

## NIGER

### SUSCEPTIBILITE AUX INONDATIONS DANS LES REGIONS DE TILLABERI, MARADI ET ZINDER

#### CONTEXTE

Les inondations font partie des principaux aléas climatiques auxquels le Niger est exposé. Aucune région du pays n'est épargnée. Cependant, une plus forte concentration des inondations a été rapportée dans la bande sud du pays notamment le long du fleuve Niger, des Koris, des Dallols, des Goulbis, de la Korama, de la Koumadougou et autour du massif de l'Air [1]. Avec la forte croissance urbaine que connaissent les villes des pays en développement en général et celles du Niger en particulier, les habitations s'étendent vers des zones peu favorables au développement urbain [2]. Cette expansion urbaine se fait, parfois, de manière rapide, désordonnée et sans planification maîtrisée. Ce qui amplifie les risques liés aux aléas climatiques, surtout les aléas relatifs aux fortes pluies.

Le Sahel est confronté depuis plus de 30 ans non seulement à une augmentation des précipitations extrêmes [3,4], mais aussi à d'importantes modifications d'utilisation et de la couverture des sols qui entraînent par conséquent une augmentation du ruissellement des eaux de surface dans la région [5,6]. L'aboutissement direct de ceci est une augmentation des inondations ces dernières années et celle-ci combinée à la croissance démographique et urbaine non-maîtrisée a de nombreuses conséquences dont les principales sont :

- Une augmentation des risques à travers une exposition plus importante des personnes déjà vulnérables aux aléas d'inondations ;
- Une augmentation des pertes en vie humaines ;
- La destruction des biens privés et publics ;
- La perte et la dégradation des moyens de subsistance (petit-commerce, agriculture, bétail, etc).
- Une augmentation des maladies hydriques liées à l'eau

En 2021, environ 250 000 personnes ont été affectées par les inondations au Niger contre 327 000 en 2022 [7], les régions les plus durement touchées par ce phénomène étant celles de Zinder et de Maradi [8]. Selon les études consultées, la population Sahélienne a plus que quadruplée depuis le début du XXe siècle, et les prévisions pour 2050 avancent un facteur de croissance de dix [9]. D'importants changements dans l'utilisation du sol (extension urbaine, aménagements agricoles, grands travaux d'infrastructures, augmentation de la ganaderia, etc.), et une augmentation de la déforestation vont certainement, entrainer une augmentation des risques liés aux aléas climatiques [9]. La présente évaluation menée par l'Initiative REACH et financée par le Fond Humanitaire Régional pour l'Afrique de l'Ouest et du Centre (FHRAOC) a pour objectifs principaux d'identifier les zones susceptibles d'être inondées et d'estimer le nombre de personnes potentiellement exposées (vulnérables) à ce type d'évènement.

#### JUSTIFICATION

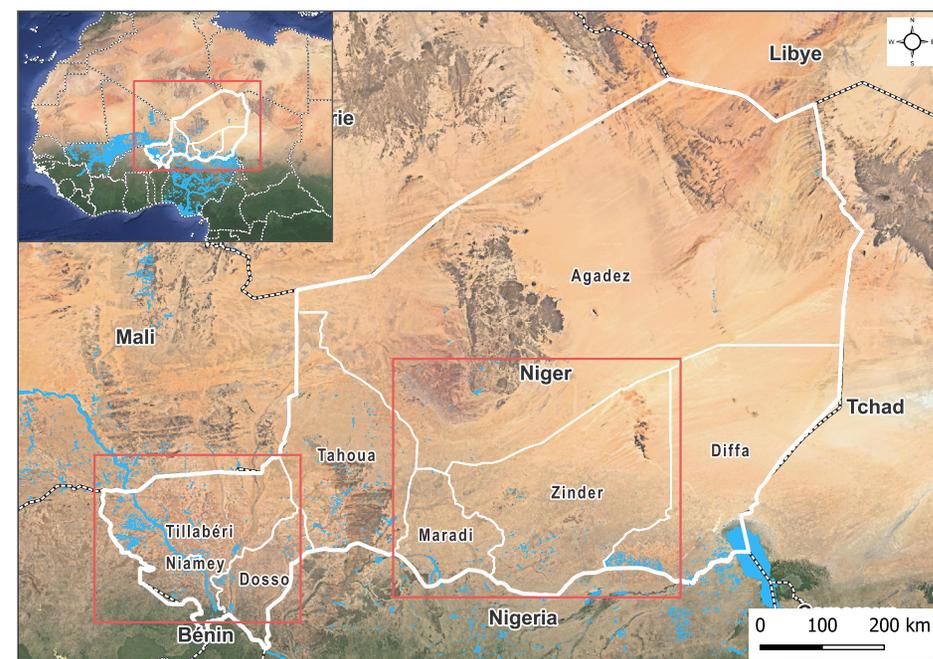
Les inondations extrêmes sont un enjeu crucial pour le développement des pays sahéliens [10]. En effet, un nombre croissant d'inondations et d'impacts liés à ceux-ci ont été signalés par de nombreux auteurs [11] et leur fréquence est particulièrement alarmante dans le bassin du moyen fleuve Niger [12]. Ces événements entraînent très souvent des conséquences désastreuses pour la population, les infrastructures, l'environnement et tous les secteurs économiques.

Au cours de la dernière décennie, les inondations qui ont frappé le Niger ainsi que les pays sahéliens de la région ont été particulièrement importantes. La distribution spatiale des localités inondées montre qu'aucune région du pays n'est épargnée, même si une plus forte concentration est observée dans la bande sud du pays et long du fleuve Niger, les Koris, les Dallols, les Goulbis, la Korama, la Koumadougou et autour du massif de l'Air.

Cette analyse de la susceptibilité aux inondations dans les trois régions de Tillabéri, Maradi et Zinder utilise une méthodologie entièrement basée sur des critères physiques comprenant la variation des précipitations en intensité et en durée, ainsi que huit autres facteurs hydrologiques et topographiques qui n'ont pas nécessité une collecte de données terrain. Elle est donc construite sur des données et des images satellitaires publiques, gratuites et accessibles à tous.

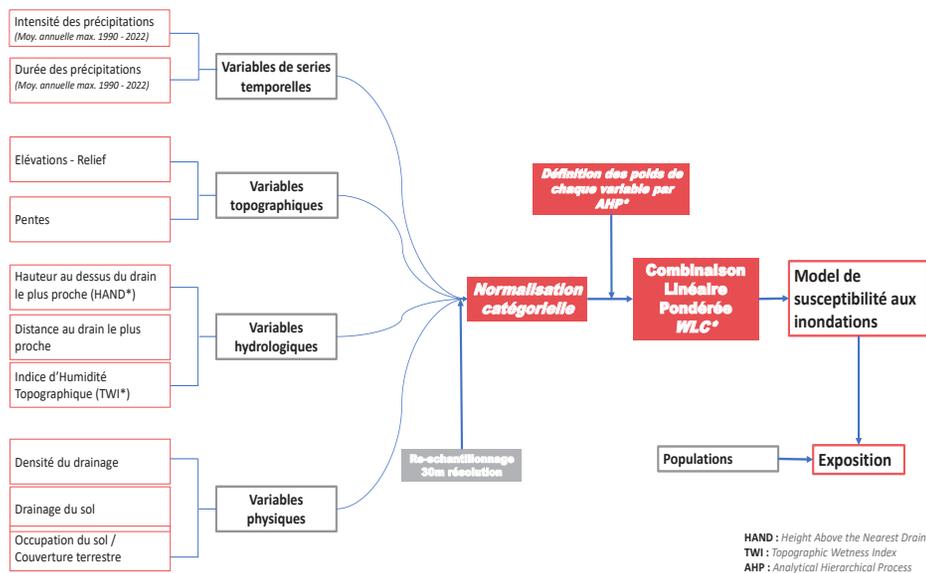
Bien que de nombreuses études à l'échelle régionale existent sur l'impact des inondations, très peu d'entre elles analysent la susceptibilité aux inondations. Dans cette optique, l'objectif de ce travail est d'identifier les zones qui ont une plus grande susceptibilité d'être inondées et où la population est plus vulnérable à l'aléa d'inondation. À travers une analyse multifactorielle, nous avons produit une estimation du risque lié à cet aléa. Pour cette étude, REACH considère qu'un risque est la possibilité qu'un aléa climatique se produise dans une zone et touche une partie de la population vulnérable (risque = aléa x vulnérabilité).

#### ZONE D'ETUDE



L'analyse couvre les régions de Tillabéri, Maradi et Zinder car identifiées comme les régions les plus fortement impactées par les récentes inondations de 2022 et les chiffres produits par le ministère de l'action humanitaire et de la gestion des catastrophes (MAH/GC) et de nombreuses organisations humanitaires (OCHA, etc.), sur le terrain le démontrent [8].

## PROCESSUS DE TRAVAIL



## BASES DE DONNEES

N°	Variable	Res.	Période	Source
1	<a href="#">Le relief – les élévations + Pentes</a>	~30m	2000	NASA / USGS / JPL-Caltech
2	<a href="#">Les pentes</a>	~30m	2000	NASA / USGS / JPL-Caltech
3	<a href="#">La densité de drainage</a>	~250m	1960 - 2016	ISRIC - World Soil Information
4	<a href="#">L'intensité des précipitations (Moyennes annuelles maximum)</a>	60m	1990 - 2022	Google Earth Engine
5	<a href="#">Durée des précipitations (Moyennes annuelles maximum)</a>	60m	1990 - 2022	Google Earth Engine
6	<a href="#">La hauteur au-dessus du drain le plus proche (HAND)</a>	~90m	2019	University of Tokyo - MERIT Hydro
7	<a href="#">L'indice d'humidité topographiques (TWI)</a>	~90m	2019	Africa Soil Information Service (AfsIS)
8	<a href="#">Drainage du sol</a>	~250m	1960 - 2016	ISRIC - World Soil Information
9	<a href="#">Distance au drain le plus proche</a>	~30m	2000	NASA / USGS / JPL-Caltech
10	<a href="#">L'occupation du sol / Couverture terrestre</a>	10m	2022	Esri, Microsoft, Impact Observatory

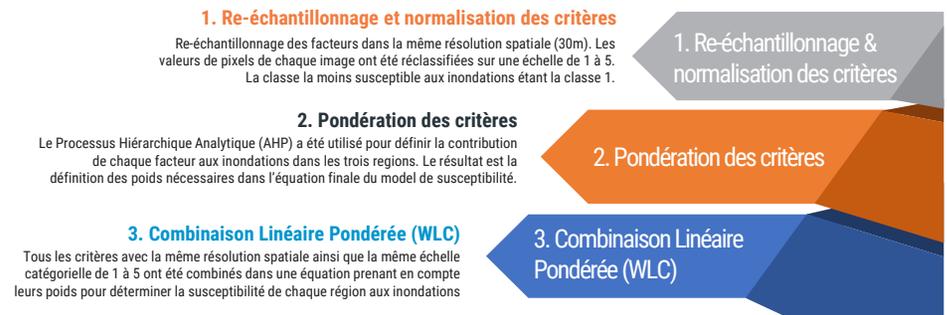
## SUSCEPTIBILITE AUX INONDATIONS : METHODOLOGIE

Diverses méthodologies pour cartographier la susceptibilité aux inondations existent et toutes se basent sur des critères définis en fonction du contexte et des objectifs de l'étude. Tous ces paramètres contribuent de manière collective à déterminer la probabilité de la survenue de ce phénomène dans une zone donnée. Ces variables d'entrée doivent subir un lot de traitement nécessaire pour leur harmonisation dans une échelle qui permette des comparaisons entre elles et surtout que le résultat final soit produit à une même échelle spatiale ou résolution de sortie. Toutes ces données en tant que des facteurs contributifs seront intégrés dans un Système d'Information Géographique (SIG) afin d'être combinés en un seul ensemble de données à travers une équation dont le résultat de traitement représentera la susceptibilité au phénomène dans toute la zone d'analyse.

La modélisation multicritère et les techniques de télédétection pour la cartographie des zones à risque d'inondation ont été utilisées dans le cadre de cette analyse. Des outils de modélisation de données tels que Google Earth Engine (GEE), ainsi que les outils d'analyses de ArcGIS PRO et du logiciel libre QGIS ont été utilisés pour télécharger et traiter une large gamme de données provenant d'images satellitaires publiques et gratuites disponibles. Au total, quatre groupes de variables, topographiques, hydrologiques, physiques et une série multi-temporelle pour les précipitations ont été préparés. Une dizaine de critères ont donc été identifiés comme contributifs aux inondations dans les trois régions.

- Les élévations - Relief
- Les pentes
- L'Indice d'Humidité Topographique (TWI)
- La distance au drain le plus proche
- L'intensité des pluies (Moyennes annuelles maximales sur une période de 32 ans - 1990 - 2022)
- La durée des précipitations (Moyennes annuelles maximales sur une période de 32 ans - 1990 - 2022)
- Le drainage du sol
- La hauteur au dessus du drain le plus proche (HAND)
- L'occupation du sol / Couverture terrestre
- La densité de drainage

Toutes les données sont passées par l'étape de traitement et de normalisation qui a permis de les mettre dans une même résolution spatiale. Ensuite, la contribution de chacun des facteurs dans le phénomène d'inondation dans les trois régions a été établi. Pour finir avec l'agrégation de tous ces facteurs dans une équation dont le résultat est une carte de susceptibilité aux inondations dans chacune des régions.



## RE-ECHANTILLONNAGE ET NORMALISATION DES CATEGORIES

Toutes les données utilisées avaient des résolutions différentes allant de 10 m à 250 m. Un Re-échantillonnage a permis de ramener tous ces facteurs dans la même résolution spatiale (30m).

Dans le but d'évaluer la susceptibilité comme un score cumulatif de tous les facteurs, les valeurs des pixels de chaque image ont été reclassifiées dans la même échelle catégorielle allant de 1 à 5, avec 5 étant la classe la plus susceptible et 1 la moins susceptible aux inondations.

Cette opération effectuée sur des ensembles de données rasters continues s'est faite selon la méthode des quantiles afin que chaque classe soit également représentée - chaque classe contenant le même nombre de valeurs -. L'approche a été différente pour les catégories d'occupation du sol, elles ont été classées par rapport à leur degré d'imperméabilité - La classe du bâti, la végétation aquatique et les plans d'eau contribuant le plus aux inondations -. Le sol est classé en fonction de ses propriétés de perméabilité et d'infiltration, allant du très pauvrement drainé à excessivement drainé. Les sols pauvrement drainés étant les plus susceptibles, contribuant le plus aux inondations.

## PONDERATION DES DIFFERENTS CRITERES (AHP)

Le Processus par Hiérarchisation Analytique de Saaty [13] ou AHP (Analytic Hierarchy Process) est la technique d'analyse multicritère que nous avons utilisé dans le cadre de ce travail. Cette technique fournit une approche systématique pour évaluer et intégrer les impacts de divers facteurs qui impliquent différents degrés d'informations dépendantes ou non, qualitatives et quantitatives. Le processus de la méthode peut être résumé en trois étapes : La sélection et l'évaluation des facteurs, l'analyse multicritère, et l'analyse de la susceptibilité. Elle permet de choisir des indicateurs ou facteurs de prédisposition au risque et par la suite à un classement et une pondération de ces indicateurs en fonction de leur importance dans l'occurrence du risque. Un poids sera donc affecté suivant l'importance relative de chaque facteur induisant l'inondation. Cette approche méthodologique basée sur une analyse multicritère sera combinée à des outils des systèmes d'information géographique (SIG). Elle est considérée comme une méthode optimale pour hiérarchiser les facteurs multiples afin de générer une information spatiale montrant la susceptibilité à un phénomène à l'échelle d'une zone donnée.

**Tableau de comparaison des critères par paires**  
*Définition du poids final de chaque facteur*

	Élévation	Pentes	La densité de drainage	Intensité des précipitations	HAND	TWI	Durée des précipitations	Drainage du sol	Distance au drain le plus proche	Occupation du sol	Poids final
Élévations	3,00	1,10	3,00	0,90	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,165
Pentes	0,33	1	0,40	1,00	0,50	3,00	3,00	3,00	0,70	2,00	0,101
La densité de drainage	0,91	2,50	1	1,00	0,33	1,00	1,00	3,00	1,00	3,00	0,108
Intensité des précipitations	0,33	1,00	1,00	1	0,30	3,00	1,00	1,00	0,60	0,75	0,076
HAND	1,11	2,00	3,03	3,33	1	3,00	5,00	3,00	3,00	4,00	0,211
TWI	1,00	0,33	1,00	0,33	0,33	1	2,00	3,00	3,00	1,50	0,099
Durée des précipitations	0,33	0,33	1,00	1,00	0,20	0,50	1	0,75	0,60	0,50	0,048
Drainage du sol	0,33	0,33	0,33	1,00	0,33	0,33	1,33	1	0,50	2,00	0,053
Distance au drain le plus proche	0,33	1,43	1,00	1,67	0,33	0,33	1,67	2,00	1	3,00	0,088
Occupation du sol	0,33	0,50	0,33	1,33	0,25	0,67	2,00	0,50	0,33	1	0,052

## LA COMBINAISON LINEAIRE PONDEREE (WLC)

Les différents critères ont été normalisés et pondérés en utilisant le Processus par Hiérarchisation Analytique de Saaty, 2005. Après la définition des poids, la méthode de combinaison linéaire pondérée à partir de l'outil de calculatrice raster de ArcGis Pro aura permis de combiner tous les critères et leurs différents poids pour produire la carte finale.

Équation de la susceptibilité aux inondations dans les trois régions :

$$(Occupation\ du\ sol * 0,052) + (drainage\ du\ sol * 0,053) + (Elévations * 0,165) + (Pentes * 0,101) + (indice\ Humidité\ Topographique * 0,099) + (Hauteur\ du\ dessus\ du\ drain\ le\ plus\ proche * 0,211) + (densité\ de\ drainage * 0,108) + (Durée\ des\ précipitations * 0,048) + (Intensité\ des\ précipitations * 0,076) + (Distance\ au\ drain\ le\ plus\ proche * 0,088)$$

Le produit final de cette analyse est une carte représentant la susceptibilité aux inondations dans chacune des trois régions évaluées. Ce résultat uniquement basé sur les facteurs naturels plutôt que sociaux et économiques indique de la susceptibilité plutôt que du risque. Etudier le risque d'inondations qui dans ce cas pourrait revenir à évaluer une " probabilité de conséquences néfastes, ou pertes prévisibles (décès, blessés, biens matériels, moyens de subsistance, perturbation des activités ou détérioration de l'environnement) résultant d'interactions entre aléas naturels ou induits par l'homme et conditions vulnérables " [14] n'a pas été fait. Les conséquences de ces événements affectant la vie humaine, ayant des effets économiques ou provoquant des changements environnementaux, n'ont pas fait l'objet d'une étude particulière dans le cadre de ce travail.

A cause de multiples contraintes de diverses ordres, un travail de terrain complémentaire n'a pas pu se faire dans le cadre de cette analyse.

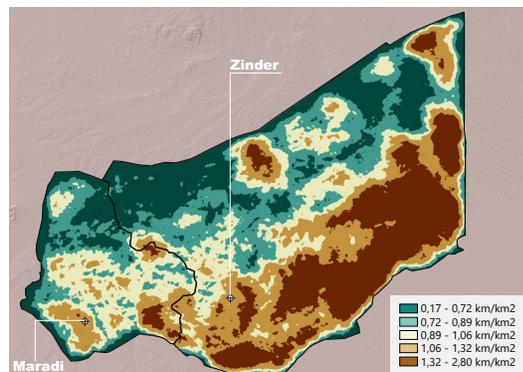
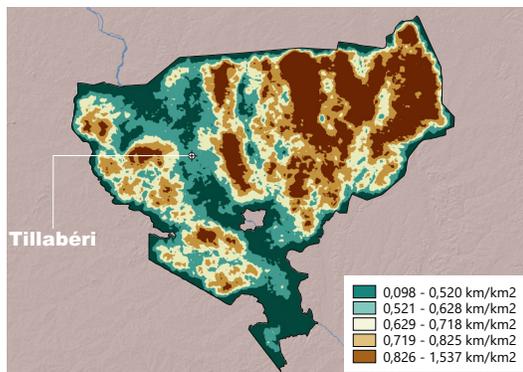
## TRAITEMENTS ET ANALYSE DES CRITÈRES

Dans le cadre de cette analyse, un ensemble de données de plusieurs sources différentes ont été utilisées. Des images satellitaires disponibles en téléchargement libre pour la plupart ou dérivées d'autres données primaires ont subi des traitements qui ont permis premièrement de les mettre dans la projection nécessaire pour les différentes mesures (UTM31 et 32N). Elles ont par la suite été re-échantillonnées pour avoir la même résolution spatiale. Dix (10) critères ont été pris en compte dans cette analyse de susceptibilité.

Google Earth Engine (GEE) par exemple aura permis de télécharger les données sur l'intensité et la durée des précipitations sur une période de 32 ans (1990 - 2022) à travers un script développé à cet effet [Script](#). ArcGIS PRO et QGIS utilisés pour certains traitements intermédiaires spécifiques en raison de la puissance de leurs algorithmes respectifs ont permis d'obtenir des variables/critères. Ceux-ci, combinées grâce à la technique de la combinaison linéaire pondérée (Weight Linear Combination-WLC) aura permis d'obtenir le résultat final de la susceptibilité aux inondations dans les trois régions. Le choix et le raisonnement derrière chaque critère utilisé est détaillé dans les lignes suivantes :

### Densité de flux

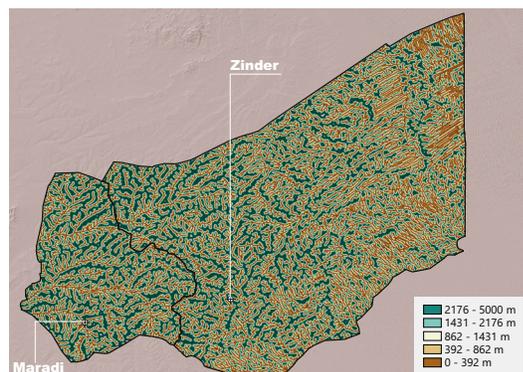
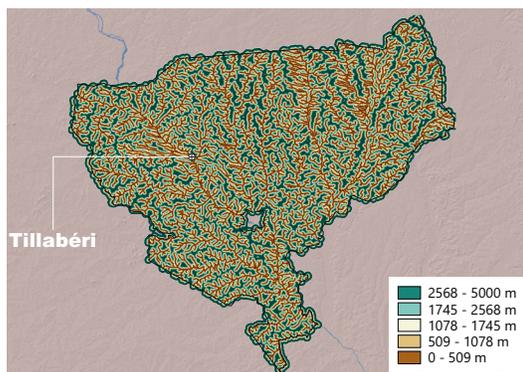
Les zones à forte pluviométrie avec des pentes plus raides ont une densité de drainage plus élevée (relief/gradient). Les plaines d'inondation par exemple qui sont des zones de basses altitudes situées près des berges des rivières, sont susceptibles d'être inondées. Les régions de Tillabéri et de Maradi présentent une très grande partie des localités situées dans ces zones à forte susceptibilité. La densité de drainage influence le débit d'eau et l'accumulation de sédiments.



Une faible densité est associée à une perméabilité plus élevée et à une végétation plus abondante, ce qui rend la zone moins vulnérable aux inondations [15] à l'opposée des roches imperméables et de l'argile qui ont une densité de drainage plus élevée. Le réseau de drainage du jeu de données HydroSheds mis à disposition par l'Université de Tokyo a été utilisé pour calculer la densité de drainage dans le cadre de ce travail et le résultat a été présenté en cinq classes. La densité de drainage, introduite par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant avec :  $Dd$  : densité de drainage [km/km<sup>2</sup>];  $Li$  : longueur de cours d'eau [km];  $A$  : surface du bassin versant [km<sup>2</sup>].

### Distance au drain le plus proche

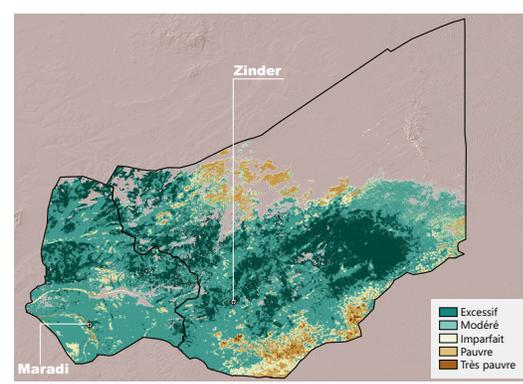
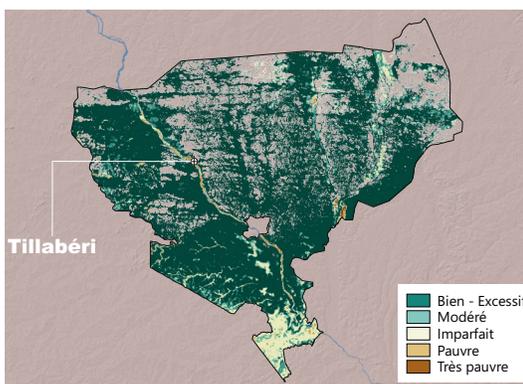
La distance au drain le plus proche est un facteur important d'exposition aux inondations. En effet, les zones situées dans une emprise de 300m autour d'un cours d'eau peuvent être considérées comme les plus exposées. Les canaux de drainage principaux, où le flux s'accumule, sont relativement plus susceptibles d'être inondés [16]. Le débordement de la zone de drainage est la raison pour laquelle la proximité est un facteur important à prendre en compte dans le cadre de ce travail.



Grâce à l'outil Distance Euclidienne, la distance par rapport au drain le plus proche a été calculée à partir d'un tel réseau. Compte tenu des basses altitudes de la zone et de leur faible variabilité, nous avons considéré une distance maximale de 5000m des drains principaux pour le calcul. Nous avons considéré que tout ce qui est situé à près de 300 m des cours d'eau est dans la catégorie très élevée du risque. Les données des cours d'eau téléchargées depuis Hydrosheds ont été utilisées dans le cadre de la préparation de cet indicateur.

### Drainage du sol

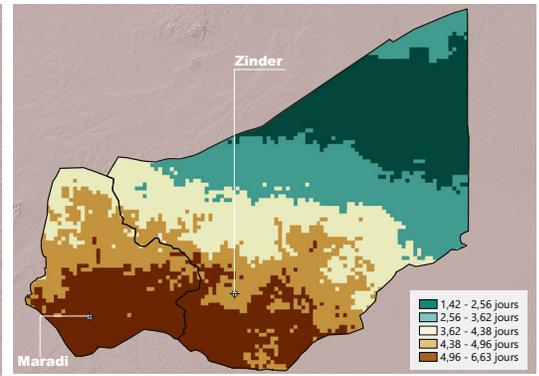
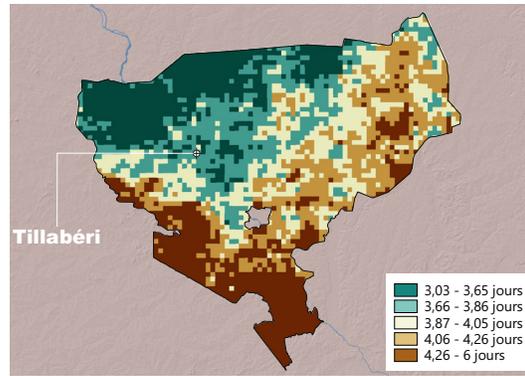
La matière organique du sol, la texture et la structure de celui-ci ainsi que son degré d'humidité directement liés à la profondeur de la nappe phréatique influencent profondément le potentiel de ruissellement, et donc l'ampleur de l'inondation résultant de pluies intenses [17]. Ces différentes qualités du sol influencent le potentiel de ruissellement par le biais des taux d'infiltration. Même si le sol semble relativement bien drainé, dans les trois régions, on observe par exemple un très pauvre drainage dans certains départements.



Balleyara, Say et Abala par exemple dans la région de Tillabéri. Le sol a été classé ici en fonction de ses propriétés de perméabilité et d'infiltration, allant du très pauvre drainé à excessivement drainé. [Les données téléchargées](#) sur le site de ISRIC (International Soil Reference and Information Center) à 250m de résolution ont été re-échantillonnées à 30m de résolution et reprojetées dans la zone UTM afin de correspondre à la même référence spatiale que les autres données.

## Durée des précipitations

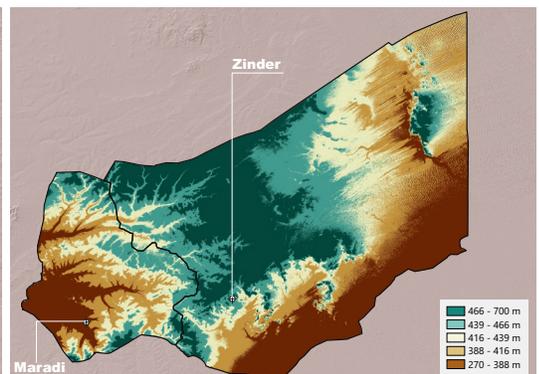
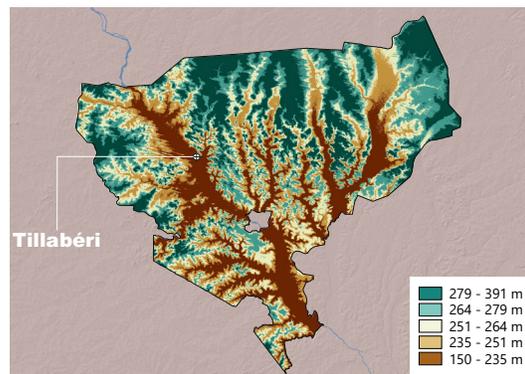
Les pluies et leur durée dans le temps reviennent très souvent comme un facteur explicatif des inondations dans une région. Ainsi donc, les régions qui connaissent de longues périodes de pluies continues sont plus susceptibles d'être inondées. Les données pluviométriques quotidiennes sur les précipitations (CHIRPS) mises à disposition par l'université de Carolina et accessibles à travers la plateforme Google Earth Engine couvrant les trente-deux (32) dernières années ont été analysées



Les données montrent que pour toutes les trois régions, la répartition de la durée des précipitations obéit bien au découpage en zones agro-écologiques présentées dans le pays. La bande sud de Tillabéri par exemple autour de Say qui correspondrait à la zone Soudanienne est beaucoup plus arrosée que les autres parties de la région et présenterait des périodes de pluies continues qui vont de 4 à 6 jours consécutivement. Afin de calculer la plus longue période moyenne de jours consécutif de précipitations par an de 1990 – 2022. Les données accessibles à partir de Google Earth Engine à travers le CODE suivant ont été utilisées dans le cadre de ce travail : [Script durée des précipitations](#).

## Élévations

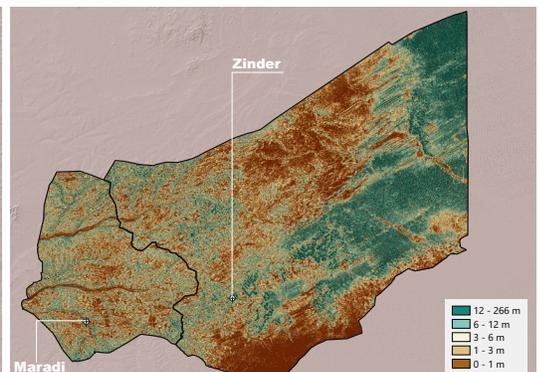
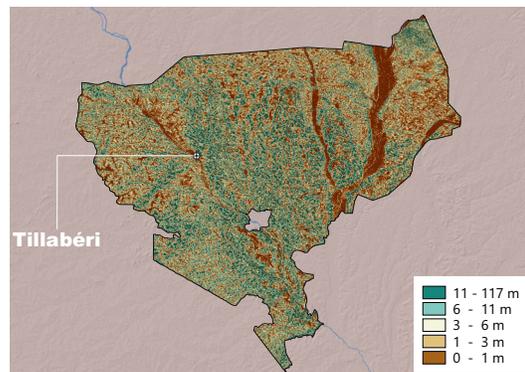
Le relief qui est caractérisé par la variation des élévations est un critère très important dans l'analyse des inondations. Celles-ci sont généralement concentrées en basse altitude car les précipitations en haute altitude s'accumulent en aval sous l'effet des forces gravitationnelles. Les zones à faible altitude comme cela est le cas dans la très grande partie des régions de cette étude sont donc des zones les plus propices aux inondations contrairement aux zones de hautes altitudes.



Les données de relief représentant le modèle numérique d'altitude de la mission SRTM à 30m de résolution, téléchargées sur [OpenDEM](#), ont été acquises pour représenter ce critère, et les scènes ont été mosaïquées pour chacune des régions. Les altitudes sont faibles et varient très peu dans l'ensemble des trois régions. Les plus faibles altitudes se retrouvant dans et autour des fleuves, les cours d'eau et les dallols (rivière fossile en langue Peulh).

## Hauteur au dessus du drain le plus proche (HAND)

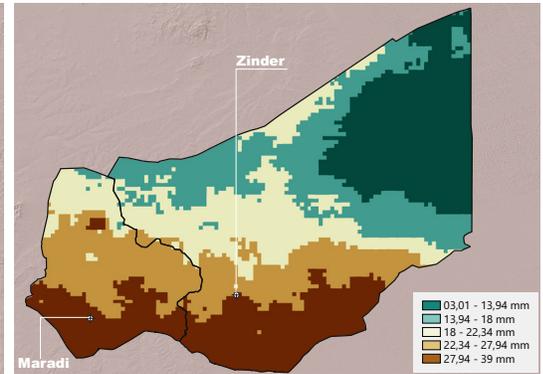
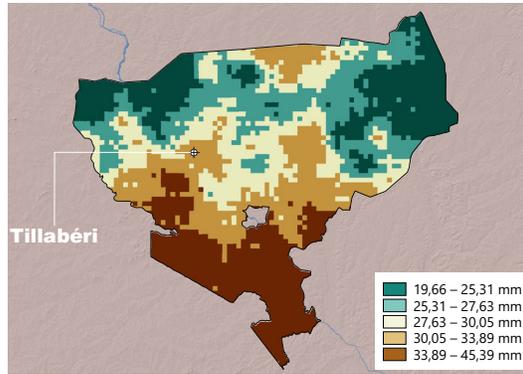
La hauteur au-dessus du drain le plus proche aussi désignée par HAND (Height Above Nearest Drainage) en anglais, indique la distance verticale entre un lieu et le cours d'eau le plus proche. Elle exprime de façon approximative les réseaux de drainage hydrologique et nécessite l'utilisation d'un modèle numérique de terrain et une représentation spatiale du réseau hydrographique d'une région. Il permet de saisir les hétérogénéités topographiques locales, ce qui est idéal pour la cartographie des risques d'inondation [18].



Le jeu de données hydrographiques mondiales MERIT Hydro de l'Université de Tokyo téléchargeable [à travers ce lien](#) a été utilisé dans le cadre de ce travail.

## Intensité des précipitations

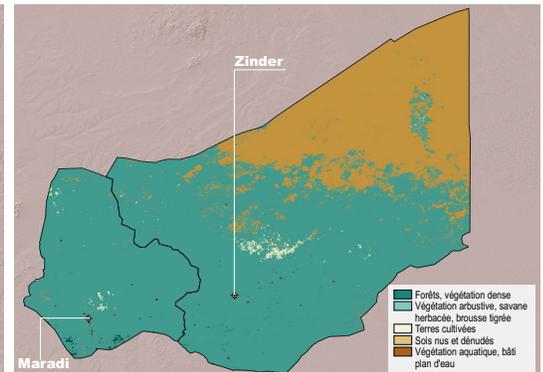
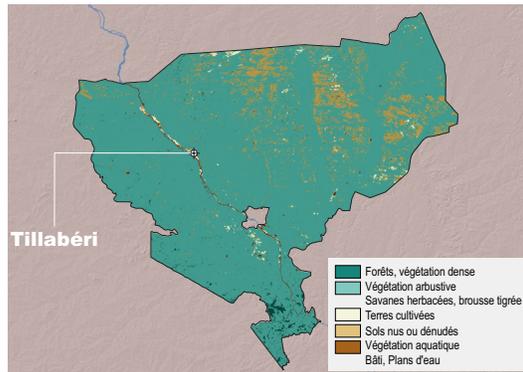
Les pluies brèves et intenses dans la région se comportent comme des pluies soutenues sur de longues périodes, ce qui entraîne des crues lentes de plusieurs jours, touchant des régions importantes. Les zones qui connaissent des précipitations intenses et fortes sont plus susceptibles d'être inondées. La base de données pluviométrique quotidienne sur les précipitations mises à disposition par l'université de Carolina et accessible à travers la plateforme Google Earth Engine a été utilisée dans le cadre de ce travail



La moyenne des précipitations annuelles maximales par an pour les 32 dernières années couvrant la période 1990 – 2022 a été préparée grâce à un script construit pour ce travail et accessible sur Google Earth Engine : [Script intensité des précipitations](#).

## Occupation du sol

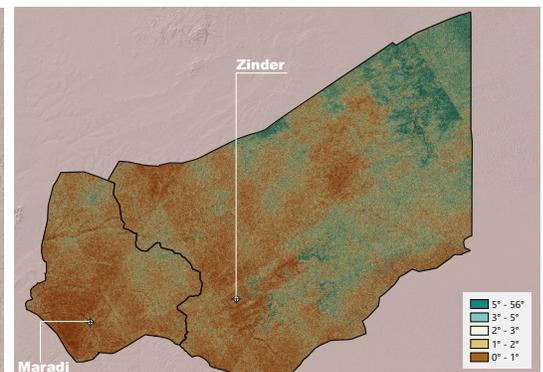
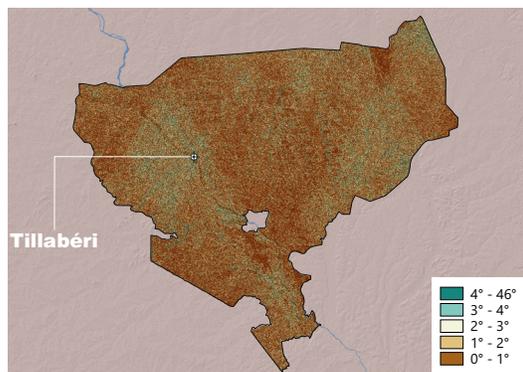
Les différentes formes d'occupation du sol ainsi que la diversité des activités réalisées dans un bassin versant jouent un rôle très important dans l'occurrence des inondations. L'urbanisation, l'agriculture et d'autres utilisations du sol à travers les activités anthropiques jouent sur les processus d'érosion et de ruissèlement en les accélérant ou en les réduisant. Par exemple, l'urbanisation dans les villes, capitales régionales, accentue l'imperméabilisation des sols et accélère le ruissèlement vers les bas-fonds inondables.



Les données d'occupation du sol à 10 m de résolution pour l'année 2022 utilisées dans ce travail ont été dérivées de l'imagerie Sentinel-2 de l'Agence Spatiale Européenne (ESA). Elles représentent un composite des prédictions de l'occupation des sols en 9 classes tout au long de l'année et qui permettent de générer un instantané représentatif de chaque année.

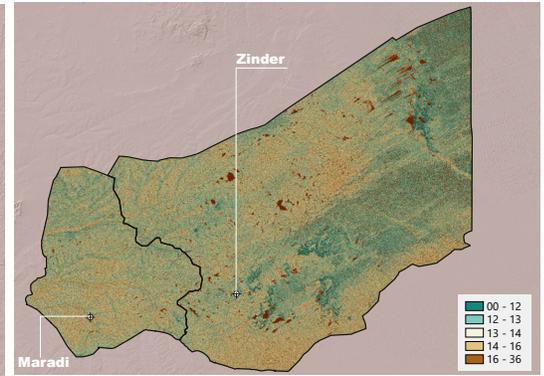
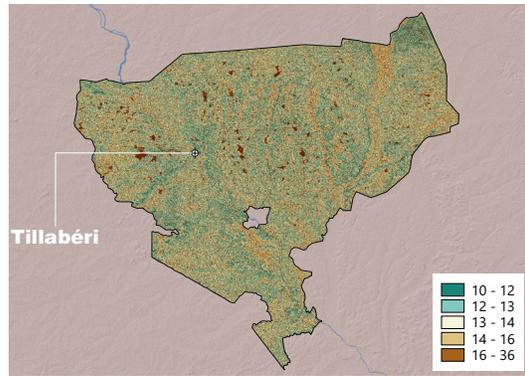
## Pentes

Les altitudes sont très basses et varient très peu dans les trois régions. Les zones à très faibles pentes comme c'est le cas presque partout dans ce cas, sont les plus exposées aux risques d'inondation car elles favorisent l'accumulation et parfois la stagnation de l'eau, tandis que les zones de fortes pentes, qui se retrouvent plus au nord-est de Zinder, sont plus raides et accélèrent le ruissèlement. Celles-ci sont donc moins susceptibles d'être inondées lors de pluies intenses car l'eau s'écoule vers le bas de la pente, où les inondations sont plus susceptibles de se produire [15]. Le facteur pente a été calculé pour l'ensemble des trois régions à partir d'un modèle numérique de terrain et à l'aide de l'outil dédié dans ArcGIS Pro. La zone à de très faibles pentes qui exprimées en degrés sont en dessous de 60°, ce qui favorise l'accumulation et la stagnation de l'eau.

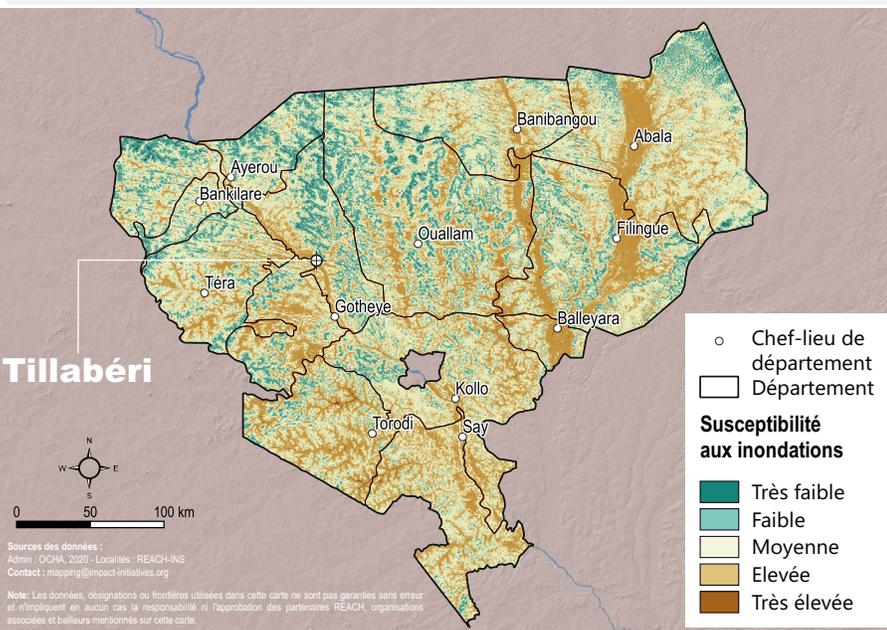


## Indice d'humidité topographique (TWI)

Cet indice hydrologique dit d'humidité topographique ou Topographic Wetness Index (TWI) en anglais, est un jeu de données matricielles de 90 m montrant les zones d'humidité accrue du sol où la surface du paysage contribuant au ruissellement est importante et où les pentes sont faibles. Cet indice développé à l'origine par Beven et Kirkby en 1979, est un modèle de ruissellement qui exploite la pente, l'élévation, l'accumulation et la direction de l'écoulement des eaux pour déterminer la capacité d'une surface à



accumuler de l'eau [19]. Il fournit une mesure des conditions d'humidité à l'échelle du bassin versant et permet d'identifier les zones potentielles d'accumulation des eaux superficielles. Il s'agit d'une fonction de la pente ( $a$ , en radian) et de la zone de contribution en Amont ( $b$ , en  $m^2$ ). Le jeu de donnée a été fourni par l'Africa Soil Information Service (AfSIS) et la NASA pour le continent africain à une résolution de 90m téléchargeable [ICI](#).

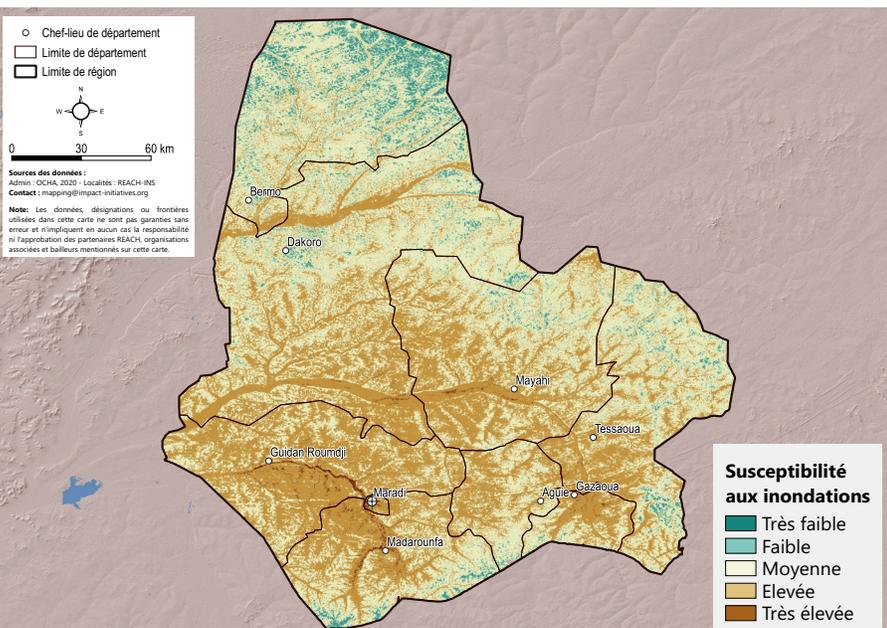


## SUSCEPTIBILITÉ D'INONDATIONS À TILLABÉRI

Le résultat présenté qui est une représentation finale des calculs effectués à partir des 10 critères préparés dans le cadre de ce travail montre la susceptibilité aux inondations dans la région de Tillabéri. Chaque pixel a une valeur allant de 1 à 5 et représente la sensibilité aux inondations à chaque endroit de la région regroupée en classes de très faible (1), faible, moyenne, élevée et très élevée (5).

Près de 27 % de la région représentant environ 24 500 km<sup>2</sup> et couvrant 76 % des chef-lieux de départements de la région se retrouvent dans cette catégorie de susceptibilité élevée. 52 % du département de Balleyara et 40 % de celui de Torodi et de Say se retrouvent dans cette catégorie. Par ordre, les communes d'Abala, Torodi, Tamou, Banibangou et Dingazi sont dans cette classe élevée de susceptibilité aux inondations.

42 % de la population de la région de Tillabéri représentant près de 1.533.920 personnes est dans la classe de susceptibilité élevée contre 6.142 en catégorie très élevée.

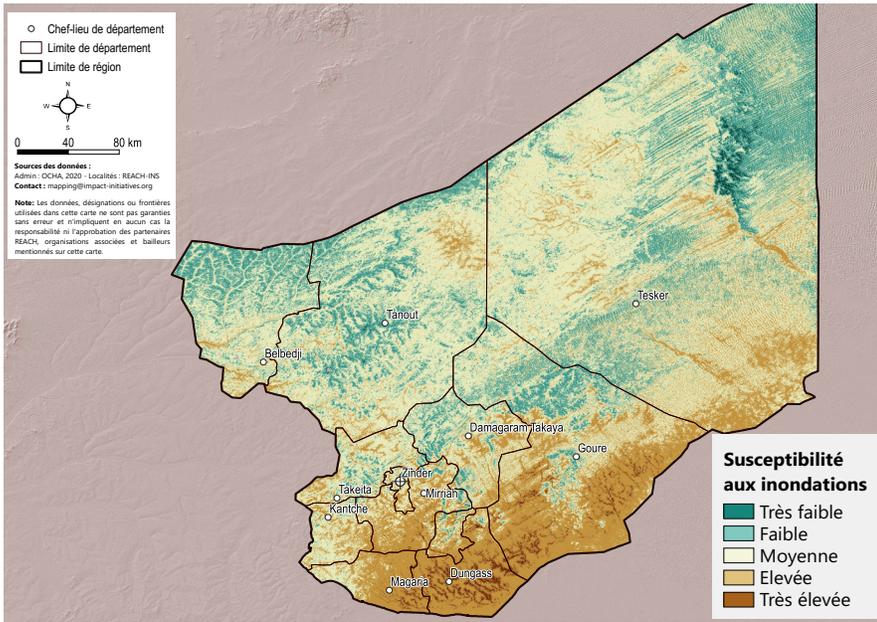


## SUSCEPTIBILITÉ D'INONDATIONS À MARADI

Les localités de la région de Maradi présentent des niveaux de susceptibilité aux inondations très importants. Elles sont pour plus de 70 % d'entre elles situées non-loin des cours d'eau et dans les vallées de ceux-ci. Le sud-ouest et le centre de la région présentent un niveau de susceptibilité très élevé.

40% de la superficie de la région représentant environ 15 .867 km<sup>2</sup> se retrouve dans la catégorie élevée, contre 53 % (21.026 km<sup>2</sup>) dans la catégorie moyenne qui n'est pas moins inquiétante. Les départements comme la Ville de Maradi (81%), Guidan Roundji (69%), Gazaoua (56%), Madarounfa (49%) et Mayahi (45%) sont en tête en termes de superficies dans la classe de susceptibilité élevée.

58% de la population (env. 2.657.448 Hbts) est dans la catégorie de risque élevé. Une addition des deux catégories d'exposition élevée et très élevée représenterait près de 60% de la population de la région (env. 2.721.043 Hbts). 88% de la population de la ville de Maradi et 76% de celle de Guidan Roundji serait dans ce cas.



## SUSCEPTIBILITÉ DES INONDATIONS À ZINDER

L'analyse des facteurs physiques (relief, le drainage des sols, précipitations, etc.) montre déjà que les départements de la bande sud de la région de Zinder présentent une susceptibilité élevée à très élevée aux inondations. Tandis que les localités situées sur les montagnes plus au nord-est et au nord-ouest, dans le département de Tesker et de Tanout, lieu de départ des eaux de ruissellements importants sont moins susceptibles à l'inondation.

22% de la région (env. 32.820 km<sup>2</sup>) se trouve dans la classe de susceptibilité élevée contre 1% dans la classe très élevée. Les départements de Dungass (80%), Magaria (70%), Mirriah (58%), Gouré (58%) sont en tête des zones les plus susceptibles aux inondations dans la région.

44% de la population de la région (env. 2.261.495 hbts) se trouve dans la classe de susceptibilité élevée contre 2 % dans la classe très élevée (env. 110.323 hbts). Dungass apparaît plus exposée avec près de 95% de sa population dans la catégorie élevée et très élevée. Magaria vient ensuite avec près de 74% dans les deux classes cumulées.

## EVALUATION DES RESULTATS

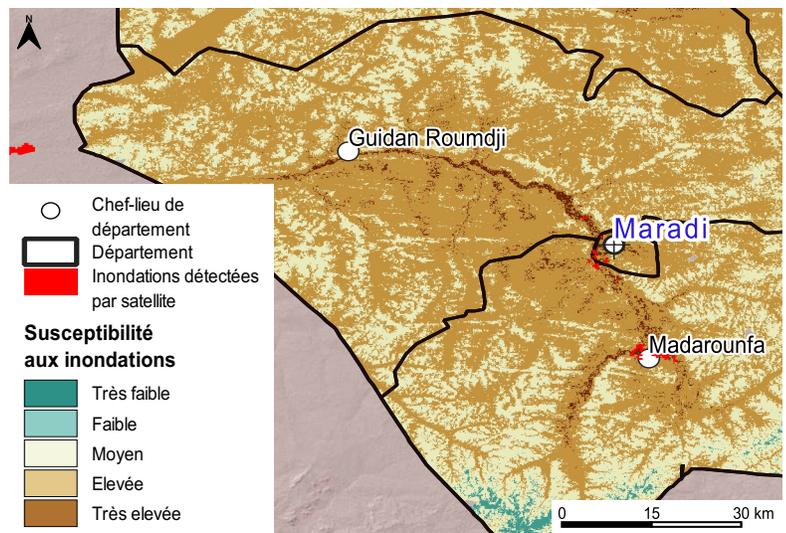
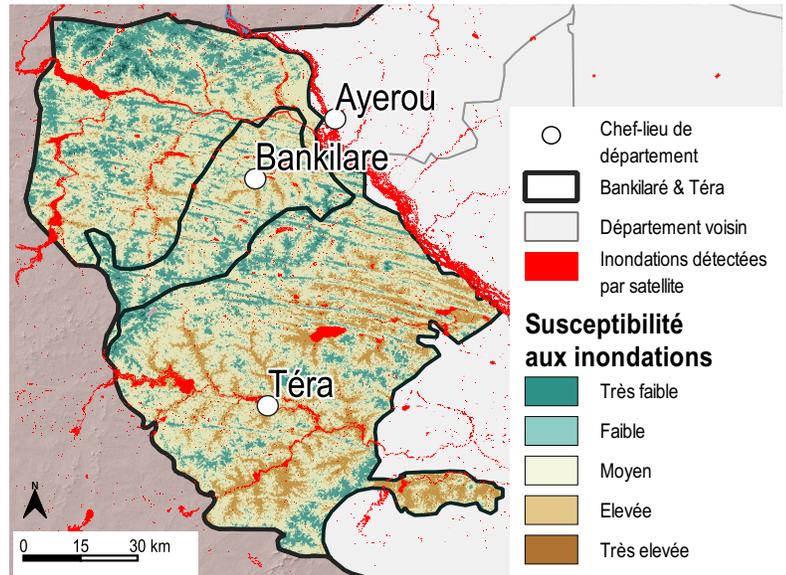
Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes servis des données produites par UNOSAT sur certaines parties du pays lors des inondations passées dans le pays (2021-2022) pour évaluer nos résultats respectifs à l'échelle de chaque région. La comparaison a consisté à superposer les données de trois périodes d'inondations majeures pour évaluer si celles-ci correspondaient aux mêmes zones que nous avons définies comme à forte susceptibilité (élevée ou très élevée).

Les données d'inondations de trois périodes ont été utilisées : les inondations extraites des images de NOAA avec l'instrument VIIRS entre le 02.08.2021 et le 05.09.2021, le 03.09.2021 et le 07.09.2021, et sentinel du 19.08.2022. Les données se sont vérifiées sur les inondations fluviales liées au fleuve Niger, ainsi qu'à l'intérieur du pays dans les départements de la région comme sur l'extrait présenté ici.

La catégorie de susceptibilité des communes (Simiri, Dessa, etc.) et quelques localités de la région de Tillabéri déterminée dans le cadre de cette analyse correspond au niveau de sévérité défini par les données du ministère de l'action humanitaire et la gestion des catastrophes (MAH/GC) et les partenaires humanitaires tels que OCHA sur les inondations de 2022 [8]. Les données d'occurrence d'inondations dans les communes des régions de Maradi et de Zinder depuis les quatre dernières années traduisent une concordance dans les définitions de catégories de cette analyse.

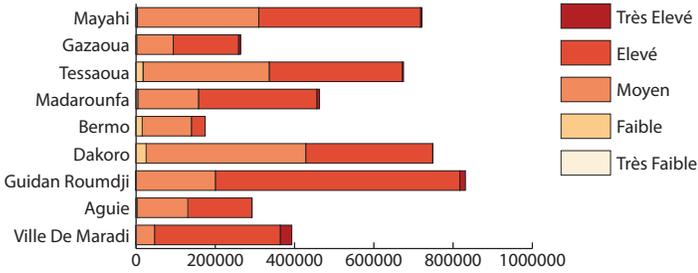
La projection des données d'inondations des récentes années dans les communes ayant subi les effets néfastes des inondations comme Guidan sory, Tessaoua, Sabon Machi, Mayahi, Madarounfa en fonction de leur disponibilité et de leur ampleur coïncident avec la catégorie élevée et très élevée définie dans le cadre de ce travail.

Nous n'avons pas pu comparer ces résultats avec les bases de données sur les retours d'inondations. Le modèle de susceptibilité développé dans ce travail a pu être testé sur les premières données d'inondations de cette année avec de très bons résultats en termes d'unités administratives touchées, de localités déjà sinistrées, d'estimations du nombre de personnes ou de ménages sinistrés, etc.).

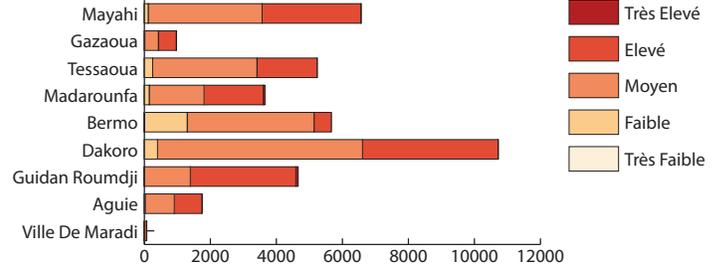


## SUSCEPTIBILITÉ AUX INONDATIONS DANS LES DEPARTEMENTS DE MARADI (Surfaces et populations)

Population (en nombre d'habitants)



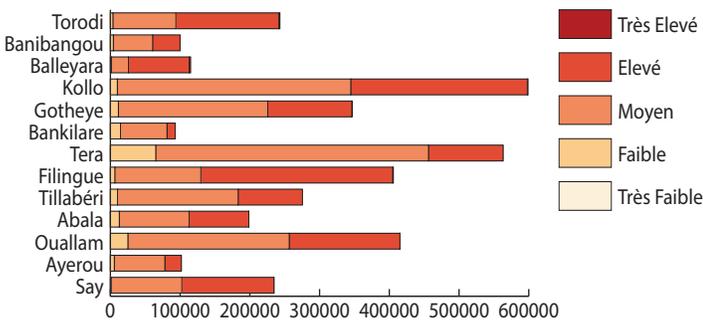
Surface par classe de susceptibilité (en km2)



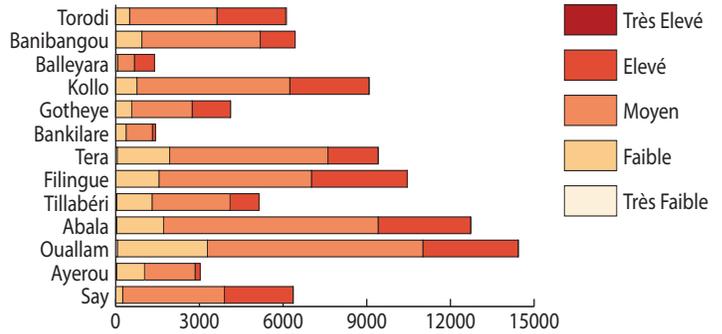
Le département de Guidan Roundji a quatre communes avec chacune plus de 100.000 personnes exposées dans la catégorie de susceptibilité élevée aux inondations : Guidan Roundji (100.299), Chadakori (117.164), Guidan Sori (110.838) et Tibiri (185.000). Maradi III a près de 18.378 personnes à risque dans la classe de susceptibilité très élevée aux inondations sur seulement 7% de son territoire contre 141.601 habitants dans la classe de susceptibilité élevée sur 82% du territoire. La région de Maradi présente globalement une susceptibilité plus élevée aux inondations que les deux autres régions.

## SUSCEPTIBILITÉ AUX INONDATIONS DANS LES DEPARTEMENTS DE TILLABERI (Surfaces et populations)

Population (en nombre d'habitants)



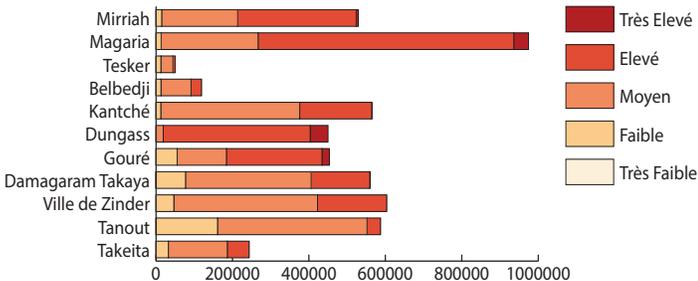
Surface par classe de susceptibilité (en km2)



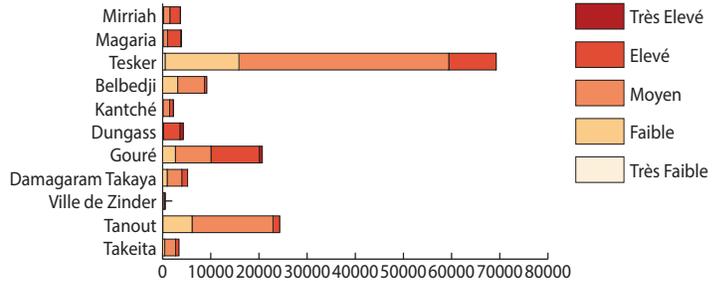
Trois types d'inondations s'observent généralement dans la région de Tillabéri, comme dans la région voisine de Dosso [20] : le premier étant fluvial lié au fleuve Niger comme par exemple dans les communes de Déssa, Simiri, Kourtaye, Karma, Kollo, Sinder, Ayerou, etc. Ensuite, pluviale due au ruissellement des eaux de pluies et à leur évacuation insuffisante (Tillabéri, Gourouol, Banibangou etc.), et, enfin suite à la remontée des eaux à travers les nappes alluviales des points bas par effet de siphon [20] (Balleyara, Filingué, etc.). Les départements de Filingué (275.000 habitants), Kollo (253.000), Ouallam (158.000), Torodi (147.000) et Say (131.951) concentrent un plus grand nombre de personnes exposées à un fort risque d'inondation.

## SUSCEPTIBILITÉ AUX INONDATIONS DANS LES DEPARTEMENTS DE ZINDER (Surfaces et populations)

Population (en nombre d'habitants)



Surface par classe de susceptibilité (en km2)



Plusieurs départements surtout dans la partie sud de la région de Zinder, le long de la frontière avec le Nigeria présentent une susceptibilité élevée à très élevée aux inondations. Magaria vient en tête avec près de 670.000 personnes dans la catégorie de susceptibilité élevée sur 69% du territoire du département contre 38.634 habitants en situation de susceptibilité très élevée installés sur 4% de la superficie du département. Les départements de Dungass (384.532), Mirriah (310.000), Gouré (250.139), Kantché (188.427) suivent avec des chiffres tous aussi élevés. Par contre les départements de Tesker, Tanout, Belbedji dans la partie nord et nord-ouest de la région sont plus dans la catégorie de susceptibilité faible à très faible et subissent plus les inondations pluviales.

## CONCLUSION

Les populations cherchent toujours à s'installer là où les terres sont fertiles et l'eau disponible tout au long de l'année. De très nombreuses localités dans les trois régions d'études sont ainsi situées à quelques mètres du fleuve niger ou près des grands cours d'eau saisonniers (le Goulbin Maradi, le Goulbin Kaba par exemple). Ces communes et localités riveraines du fleuve, connaissent des évènements dus à la crue du fleuve Niger, ou aux inondations soudaines des dallols liées aux fortes pluies. Cette analyse à partir de la combinaison de différents facteurs physiques extraits des images satellitaires grâce aux techniques de télédétection aura permis de déterminer la susceptibilité des différentes unités administratives des régions de Tillabéri, Maradi et Zinder aux inondations. En ajoutant les populations à ces premiers résultats, nous avons pu estimer le nombre de personnes exposées par catégorie de susceptibilité au risque d'inondation par département et par commune.

- **42%** de la population de la région de Tillabéri, environ 1.540.062 habitants, vivant sur 27% (env. 24.480 km<sup>2</sup>) du territoire est en risque élevé et très élevé aux inondations. Les localités des départements de Balléyara, Filingué, Torodi, Say, étant les plus exposées.
- **59%** de la population de la région de Maradi représentant environ 2.721.043 habitants, exposée à un risque élevé (59%) et très élevé (1%) aux inondations vit sur 40% de la région (16.042 km<sup>2</sup>) et concentrée dans les centres urbains importants de la région (Maradi, Tibiri, Tessaoua, Guidan Roundji, etc).
- **46%** de la population de la région de Zinder serait exposée à un risque élevé (44%) et très élevé (2%) d'inondation. Toute cette population très concentrée sur seulement 23% (34.375 km<sup>2</sup>) de la superficie de la région se retrouve dans les centres urbains importants de la région. Les communes des départements de Dungass, Magaria, Mirriah, Gouré étant les plus exposées.

## LIMITATIONS

L'analyse dans le cadre de ce travail s'est appuyée seulement sur des facteurs physiques à travers l'utilisation des techniques de télédétection et des images satellitaires publiques et gratuites pour indiquer les zones à risques d'inondations dans les régions de Tillabéri, Maradi et Zinder. Elle a permis de mettre en évidence les zones qui sont les plus susceptibles de subir des inondations et qui risquent d'être plus gravement touchées en cas d'inondation. Ce travail n'a pas été validé par des modèles hydrologiques et doivent faire l'objet d'évaluation hydrologique approfondie avant que des mesures préventives impliquant la construction des infrastructures ne soient décidées.

En consultant ces résultats pour la planification stratégique humanitaire, bien vouloir noter que cette analyse n'a pas été vérifiée par les experts en hydrologie ni par des collectes de terrain. Ce travail reste cependant une bonne approche pour estimer la susceptibilité d'inondation, mais des analyses plus détaillées sont nécessaires pour améliorer la précision des résultats d'un tel travail. Les données, désignations et limites contenues dans ces images ne sont pas garanties sans erreur et n'impliquent pas l'acceptation par les partenaires REACH, associés, donateurs référencés.

## REFÉRENCES

- [1] Tarchiani V., Fiorillo E., Hassimou I., Katiellou L.G., Tiepolo M., Sita A., Mahamadou D.N., Housseini Ibrahim M., Tankari A.M., Liman Diallo A., (2021) Les Inondations au Niger 1998-2020. Projet ANADIA2.0, Rapport 27, 2021. DOI: 10.13140/RG.2.2.33927.52645
- [2] Abdoul Karim AMADOU MALAM, et Al. (2021), Risques d'inondations avant et après le programme d'aménagement urbain « Zinder Saboua » dans les quartiers Sabon Gari, Nassarawa Idi et Yadakondagué de la ville de Zinder au Niger, In Rev. Ivoir. Sci. Technol., 38 (2021) 253 - 280 ISSN 1813-3290, <http://www.revist.ci>

- [3] Ozer, Pierre & Manzo, Ousmane & Adamou Didier, Tidjani & Djaby, Bakary & De Longueville, Florence. (2017). Évolution récente des extrêmes pluviométriques au Niger (1950-2014). *Geo-Eco-Trop.* 3. 375-383. <https://www.researchgate.net/publication/323200786>
- [4] Mariam Z., et Al. Climate change exacerbated heavy rainfall leading to large scale flooding in highly vulnerable communities in West Africa, <https://www.worldweatherattribution.org/climate-change-exacerbated-heavy-rainfall-leading-to-large-scale-flooding-in-highly-vulnerable-communities-in-west-africa/>
- [5] Descroix, L., Guichard, F., Grippa, M., Lambert, L., Panthou, J., Mahe, G., Gal, L., Dardel, C., Quantin, G., Kergoat, L., et al. (2018), «Surface hydrology evolution in the Sahelo-Sudanian stripe: An updated review», *Water*, 10, 748.
- [6] Mahe G., Paturel J.E., Servat E., Conway D., Dezetter A. (2005), «The impact of land use change on soil water holding capacity and river flow modelling in the Nakambe River, Burkina-Faso», *J Hydrol*, 300, 33–43.
- [7] OCHA, Situation des inondations en 2022. [https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/documents/files/ner\\_inondations\\_details\\_fr\\_2022.pdf](https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/documents/files/ner_inondations_details_fr_2022.pdf)
- [8] OCHA, Situation Report, les inondations au Niger en 2022 - Besoins et réponses - Situations au 31 décembre 2022, | Mai 2023, mis en ligne le 19 Mai 2023, consulté le 15 juin 2023. URL : <https://reliefweb.int/report/niger/les-inondations-au-niger-en-2022-besoins-et-reponses-situation-au-31-decembre-2022>
- [9] Ozer. P., Perrin, D., 2014, Eau et changement climatique. Tendances et perceptions en Afrique de l'Ouest, In Ballouche, Aziz ; Taïbi, Nuscia Aude (Eds.) Eau, milieu et aménagement. Une recherche au services des territoires. <https://hdl.handle.net/2268/156390>
- [10] Tarhule A., 2005, Damaging rainfall and floodings: the other Sahel hazards. *Climatic Change*, 72: 355-377. doi: 10.1007/s10584-005-6792-4.
- [11] B. N. Nka et al., « Trends in floods in West Africa : analysis based on 11 catchments in the region », CLACSO, Repositorio Digital, ID : 10670/1.6x3xf
- [12] Amogu O., Descroix L., YÉro K. S., Le Breton E., Mamadou I., Ali A., Vischel T., Bader J.-C., Bouzou Moussa I. B., Gautier E., Boubkraoui S., Belleudy P., 2010, Increasing River Flows in the Sahel? *Water*, 2 (2): 170-199.
- [13] Saaty, T.L. (2008) Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences*, 1, 83. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>.
- [14] UNISDR. 2019. Terminologie pour la prévention des risques de catastrophe, [www.unisdr.org/publications](http://www.unisdr.org/publications)
- [15] Samanta, S., Pal, D.K. & Palsamanta, B. Flood susceptibility analysis through remote sensing, GIS and frequency ratio model. *Appl Water Sci* 8, 66 (2018). <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0710-1>
- [16] Omid Rahmati, Hossein Zeinivand & Mosa Besharat (2016) Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7:3, 1000-1017, DOI: 10.1080/19475705.2015.1045043
- [17] Ross, C.W., L. Prihodko, J. Anchang, S. Kumar, W. Ji, and N.P. Hanan. 2018. Global Hydrologic Soil Groups (HYSOGs250m) for Curve Number-Based Runoff Modeling. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAAC/1566>
- [18] Donchyts, Gennadiy & Winsemius, Hessel & Schellekens, Jaap & Erickson, Tyler & Gao, Hongkai & Savenije, Hubert & van de Giesen, Nick. (2016). Global 30m Height Above the Nearest Drainage. 10.13140/RG.2.1.3956.8880.

### À PROPOS DE REACH

REACH est une initiative conjointe qui facilite le développement d'outils et de produits d'information qui renforcent la capacité des acteurs de l'aide à prendre des décisions fondées sur des preuves dans des contextes d'urgence, de redressement et de développement. Ce faisant, REACH contribue à garantir que les communautés touchées par des situations d'urgence reçoivent le soutien dont elles ont besoin. Toutes les activités de REACH sont menées en soutien et dans le cadre des mécanismes de coordination de l'aide inter-agences. Pour plus d'informations, veuillez consulter notre site web à l'adresse suivante [www.reach-initiative.org](http://www.reach-initiative.org), contactez-nous directement à l'adresse suivante : [mapping@impact-initiatives.org](mailto:mapping@impact-initiatives.org) ou suivez-nous sur Twitter à l'adresse [@REACH\\_info](https://twitter.com/REACH_info).

- [19] De Risi, R., Jalayer, F., De Paola, F. et al. Delineation of flooding risk hotspots based on digital elevation model, calculated and historical flooding extents: the case of Ouagadougou. *Stoch Environ Res Risk Assess* 32, 1545–1559 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00477-017-1450-8>
- [20] Tiepolo, M., M. Ali, M. Bacci, S. Braccio, H. Issa, A.Z. Oumarou. 2018. Analyse du risque d'inondation dans les communes de la Région de Dosso au Niger, 1998-2016. Projet ANADIA 2.0, rapport n. 5 : pp. 35.
- [21] Omid Rahmati, Hossein Zeinivand & Mosa Besharat (2016) Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7:3, 1000-1017, DOI: 10.1080/19475705.2015.1045043

**FINANCE PAR :**
