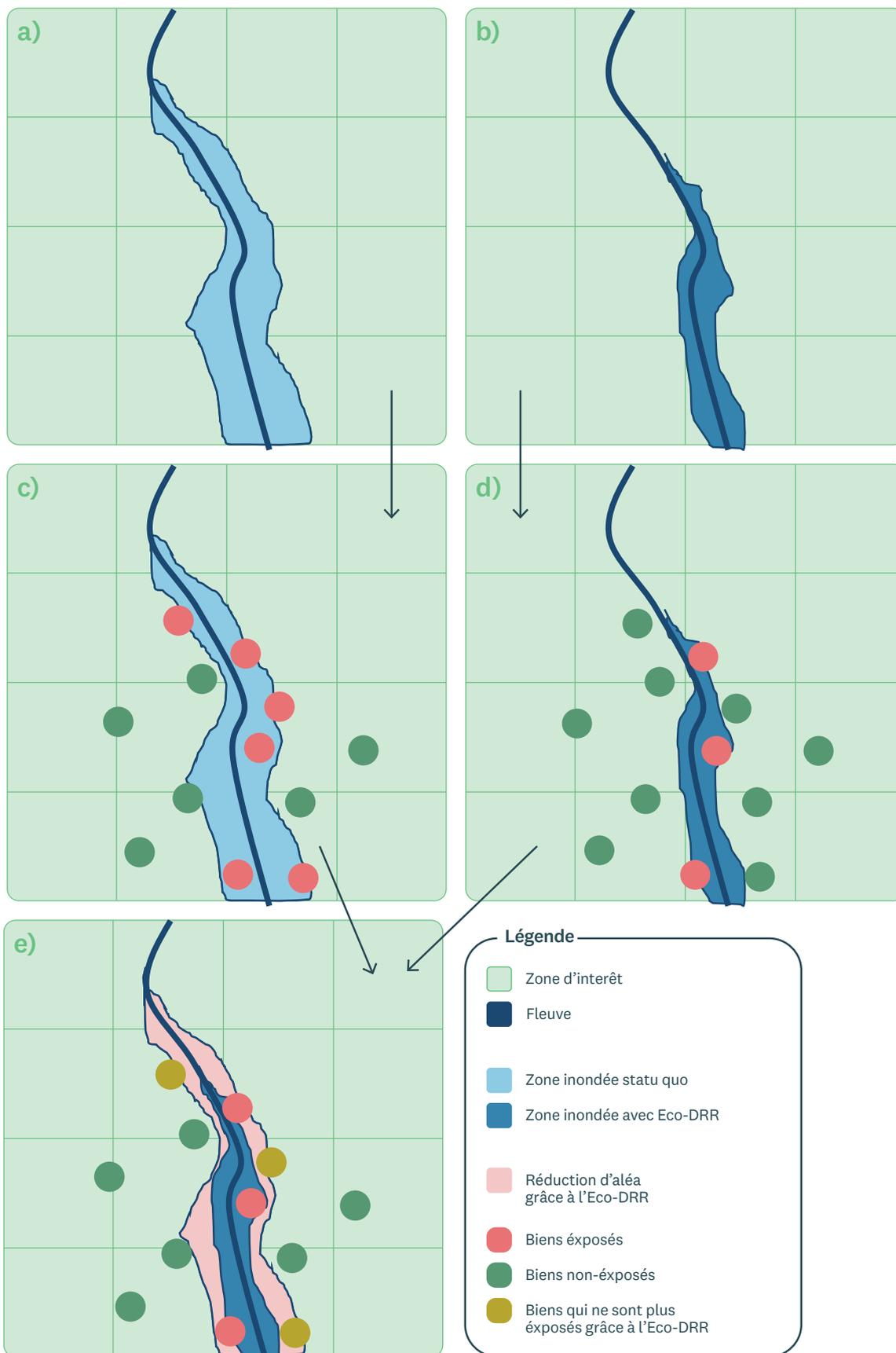


**Figure 10** - Diagramme conceptuel permettant d'évaluer le potentiel d'Eco-DRR en termes de réduction d'aléa, en comparant l'étendue de l'inondation sans Eco-DRR (a) à l'étendue de l'inondation après Eco-DRR (b). La figure c montre la comparaison et la réduction de l'aléa obtenue grâce à la mesure Eco-DRR. Source : propre.

### 5.1.2. Évaluation de l'impact de l'Eco-DRR sur l'exposition

Étant donné que l'exposition dépend de l'occurrence et de l'étendue de l'aléa, les mesures Eco-DRR influencent indirectement l'exposition en modifiant l'inondation, comme l'illustre la figure 11. Pour évaluer les

changements d'exposition grâce à l'Eco-DRR, utilisez les informations sur l'aléa (voir 5.1.1.) pour superposer les éléments exposés. Une autre solution consiste à visiter le champ inondé après la mise en œuvre de l'Eco-DRR (en tenant compte du potentiel décalage entre la mise en œuvre et les effets) et enregistrer les biens exposés par rapport aux conditions pré-Eco-DRR.



**Figure 11** - Diagramme conceptuel illustrant le changement dans l'exposition aux inondations suite à la mise en œuvre d'Eco-DRR. Le diagramme montre a) l'aléa en cas de statu quo, b) l'aléa avec Eco-DRR, c) l'exposition aux inondations en cas de statu quo, d) l'exposition aux inondations avec Eco-DRR, et e) le changement de l'exposition aux inondations en conséquence. Source : propre.

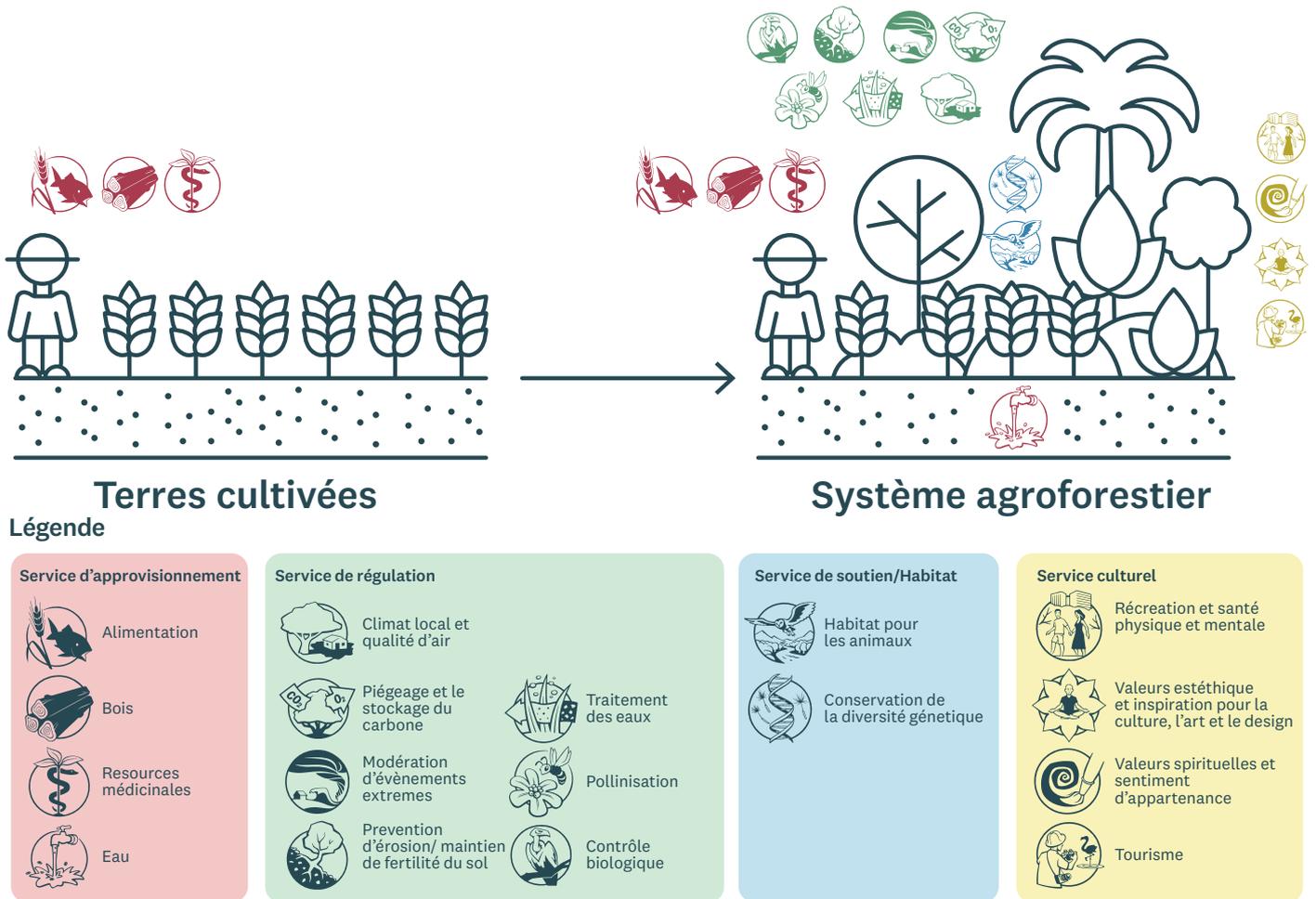
### 5.1.3. Évaluation de l'impact de l'Eco-DRR sur la vulnérabilité

Les mesures d'Eco-DRR fournissent des services écosystémiques qui réduisent la vulnérabilité des populations et des écosystèmes aux inondations, ce qui peut réduire leurs susceptibilités aux dommages et renforcer leurs capacités d'adaptation (Shah et al. 2020 ; Walz et al. 2021). L'illustration ci-dessous (Figure 12) montre le changement dans la fourniture de services obtenu en passant des terres cultivées aux systèmes agroforestiers.

Évaluer l'impact de l'Eco-DRR sur la vulnérabilité en comparant la fourniture de services

écosystémiques avant et après la mise en œuvre de l'Eco-DRR. Cela implique d'examiner la littérature et/ou de consulter des experts pour établir le lien entre la mesure Eco-DRR et les services écosystémiques. Intégrez les services écosystémiques dans l'analyse de vulnérabilité (voir 2.2 pour l'analyse de vulnérabilité et Janzen et al. (2024) pour la méthodologie de l'intégration des services dans l'analyse).

Après avoir évalué les impacts de la mesure Eco-DRR sur la vulnérabilité aux inondations, comparer les résultats avec la vulnérabilité avant la mise en œuvre de l'Eco-DRR, afin de comparer la vulnérabilité et d'évaluer l'efficacité de la mesure pour la réduction de la vulnérabilité.

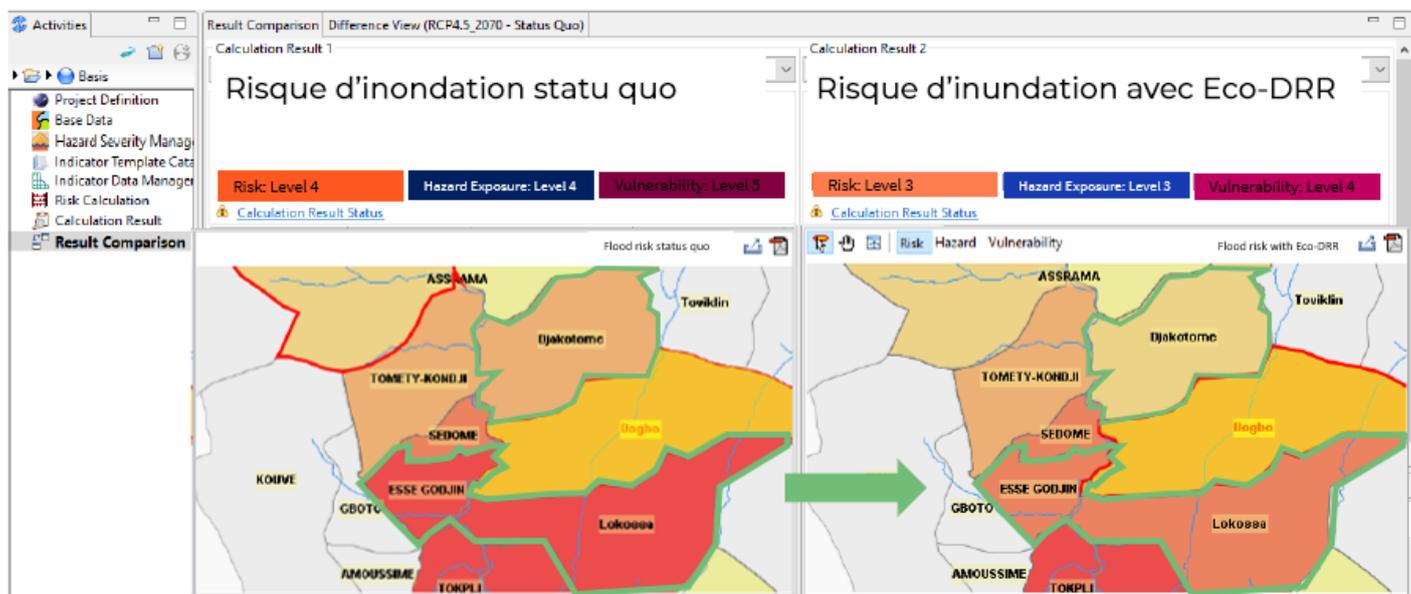


**Figure 12** - Illustration du changement de présence de services écosystémiques (selon la classification TEEB) suite au passage des terres cultivées (à gauche) à l'agroforesterie (à droite). D'après Janzen et al, 2024.

### 5.1.4. Évaluation de l'Eco-DRR pour la réduction des risques

Après avoir compris et évalué les effets de l'Eco-DRR sur l'aléa, l'exposition et la vulnérabilité, procédez à l'évaluation des risques d'inondation et comparez le "statu quo des risques d'inondation" au "risque d'inondation avec l'Eco-DRR". Des outils tels que KalypsoIndicatorRisk (Björnsen Beratende Ingenieure GmbH 2024)

peuvent faciliter la comparaison directe des risques, en générant une visualisation détaillée du risque d'inondation, comme l'illustre la figure 13. Le risque d'inondation statu quo (à gauche) peut facilement être comparé au risque d'inondation avec la mise en œuvre d'Eco-DRR (à droite) et montre les zones où le risque d'inondation a été réduit grâce à l'Eco-DRR (entourées en vert).



**Figure 13** - Exemple de comparaison des résultats d'une évaluation des risques dans KalypsoIndicatorRisk avec le risque d'inondation statu quo (à gauche) et le risque d'inondation avec Eco-DRR (à droite) et les zones où le risque d'inondation a été réduit entourées en vert. Adapté de Schudel et al, 2022.

#### Lecture complémentaire :

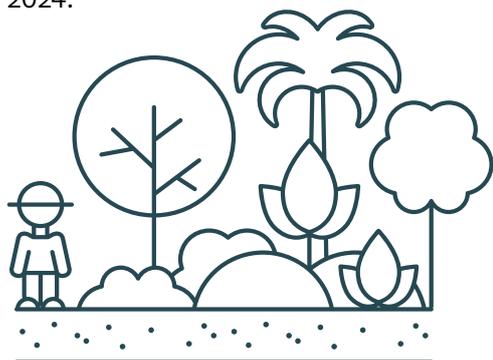
- Commission européenne 2021 [Évaluation des incidences des solutions fondées sur la nature](#)

# 6. Exemple d'application de l'Eco-DRR dans un contexte rural en Afrique de l'Ouest : Agroforesterie pour la réduction du risque d'inondation dans le bassin de l'Ouémé, Bénin

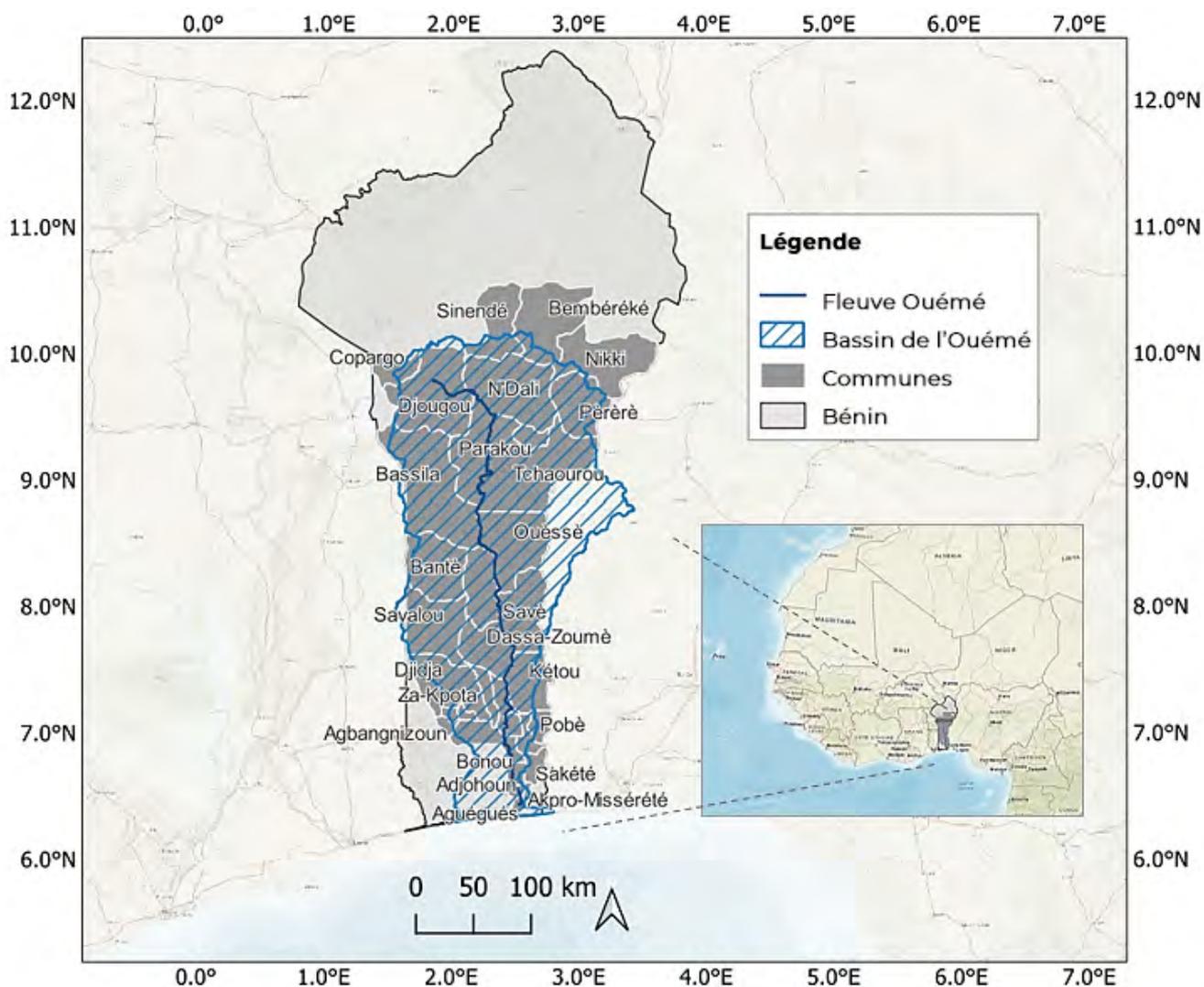
À la fin de ce chapitre, vous aurez vu:

- Le processus de sélection et placement stratégique d'une mesure Eco-DRR
- L'évaluation complète de l'agroforesterie dans le contexte du risque d'inondation dans le bassin de l'Ouémé au Bénin

L'exemple de la mise en œuvre et de l'évaluation de l'agroforesterie pour la réduction des risques d'inondation en milieu rural est donné dans le bassin de l'Ouémé, au Bénin (voir figure 14). Pour des informations détaillées sur l'évaluation du risque d'inondation statu quo, voir Balzer et al, 2024.



La littérature et les plans régionaux en matière d'Eco-DRR ont été examinés afin de mieux comprendre les options de mesures en Afrique de l'Ouest. Par la suite, les options des mesures d'Eco-DRR ont été priorisées à travers une enquête auprès d'experts (voir la figure 15 ci-dessous). Pour le contexte du Bénin, l'agroforesterie a été identifiée comme étant la solution la plus appropriée.



**Figure 14** - Carte du Bassin de l’Ouémé au Bénin. Source : Janzen et al : Janzen et al, 2024

**Question 2:** À quel point ces mesures sont-elles pertinentes pour réduire les risques d’inondation au Bénin / dans le bassin de l’Ouémé, selon vous ? Veuillez attribuer une note de 1 à 5 à chaque mesure, 1 étant non pertinent pour la réduction des risques d’inondation et 5 étant très pertinent.

	1 - Non pertinent	2 - Peu pertinent	3 - Pertinent	4 - Très pertinent	5 - Extrêmement pertinent
L'agroforesterie	<input type="checkbox"/>				
Revitalisation de la rivière	<input type="checkbox"/>				
Reboisement / protection des forêts / gestion durable des forêts	<input type="checkbox"/>				
Protection et reboisement des forêts galeries	<input type="checkbox"/>				
Reboisement de la mangrove	<input type="checkbox"/>				
Ceinture verte de rivière	<input type="checkbox"/>				
Restauration de paysages dégradés	<input type="checkbox"/>				
Conservation des écosystèmes fragiles	<input type="checkbox"/>				

**Figure 15** - Exemple de questions de l’enquête auprès des experts pour la sélection de mesures d’Eco-DRR dans le bassin de l’Ouémé.

## 6.1. Site de mise en œuvre de l'agroforesterie

L'agroforesterie a été appliquée dans le bassin supérieur, compte tenu de la fonction de rétention de la mesure, c'est-à-dire la capacité à retenir l'eau dans le sol, ce qui réduit ainsi le débit et le ruissellement de surface. En plus de la rétention, le choix stratégique du site a pris en compte les points chauds du risque, les vulnérabilités et l'utilisation actuelle des terres (figure 16). Le choix

de la commune de Tchaourou a été approuvé par les parties prenantes béninoises.

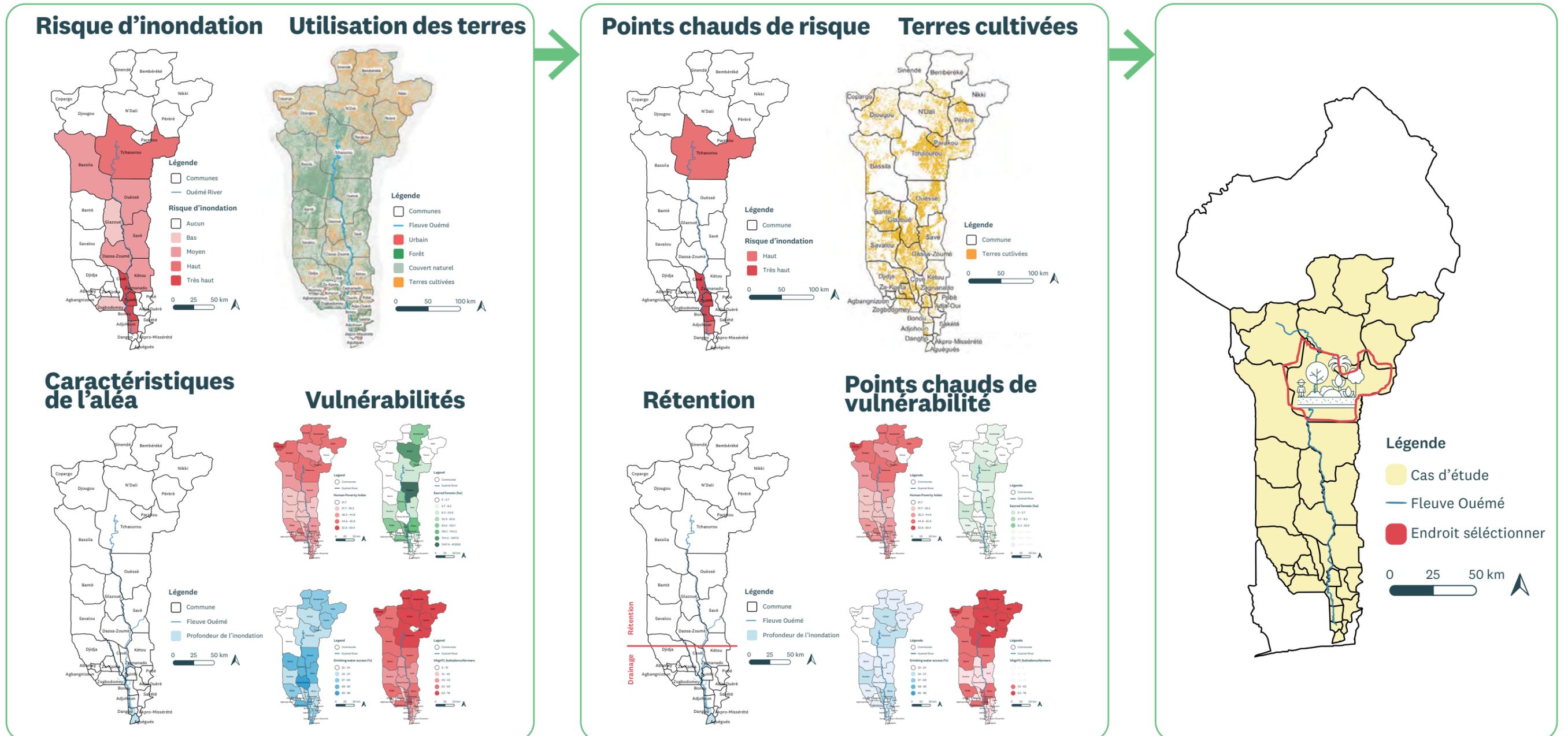
L'ensemble des terres cultivées de la commune de Tchaourou a été hypothétiquement converti pour incorporer des systèmes de plantation d'arbres afin d'améliorer la capacité du paysage à retenir les eaux de crue, tout en bénéficiant aux communautés locales.

**Figure 16** - Illustration des aspects considérés dans le choix de l'endroit de l'agroforesterie (à gauche) et de la commune identifiée comme stratégique pour la mise en œuvre de l'agroforesterie (à droite). Les points chauds du risque, les terres agricoles, les fonctions de rétention et les vulnérabilités existantes (au milieu) ont permis de choisir la commune de Tchaourou pour la mise en œuvre de l'Eco-DRR.

### Critères du choix d'endroit pour l'Eco-DRR:

### Aspects pertinents des critères du choix d'endroit :

### Choix d'endroit:



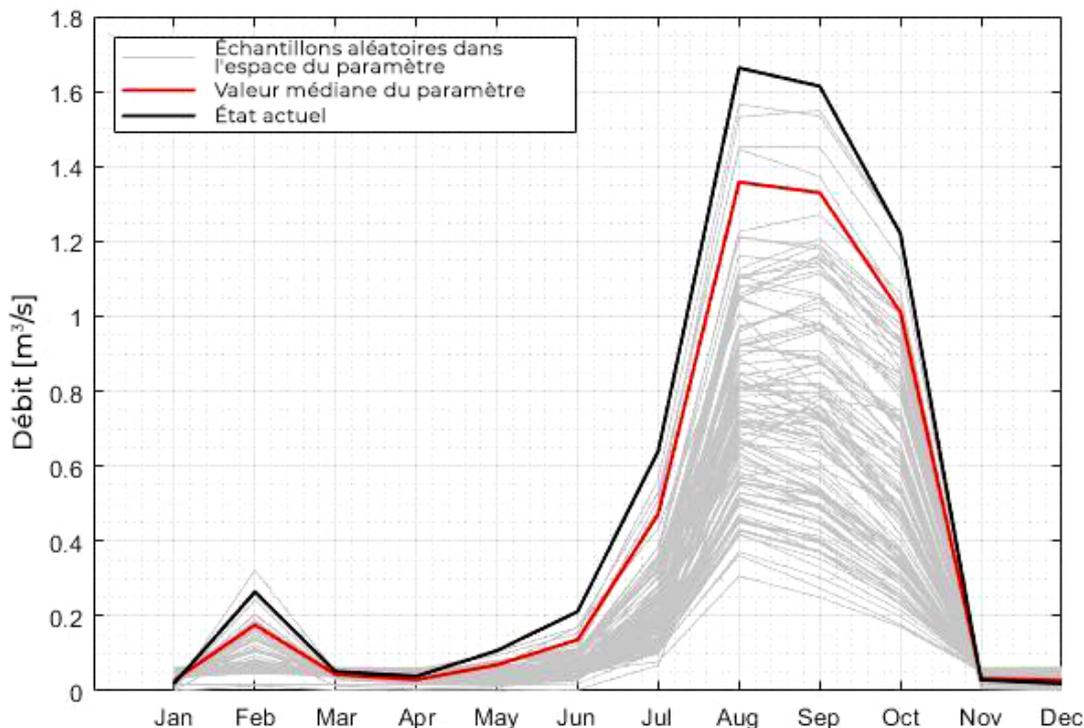
## 6.2. Évaluation de l'agroforesterie

L'effet de l'agroforesterie sur chacune des composantes du risque a été évalué individuellement, selon l'approche décrite en 5.1.

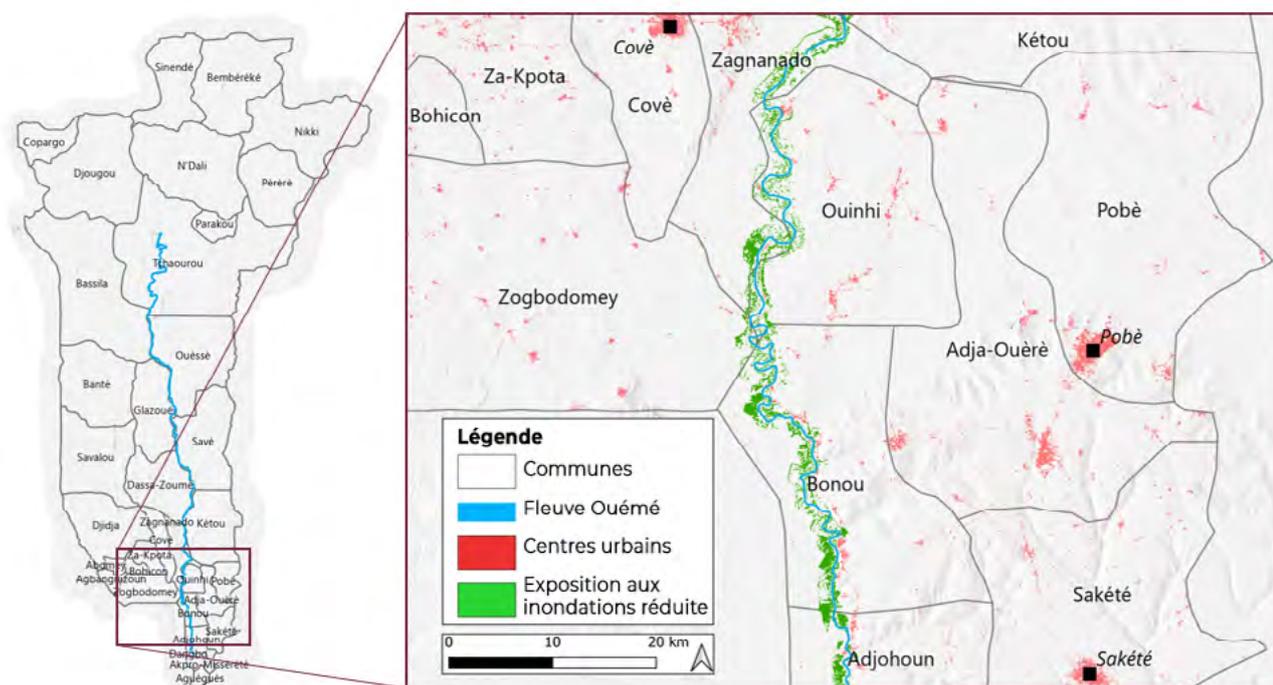
L'effet de l'agroforesterie sur le risque d'inondation a été évalué en étudiant son impact sur les paramètres hydrologiques par rapport aux terres cultivées traditionnelles (pour les méthodes et les résultats, voir Janzen et al. 2024). Le modèle hydrologique SWAT a été réexécuté avec des données ajustées pour les impacts de l'agroforesterie. Par rapport au statu quo de l'aléa, une réduction du ruissellement a été constatée, comme le montre l'hydrogramme (figure 17) indiquant le débit temporel sous le statu quo (en noir) et sous la mise en place

de l'agroforesterie (en gris avec la médiane en rouge).

Les données actualisées sur l'aléa ont permis la réévaluation de l'exposition aux inondations dans le bassin. Ces changements ont entraîné une réduction quantifiable de l'exposition. Les résultats de la figure 18 et le tableau 1 démontrent l'efficacité de l'agroforesterie pour réduire l'exposition aux inondations, en particulier dans la partie sud du bassin, où les communes de Ouinhi, Bonou et Zagnanado enregistrent des changements significatifs en termes de nombre de biens exposés.



**Figure 17** - Hydrogramme comparant l'aléa dans la commune de Bonou en cas de statu quo (ligne noire) et d'échantillons aléatoires (lignes grises) d'agroforesterie avec leur médiane (ligne rouge). Source : Janzen et al. à paraître.



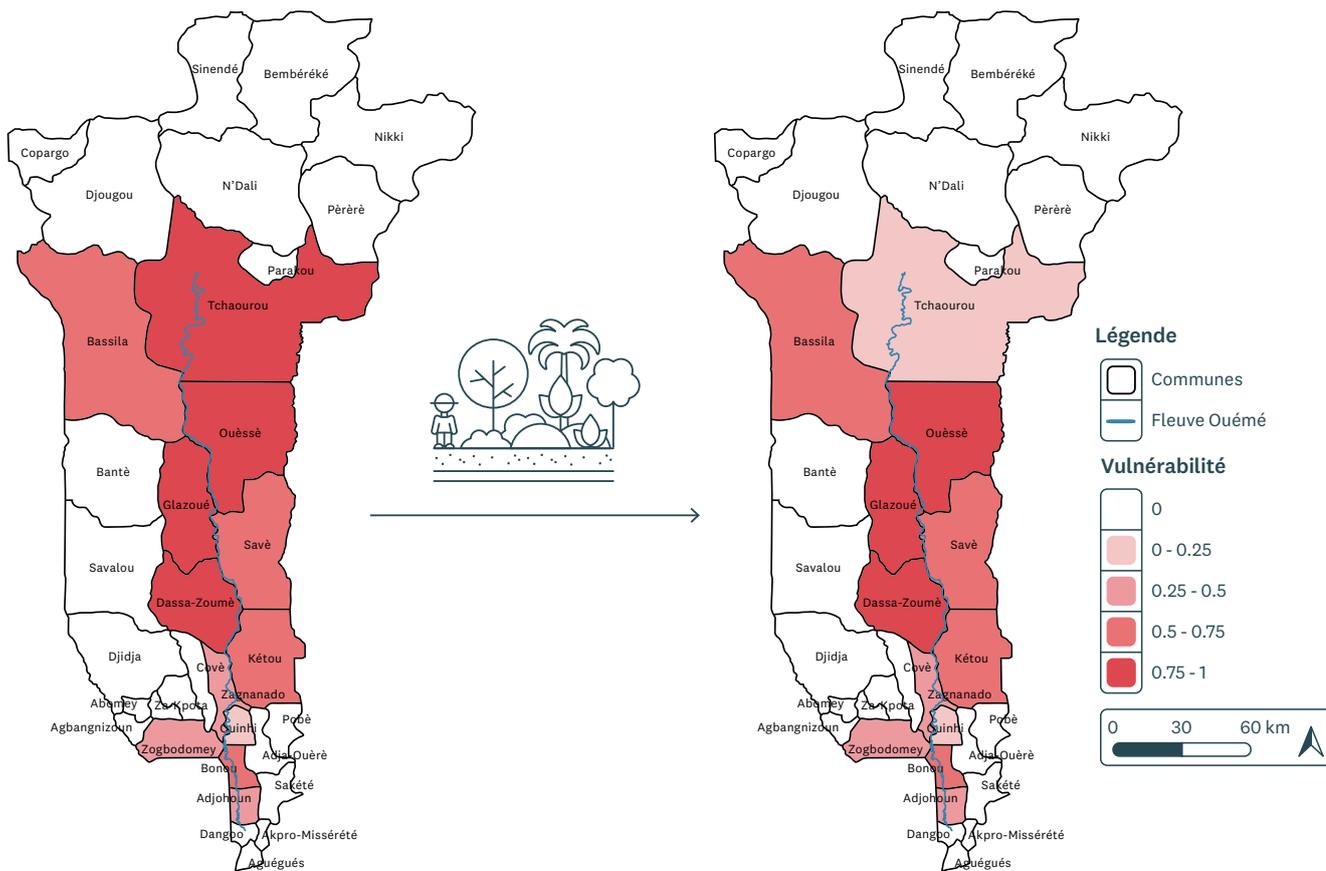
**Figure 18** - Illustration de changement de l'exposition aux inondations grâce à l'agroforesterie, avec un zoom sur la partie sud du bassin de l'Ouémé, mettant en évidence les zones qui ne sont plus exposées aux inondations en vert par rapport au scénario de statu quo.

**Tableau 1** - Changement quantitatif de l'exposition aux aléas dans le cadre de l'agroforesterie dans les communes de Ouhini, Bonou et Zagnanado.

Pourcentage de variation des éléments exposés dans le cadre de l'agroforesterie	Ouhini	Bonou	Zagnanado
Personnes (#)	-36.9	- 56.5	-50.9
Industrie (\$)	-30.8	-35	-37.6
Écoles (#)	0	0	-4.4
Bétail (#)	-1.4	-6.3	-18.5
Routes (#)	0	-14.3	-47.4
Espaces verts (ha)	-30.6	-35.9	-37.4

Sur la base du changement dans la fourniture de services écosystémiques des terres cultivées aux systèmes agroforestiers, la réévaluation de la vulnérabilité a permis de calculer l'effet de l'agroforesterie sur la vulnérabilité (pour les méthodes et les résultats, voir Janzen et al. 2024). Le résultat, illustré dans la figure 19, montre une réduction de la vulnérabilité

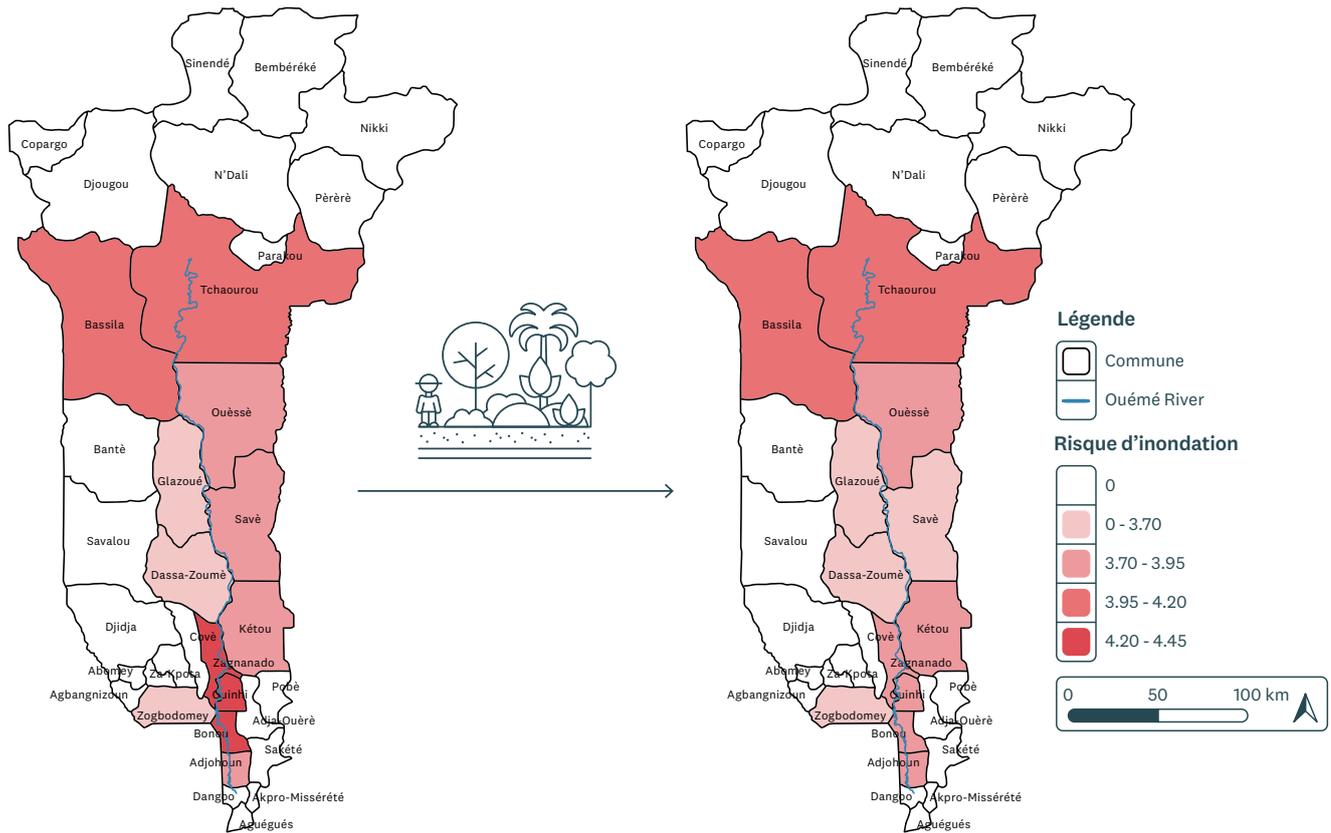
écologique à Tchaourou de 0.92 à 0.02. Par rapport aux terres cultivées, l'agroforesterie présente une utilisation des terres moins altérée, avec une plus grande biodiversité, une plus grande production de bois et une plus grande fertilité des sols, ce qui profite aux habitants de Tchaourou en contribuant à leur subsistance et leur bien-être.



**Figure 19** - Comparaison de la vulnérabilité écologique dans le bassin de l’Ouémé : statu quo (à gauche) et mise en œuvre de l’agroforesterie dans la commune de Tchaourou (à droite). La figure illustre la réduction de la vulnérabilité à Tchaourou.

Enfin, la combinaison des trois éléments - l'aléa, l'exposition et la vulnérabilité - dans le scénario agroforestier a permis de définir le risque d'inondation dans le cadre de l'agroforesterie. La comparaison entre le risque dans le cadre du statu quo et le risque dans le cadre de l'agroforesterie montre une réduction importante du risque d'inondation dans la partie sud du bassin versant (voir figure 20). Cela démontre l'efficacité de l'agroforesterie, en particulier en ce qui concerne la réduction de l'aléa et donc de l'exposition. Les résultats montrent en outre l'interconnexion du bassin. La mise en œuvre de l'agroforesterie dans la partie nord du bassin entraînant des avantages dans la partie sud du bassin en termes de réduction d'aléa et d'exposition. Il pourrait donc être intéressant d'envisager un système de "paiement des services écosystémiques" (PSE) pour que les





**Figure 20** – Changement au risque d’inondation suite à la mise en œuvre de l’agroforesterie, illustrant l’évaluation du risque “statu quo” (à gauche) et l’évaluation du risque dans le cadre de l’agroforesterie (à droite).

Depuis nombreuses années, le lac Ahémé est un lieu de vie et une source de revenus pour les communautés. Autour du lac et des petites îles, les habitants vivent de la pêche et de l’agriculture.

© Arianna Flores Corral / UNU-EHS



Depuis nombreuses années, le lac Ahémé est un lieu de vie et une source de revenus pour les communautés. Autour du lac et des petites îles, les habitants vivent de la pêche et de l'agriculture.

© Arianna Flores Corral / UNU-EHS



# 7. Conclusion et recommandations

Les mesures d'Eco-DRR sont utilisées en Afrique de l'Ouest pour réduire les risques d'inondation dans les zones urbaines et rurales. Puisque ces mesures peuvent réduire efficacement les trois composantes du risque d'inondation, aléa, exposition et vulnérabilité, on s'attend à ce qu'elles soient de plus en plus utilisées. Ce guide pratique facilite la sélection des mesures, le choix d'endroits stratégiques pour la mise en œuvre des mesures Eco-DRR, et leur évaluation,

afin de soutenir leur utilisation efficace pour la réduction des risques d'inondation. Il montre l'importance de l'implication des parties prenantes locales dans toutes les étapes pour comprendre le contexte local, les défis et la faisabilité, ainsi que pour créer un sentiment d'appartenance. Le manuel révèle également la nature pluridisciplinaire de l'évaluation de l'Eco-DRR. L'application du manuel à l'agroforesterie en milieu rural sert de modèle pratique.

## Principales recommandations

### Évaluation des risques d'inondation :

Utiliser une évaluation des risques d'inondation comme base pour tout placement et évaluation de Eco-DRR. Cette évaluation peut être réalisée de différentes manières, en fonction du temps et des ressources dont on dispose.

### Sélection des mesures Eco-DRR en fonction du contexte :

Choisir les mesures Eco-DRR en fonction des besoins et des conditions locales spécifiques.

### Endroits stratégiques :

Identifier les emplacements pour les mesures Eco-DRR qui maximisent leur impact sur la réduction du risque global d'inondation. Cela implique de comprendre les spécificités de chaque zone et de trouver un compromis entre plusieurs aspects qui entrent en jeu.

### Évaluation exhaustive :

Évaluer les effets de l'Eco-DRR sur les trois composantes du risque d'inondation pour finalement les combiner afin d'évaluer la réduction du risque de l'Eco-DRR.

### Implication des parties prenantes :

Impliquer activement les parties prenantes locales dans la sélection, la localisation et l'évaluation de l'Eco-DRR. Cet engagement est essentiel pour obtenir des informations locales, renforcer l'adhésion et garantir la durabilité de la mesure.

### Équipe pluridisciplinaire :

Compte tenu de la nature interdisciplinaire de la tâche, il convient d'impliquer notamment des hydrologues, des géoscientifiques, des écologistes, des météorologues, des planificateurs, des spécialistes des risques, et des sociologues afin de considérer différentes expertises et perspectives pour obtenir un meilleur résultat.

Les fortes pluies au Togo et au Bénin ont fait déborder le fleuve Mono en 2019, impactant des milliers de personnes au long du fleuve.

© Arianna Flores Corral / UNU-EHS



# Annexe

Cette annexe résume les mesures Eco-DRR existantes et prévues en Afrique de l'Ouest. Elle illustre la fonction potentielle de la mesure, les services de réduction de la vulnérabilité et les sites de mise en œuvre potentiels dans le tableau 2 et fournit un bref aperçu de chaque mesure (voir pages 33 et 34).

**Tableau 2** - Résumé des mesures Eco-DRR existantes et planifiées en Afrique de l'Ouest, telles qu'identifiées à travers une revue de la littérature et un examen ciblé des projets et des politiques.

Mesure Eco-DRR		Référence	Fonction de risque		Services de réduction de la vulnérabilité				Terre-utilisation pour la mise en œuvre				
				Drainage	Approvisionnement	Réglementation	Habitat	Culturel	Terres cultivées	Prairies	Forêt	Zone urbaine	Zone humide
	Agroforesterie	Jalloh & Diof, 2014	●		●	●	●	●	●	●		●	
	Gestion des forêts (reboisement, boisement, gestion durable)	Idinoba et al, non daté ; NAP Togo ; PANORAMA ; Bessah et al, 2021 ; Afriyie et al, 2021 ; Acreman et al, 2021 ; IUCN 2015 ; WB, 2023	●		●	●	●	●		●		●	
	Forêts galerie	GCA, 2022 ; NDC Bénin	●		●	●	●	●			●	●	●
	Restauration des cours d'eau (renaturation de la zone riveraine, restauration des chemins)	Montcho et al, 2022 ; Sahani et al, 2019		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Espaces verts	Sahani et al, 2019		●	●	●	●	●				●	
	Protection des zones humides et la restauration	Montcho et al, 2022 ; Sahani et al, 2019		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

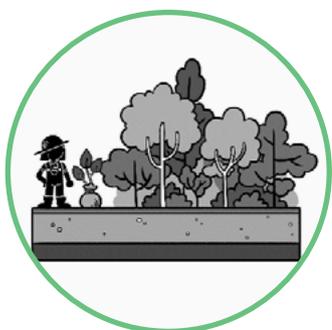
# Bref aperçu des mesures Eco-DRR existantes et prévues en Afrique de l'Ouest

## Agroforesterie



L'agroforesterie est un agroécosystème caractérisé par l'intégration de cultures, avec ou sans production animale, avec des compositions d'arbres ou d'arbustes (Mosquera-Losada et al. 2009 ; Ramil Brick et al. 2022). Elle est généralement subdivisée en agrosylviculture (par exemple, cultures en couloirs, zones tampons riveraines, parcs) et sylvopasture (c'est-à-dire arbres dans les pâturages) (Brown et al. 2018). En Afrique subsaharienne, l'agroforesterie est reconnue pour son potentiel d'amélioration de la biodiversité, de prévention de la dégradation des sols et d'atténuation des inondations et des sécheresses, tout en favorisant le développement durable des communautés rurales (Boffa 1999 ; Thorlakson et Neufeldt 2012 ; Mbow et al. 2014 ; Quandt et al. 2017).

## Gestion des forêts

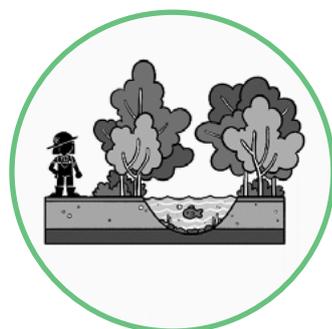


La gestion forestière fait référence à toute intervention humaine planifiée dans un écosystème forestier pour atteindre des objectifs spécifiques. Sa gestion durable vise à maintenir

ou à améliorer les avantages environnementaux, économiques et sociaux tirés de la forêt sans compromettre les avantages futurs (MacDicken et autres, 2015 ; fsc.org, 2024).

Alors que le reboisement fait référence à la reconstitution des forêts existantes qui ont été épuisées ou dégradées, le boisement fait référence à la conversion de terres dégradées ou abandonnées en forêts. Les deux approches sont utilisées en Afrique subsaharienne et leur potentiel d'amélioration de la structure des sols et de l'infiltration de l'eau, tout en augmentant le stockage du carbone, est bien reconnu (Noulèkoun, 2020).

## Forêts galerie



Les forêts galeries, également appelées "forêts riveraines", "franges" ou "ripisylves", sont des forêts qui s'étendent le long des berges d'un cours d'eau ou d'une zone humide.

Ces forêts sont essentielles au fonctionnement écologique, hydrologique et géomorphologique des cours d'eau et fournissent de nombreux services écosystémiques qui profitent au bien-être de l'homme.

En outre, elles servent de refuges forestiers, fournissant des habitats importants pour les espèces végétales et animales menacées, jouant ainsi un rôle important pour la conservation de la biodiversité en Afrique subsaharienne (Habel et Ulrich, 2021 ; Adjossou et autres, 2022).

## Restauration des cours d'eau



La restauration des cours d'eau permet de ramener les rivières et les ruisseaux à leur état naturel d'origine afin d'améliorer leur état écologique et d'assurer leur développement durable.

Les cours d'eau naturels ou quasi-naturels serpentent, contribuant à la formation d'habitats et d'éléments paysagers agréables. En outre, leur parcours sinueux réduit le risque d'inondation pour les utilisateurs en aval, car l'eau est ralentie.

## Espaces verts



Les espaces verts sont des espaces ouverts réservés aux parcs et tout espace d'agrément végétalisé. Pour diverses raisons liées à l'urbanisation et à la gouvernance, ils disparaissent de plus en plus des villes d'Afrique subsaharienne (Seth et autres, 2023). Pourtant, ils sont à la base de la fourniture de

services écosystémiques dans les villes et sont donc indispensables au bien-être humain.

Les espaces verts contribuent au maintien de la biodiversité, à l'atténuation des risques tels que les inondations et les effets d'îlot de chaleur urbain, et à l'amélioration de la santé des habitants en leur offrant un espace de loisirs (Guenat et al., 2021).

## Gestion des zones humides



Les zones humides sont des zones permanentes ou temporaires de marécages et de tourbières avec de l'eau et de la végétation (Convention de Ramsar sur les zones humides). Elles sont vitales pour l'homme, puisque plus d'un milliard de personnes dans le monde dépendent des zones humides pour leur subsistance (Nations unies, 2024). Les zones humides sont également essentielles pour notre climat, car elles fournissent des services écosystémiques essentiels tels que la régulation de l'eau, notamment la lutte contre les inondations et la purification de l'eau (Duku et al., 2022).

Pourtant, les zones humides font partie des écosystèmes qui connaissent les taux les plus élevés de déclin, de perte et de dégradation. Reconnaisant leur importance, les mangroves sont protégées et restaurées afin de garantir la fourniture durable de services écosystémiques.

# Bibliographie des publications

Adjossou, Kossi; Kokou, Kouami; Deconchat, Marc (2022): Floristic composition and turnover analysis in Dahomey Gap and the surrounding sub-humid Togolese mountain minor forest refuges: Importance for biogeography and biodiversity conservation in sub-Saharan Africa. In *Ecology and evolution* 12 (10), e9304. DOI: 10.1002/ece3.9304.

Björnsen Beratende Ingenieure GmbH (2022): Flood risk management plan for the transboundary Lower Mono River catchment in Togo and Benin. Project CLIMAFRI. Koblenz, Germany.

Björnsen Beratende Ingenieure GmbH (2024): KalypsoRisk. Available online at <https://kalypso.bjoernsen.de/index.php?id=332&L=1%27%27A%3D0>, updated on 5/21/2024, checked on 5/21/2024.

Boffa, J.-M. (1999): Agroforestry parklands in sub-Saharan Africa. Rome: FAO (Conservation Guide, 34).

Brown, Sarah E.; Miller, Daniel C.; Ordonez, Pablo J.; Baylis, Kathy (2018): Evidence for the impacts of agroforestry on agricultural productivity, ecosystem services, and human well-being in high-income countries: a systematic map protocol. In *Environmental Evidence* 7 (1), p. 24. DOI: 10.1186/s13750-018-0136-0.

CLIMAFRI (2022): KalypsoIndicatorrisk User Manual. Report produced in the context of the “Implementing Climate-sensitive Adaptation strategies to reduce Flood Risk in the transboundary Lower Mono River catchment in Togo and Benin” project (Climafri). Unpublished results. Edited by CLIMAFRI. Bonn, Germany.

Duku, Eric; Dzorgbe Mattah, Precious Agbeko; Angnuureng, Donatus Bapentire (2022): Assessment of wetland ecosystem services and human wellbeing nexus in sub-Saharan Africa: Empirical evidence from a socio-ecological landscape of Ghana. In *Environmental and Sustainability Indicators* 15, p. 100186. DOI: 10.1016/j.indic.2022.100186.

Friess, D. A., Yando, E. S., Alemu I, J. B., Wong, L.-W., Soto, S. D., & Bhatia, N. (2020). Ecosystem services and disservices of mangrove forests and salt marshes. In S. J. Hawkins, A. L. Allcock, A. E. Bates, L. B. Firth, I. P. Smith, S. E. Swearer, A. J. Evans, P. A. Todd, B. D. Russell, & C. D. McQuaid (Eds.), *Oceanography and marine biology: An annual review* (Vol. 58, pp. 107-141). Taylor & Francis.

fsc.org (2024): Forest Management: Practical tools for thriving forests. Available online at <https://fsc.org/en/forest-management>, updated on 4/5/2024, checked on 4/5/2024.

Guenat, Solène; Porras Lopez, Gabriel; Mkwambisi, David D.; Dallimer, Martin (2021): Unpacking Stakeholder Perceptions of the Benefits and Challenges Associated With Urban Greenspaces in Sub-Saharan Africa. In *Front. Environ. Sci.* 9, Article 591512. DOI: 10.3389/fenvs.2021.591512.

Habel, Jan Christian; Ulrich, Werner (2021): Ecosystem functions in degraded riparian forests of southeastern Kenya. In *Ecology and evolution* 11 (18), pp. 12665–12675. DOI: 10.1002/ece3.8011.

IPCC AR6 Working Group I (2023): Annex VII: Glossary. In Valérie Masson-Delmotte (Ed.): *Climate change 2021. The physical science basis : Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 2215–2256. Available online at [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_AnnexVII.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_AnnexVII.pdf), checked on 5/14/2024.

Janzen, S., Balzer, J., Merk, F., Eberle, C., Chabi, A., Walz, Y. (2024): Moving towards a comprehensive evaluation of ecosystem-based disaster risk reduction: The example of agroforestry for flood risk reduction. *Nature-Based Solutions*, 5, 100104.

Kloos and Renaud (2016). Overview of ecosystem-based approaches to drought risk reduction targeting small-scale farmers in Sub-Saharan Africa. In Renaud et al Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction and Adaptation in Practice. Springer.

MacDicken, Kenneth G.; Sola, Phosiso; Hall, John E.; Sabogal, Cesar; Tadoum, Martin; Wasseige, Carlos de (2015): Global progress toward sustainable forest management. In *Forest Ecology and Management* 352, pp. 47–56. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.02.005.

Mbow, Cheikh; van Noordwijk, Meine; Luedeling, Eike; Neufeldt, Henry; Minang, Peter A.; Kowero, Godwin (2014): Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa. In *Current Opinion in Environmental Sustainability* 6, pp. 61–67. DOI: 10.1016/j.cosust.2013.10.014.

Mosquera-Losada, M. R.; McAdam, J. H.; Romero-Franco, R.; Santiago-Freijanes, J. J.; Rigueiro-Rodríguez, A. (2009): Definitions and Components of Agroforestry Practices in Europe. In Antonio Rigueiro-Rodríguez, Jim McAdam, Maróa Rosa Mosquera-Losada (Eds.): *Agroforestry in Europe: Current Statu and Future Prospects*. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 3–19.

Nehren, U.; Arce-Mojica, T.; Barrett, A. Cara; Cueto, J.; Doswald, N.; Janzen, S. et al. (2023): Towards a typology of nature-based solutions for disaster risk reduction. In *Nature-Based Solutions*, p. 100057. DOI: 10.1016/j.nbsj.2023.100057.

Noulèkoun, Florent Anguilles Dèhogbé (2020): Sapling ecology and management in multi-species afforestation system on degraded cropland in the Sudano-Sahelian zone of Benin. *Universitäts- und Landesbibliothek Bonn*. Available online at <https://bonndoc.ulb.uni-bonn.de/xmlui/handle/20.500.11811/8821>.

Quandt, A.; Neufeldt, H.; McCabe, J. T. (2017): The role of agroforestry in building livelihood resilience to floods and drought in semiarid Kenya. In *Ecology and Society* 22 (3), p. 10. DOI: 10.5751/ES-09461-220310.

Purwanto, H., Paripurno, E. T., & Prasetya, J. D. (2024, March). Valuing hybrid engineering approach: ecosystem and structural based DRR using InVEST model of coastal zone Sikka Flores-Literature Review. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1314, No. 1, p. 012029). IOP Publishing.

Ramil Brick, Elisa S.; Holland, John; Anagnostou, Dimitris E.; Brown, Keith; Desmulliez, Marc P. Y. (2022): A review of agroforestry, precision agriculture, and precision livestock farming—The case for a data-driven agroforestry strategy. In *Frontiers in Sensors* 3, Article 998928. DOI: 10.3389/fsens.2022.998928.

Ramsar Convention on Wetlands: What are wetlands. In *Ramsar Information Paper no 1*. Available online at <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/info2007-01-e.pdf>, checked on 5/4/2024.

Ruangpan, Laddaporn; Vojinovic, Zoran; Di Sabatino, Silvana; Leo, Laura Sandra; Capobianco, Vittoria; Oen, Amy M. P. et al. (2020): Nature-based solutions for hydro-meteorological risk reduction: a state-of-the-art review of the research area. In *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 20 (1), pp. 243–270. DOI: 10.5194/nhess-20-243-2020.

Seth, Appiah-Opoku; Kwaku, Karikari Manu; Michael, Osei Asibey; Owusu, Amponsah (2023): Tragedy of urban green spaces depletion in selected sub-Sahara African major cities. In *J. Afr. Stud. Dev* 15 (3), pp. 46–61. DOI: 10.5897/JASD2023.0682.

Sudmeier-Rieux, K.; Arce-Mojica, T.; Boehmer, H. J.; Doswald, N.; Emerton, L.; Friess, D. A. et al. (2021): Scientific evidence for ecosystem-based disaster risk reduction. In *Nat Sustain*. DOI: 10.1038/s41893-021-00732-4.

Thorlakson, Tannis; Neufeldt, Henry (2012): Reducing subsistence farmers' vulnerability to climate change: evaluating the potential contributions of agroforestry in western Kenya. In *Agriculture & Food Security* 1 (1), p. 15. DOI: 10.1186/2048-7010-1-15.

United Nations (2024): World Wetlands Day | United Nations. Available online at <https://www.un.org/en/observances/world-wetlands-day>, updated on 4/5/2024, checked on 4/5/2024.

Citation suggérée : Janzen, S., Balzer, J., Merk, F., Hansohm, J., Walz, Y. (2024). **Planification et évaluation des mesures de réduction des risques d'inondation basées sur les écosystèmes en Afrique de l'Ouest**. Université des Nations Unies - Institut pour l'environnement et la sécurité humaine (UNU-EHS).

### **Auteurs**

Sally Janzen (Université des Nations Unies Institut pour l'environnement et la sécurité humaine (UNU-EHS))  
Jana Balzer (UNU-EHS)  
Fabian Merk (Technische Universität München)  
Jonas Hansohm (UNU-EHS)  
Yvonne Walz (UNU-EHS)

### **Réviseurs**

Andrea Ortiz-Vargas (UNU-EHS)  
Andreas Fink (Karlsruhe Institute of Technology)  
Emmanuel Nketiah Ahenkorah (Ghana Water Company)  
Fabian Rackelmann (UNU-EHS)  
Fabrice Renaud (University of Glasgow)  
Karen Sudmeier-Rieux (KSR consulting)  
Raymond Djangma (Water Resource Commission)  
Udo Nehren (Technische Hochschule Köln)

### **Traduction et révision**

Traduit de l'anglais par Sally Janzen. Réviser par Essi Nadège Parkoo (Université de Lomé), Jules Affewe (Université d'Abomey-Calavi (U-AC)), Marleine Bodjrenou (U-AC) et Thomas D'Aquin Allagbe (U-AC).

### **Éditeur**

Haylee Lunt

### **Conception graphique**

Imre Sebestyén (Unit Graphics)

### **Figures**

Caitlyn Eberle (UNU-EHS)

### **Photo de couverture**

Arianna Flores Corral / UNU-EHS

### **Financement**

Ce manuel fait partie du projet FURIFLOOD (Risques actuels et futurs d'inondations urbaines et rurales en Afrique de l'Ouest - Une analyse intégrée et des solutions basées sur les écosystèmes) sous WASCAL WRAP 2.0 financé par le Ministère fédéral allemand de l'éducation et de la recherche (Numéro de subvention : FKZ 01LG2086C).

