

RÉPUBLIQUE CENTRAFRICAINE SUSCEPTIBILITÉ ET RISQUE D'INONDATIONS

MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE

INTRODUCTION

La saison des pluies en République Centrafricaine (RCA) est intense en raison du climat tropical de ce pays équatorial. Ces pluies ont historiquement causé la destruction d'abris, l'obstruction des voies de transport et une incidence accrue de maladies comme le choléra et la malaria. Malheureusement, en raison du changement climatique, les inondations devraient augmenter en fréquence, en ampleur et en saisonnalité à l'échelle mondiale [9]. Les inondations sont parmi les catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus coûteuses en termes de pertes humaines et économiques [10]. L'atténuation des effets des catastrophes naturelles sur les populations vulnérables devient de plus en plus pertinente dans les interventions humanitaires en raison de la crise climatique imminente, en particulier dans des pays comme la RCA où les moyens de subsistance dépendent largement de l'agriculture de subsistance.

Cette analyse à l'échelle du pays vise à fournir aux acteurs humanitaires une meilleure compréhension de l'exposition des populations vulnérables aux inondations en RCA. Bien que cette analyse ne présente pas des prévisions hydrologiques complètes, elle peut servir à informer la programmation humanitaire relative au risque d'inondations et à la préparation aux inondations.

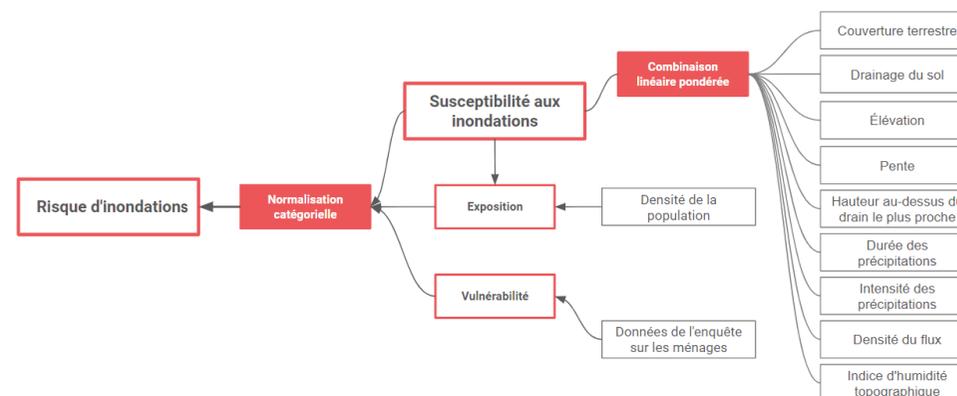
JUSTIFICATION

L'objectif de cette analyse est d'identifier les zones de la RCA qui sont les plus et les moins susceptibles d'être inondées. Bien qu'il existe des cartes sur l'étendue et l'impact des inondations passées dans le pays, aucune ne met en évidence la vulnérabilité aux inondations futures au niveau de détail de cette analyse et qui utilise l'approche méthodologique présentée ici.

[UNEP GRID](#), [GLOFAS Forecasting](#) et [ThinkHazard!](#) disposent d'informations sur le potentiel d'inondation au niveau mondial. Ces ressources évaluent respectivement les inondations fluviales potentielles et non les crues soudaines, demeurent complexes et ne fournissent pas de détails granulaires au niveau des sous-préfectures.

L'analyse utilise des ensembles de données gratuites et ouvertes pour évaluer la sensibilité aux inondations et des données d'enquête *in situ* pour estimer le risque d'inondations pour les populations vulnérables.

FLUX DE TRAVAIL



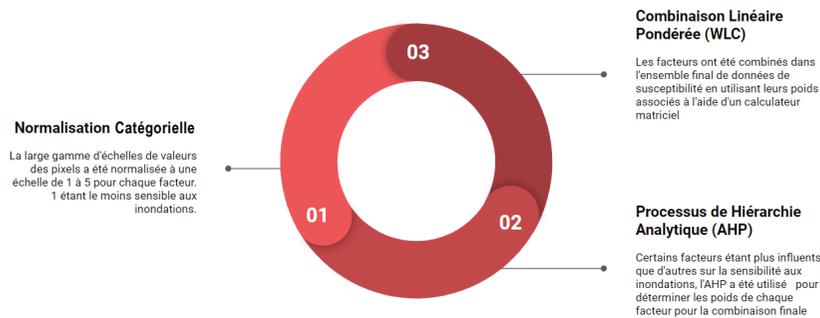
BASES DE DONNÉES

Sources	Variable(s)	Résolution	Période
Africa SoilGrids	Drainage du sol	~250m	1960 - 2016
CHIRPS Daily: Infrared Precipitation w/ Station Data v2	Intensité des précipitations, durée des précipitations	5.4km	1990-2020
World Wildlife Fund (WWF) HydroRivers v1.0	Densité de flux	vecteur	2019
European Space Agency (ESA) Climate Change Initiative (CCI) Africa	Couverture terrestre	~20m	2016
Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) Advanced Land Observing Satellite (ALOS) Digital Surface Model (DSM)	Élévation, pente	~30m	2019
The University of Tokyo - MERIT Hydro	Hauteur au-dessus du drain le plus proche (HAND)	~90m	2019
Africa Soil Information Service (AfsIS)	Indice d'humidité topographique (TWI)	~90m	2010-2017
Facebook Central African Republic: High Resolution Population Density	Risque - Exposition	20m	2018
REACH Initiative République Centrafricaine - Evaluation multi-sectorielle des besoins (MSNA)	Risque - Vulnérabilité		2019
European Joint Research Centre and Global Flood Awareness System Flood Hazard	Évaluation de l'exactitude		2016
United Nations Environment Programme- Global Assessment Report Flood Hazard	Évaluation de l'exactitude		2015

SUSCEPTIBILITÉ AUX INONDATIONS

La cartographie de la vulnérabilité aux inondations est influencée par de multiples paramètres physiques qui contribuent collectivement à déterminer la probabilité des inondations. En utilisant la localisation géographique comme point commun entre les ensembles de données, les plateformes de systèmes d'information géographique (SIG) permettent de combiner les facteurs d'inondation contributifs en un seul ensemble de données représentant la susceptibilité dans toute la zone d'étude. Cette méthode exploite les capacités de modélisation de Google Earth Engine, ArcGIS, RStudio et QGIS pour évaluer la sensibilité aux inondations en se basant sur une variété d'images satellites et d'ensembles de données auxiliaires.

Neuf critères représentant différentes caractéristiques topographiques, physiques et hydrologiques de la région ont été utilisés. Le processus de modélisation peut être résumé en trois étapes:



NORMALISATION CATÉGORIELLE

Tous les ensembles de données d'entrée ont des échelles et des unités de mesure différentes. Afin de calculer la susceptibilité comme un score cumulé de tous les facteurs, ils ont tous été normalisés selon la même échelle. Les valeurs des pixels ont été reclassées dans la même échelle catégorielle de un à cinq - un étant le plus faible, et cinq étant le plus susceptible d'être inondé. Cela a été fait en utilisant la méthode de classification des ruptures naturelles pour les ensembles de données continues. Pour la couverture terrestre, les classes ont été déterminées en fonction du degré d'imperméabilité [11]. Le drainage des sols a été classé en fonction de la qualité de drainage désignée.

FACTEURS UTILISÉS

- Élévation (moyenne annuelle maximale)
- Pente
- Indice d'humidité topographique (TWI)
- Intensité des précipitations (moyenne annuelle maximale)
- Durée des précipitations
- Densité de drainage
- Hauteur au-dessus du drain le plus proche (HAND)
- Occupation du sol
- Drainage du sol

PROCESSUS DE HIÉRARCHIE ANALYTIQUE (AHP)

La combinaison linéaire pondérée (WLC) utilisant l'AHP fournit une méthode cohérente de jugement de divers critères, réduisant le biais par la normalisation du poids. "L'AHP utilise des structures hiérarchiques pour représenter un problème et, ensuite, développer des priorités pour des alternatives basées sur le jugement de l'utilisateur sur la base de comparaisons par paires. Les critères d'évaluation et leurs poids doivent être déterminés en fonction de leur importance" [9]. Le tableau de comparaison par paires a été utilisé pour obtenir les poids, qui ont été calculés sur la base de classements déterminés par l'influence relative de chaque facteur sur les inondations. Afin de construire le tableau de comparaison par paires, des articles universitaires qui ont appliqué la technique AHP pour les inondations ont été référencés. Cette approche a été utilisée de manière à ce que la hiérarchie et l'influence relative des critères correspondent à celles des avis d'experts.

Tableau de comparaison par paires

	TWI	Élévation	Pente	HAND	Drainage du sol	Intensité des précipitations	Durée des précipitations	Couverture terrestre	Densité de drainage	Poids final
TWI	1	1.00	2.00	0.75	3.00	2.00	2.00	1.33	1.00	0.133
Élévation	1.00	1	3.00	0.75	3.00	3.00	3.00	5.00	1.00	0.177
Pente	0.50	0.33	1	0.50	3.00	2.00	3.00	2.00	0.33	0.088
HAND	1.33	1.33	2.00	1	4.00	5.00	5.00	4.00	3.00	0.236
Drainage du sol	0.33	0.33	0.33	0.25	1	0.50	0.50	1.00	0.33	0.043
Intensité des précipitations	0.50	0.33	0.50	0.20	2.00	1	1.50	0.50	1.00	0.066
Durée des précipitations	0.50	0.33	0.50	0.20	0.67	1.00	1	0.50	1.00	0.055
Couverture terrestre	0.75	0.20	1.00	0.25	1.00	2.00	2.00	1	0.33	0.072
Densité de drainage	1.00	1.00	3.00	0.33	3.00	1.00	1.00	3.00	1	0.129

COMBINAISON LINÉAIRE PONDÉRÉE

La WLC a été adoptée pour produire la carte finale de susceptibilité aux inondations. Cette méthode a utilisé l'outil ArcGIS Raster Calculator pour agréger toutes les trames de facteurs pondérés afin de produire le résultat final.

$$\text{Susceptibilité d'inondation} = (\text{Couverture terrestre} * 0.072) + (\text{Drainage du sol} * 0.043) + (\text{Élévation} * 0.177) + (\text{Pente} * 0.087) + (\text{TWI} * 0.133) + (\text{HAND} * 0.236) + (\text{Densité de drainage} * 0.129) + (\text{Durée des précipitations} * 0.055) + (\text{Intensité des précipitations} * 0.066)$$

En raison de limitations techniques, le produit final de cette analyse est une carte représentant la susceptibilité aux inondations plutôt que le risque. Le risque implique une base d'analyse conséquente, et peut être défini comme la délimitation des "zones sous conséquences potentielles où les conséquences peuvent être celles affectant la vie humaine, ayant des effets économiques ou provoquant des changements environnementaux par exemple" [2]. Avec une telle définition, le résultat final de cette analyse, qui dépend de facteurs naturels (plutôt que sociaux ou économiques), sera indicatif de la susceptibilité aux inondations plutôt que du risque.

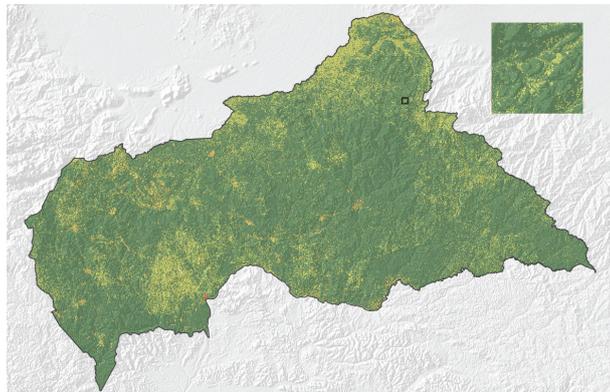
TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNÉES

Neuf critères ont été pris en compte dans cette analyse de susceptibilité. Leurs ensembles de données étaient soit facilement disponibles pour le téléchargement en ligne, soit dérivés d'une analyse spatiale à partir d'ensembles de données existants et d'images satellites. Le traitement des données a été effectué principalement dans Google Earth Engine (GEE) et sur ArcGIS Pro. Après le traitement de tous les ensembles de données individuellement, ils ont été combinés en utilisant la technique de WLC dans ArcGIS Pro. Le raisonnement et le traitement de chaque facteur sont détaillés ici.

OCCUPATION DU SOL

Ce facteur est important lorsqu'on considère le ruissellement, car la composition du paysage, qu'il soit naturel ou artificiel, influe sur l'infiltration [1]. L'occupation du sol peut également influencer directement ou indirectement l'évapotranspiration et le ruissellement de surface [2].

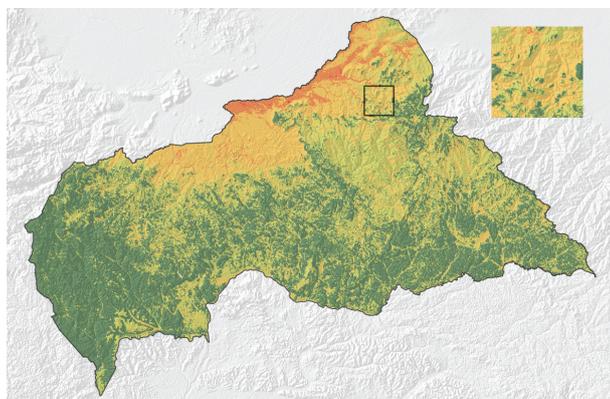
Un ensemble de données sur la couverture des terres africaines à une résolution de 20 m en 2016, produit par l'Agence spatiale européenne (ESA), a été utilisé.



DRAINAGE DU SOL

La qualité du sol influence le potentiel de ruissellement par le biais des taux d'infiltration, et donc l'ampleur de l'inondation résultant de pluies intenses.

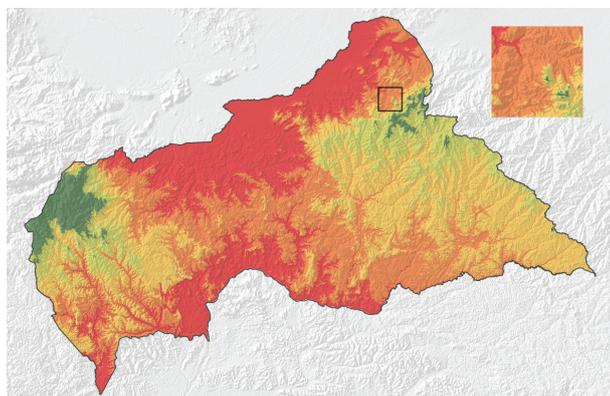
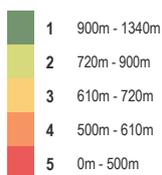
L'ensemble de données sur le drainage des sols de l'International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) classe le drainage en fonction de la matière organique du sol, de la texture et de la structure du sol à l'aide d'un algorithme d'apprentissage automatique [3].



ÉLÉVATION

Les inondations sont généralement concentrées en basse altitude car les précipitations en haute altitude s'accumulent en aval en raison des forces gravitationnelles.

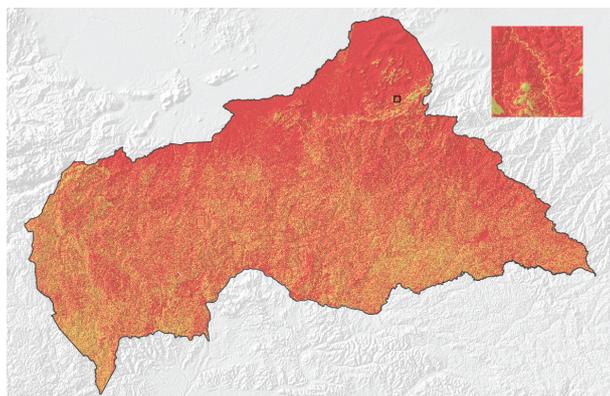
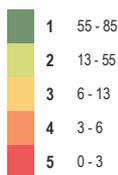
Le modèle numérique d'élévation (DEM) ALOS World 3D-30m a été acquis pour représenter ce critère - fourni par Google Earth Engine.



PENTE

Les inondations causées par des précipitations extraordinaires sont le résultat de l'accumulation de ruissellement. Les pentes raides sont moins susceptibles d'être inondées lors de pluies intenses car l'eau s'écoule en aval, où les inondations sont plus susceptibles de se produire dans les zones planes [4].

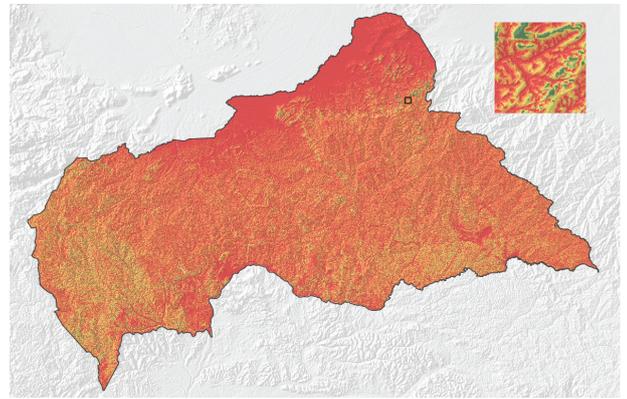
Ce facteur de pente a été calculé en degrés à partir du DEM, dans le logiciel QGIS.



HAUTEUR AU-DESSUS DU DRAIN LE PLUS PROCHE (HAND)

Il s'agit d'une approximation des réseaux de drainage hydrologique, incorporant la topographie et les potentiels gravitationnels d'une manière qui normalise les hauteurs de terrain. Il permet de saisir les hétérogénéités topographiques locales, ce qui est fondamental pour la cartographie des risques d'inondation [5]. Il est plus représentatif des risques d'inondation fluviale que des risques d'inondation pluviale isolée du point de vue hydrologique [6].

Ces données ont été mises à disposition par le jeu de données hydrographiques mondiales MERIT Hydro de l'Université de Tokyo.

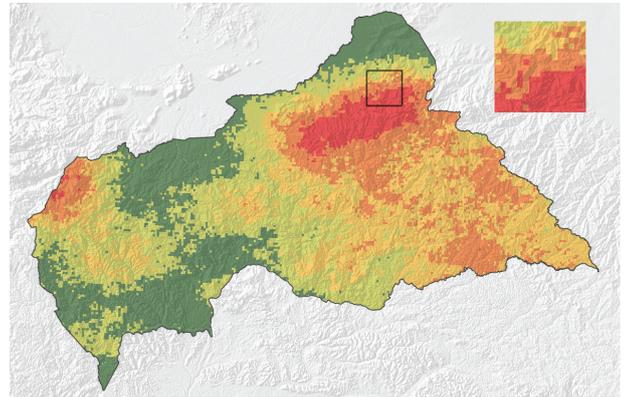


DURÉE DES PRÉCIPITATIONS

Les précipitations prolongées sont une caractéristique associée aux inondations. Les régions connaissant de longues périodes de pluie sont plus susceptibles d'être inondées.

Les données quotidiennes sur les précipitations disponibles sur GEE ont été analysées au sein de la plateforme de cloud computing GEE afin de calculer la plus longue période moyenne de jours consécutifs de précipitations par an de 1984 à 2017.

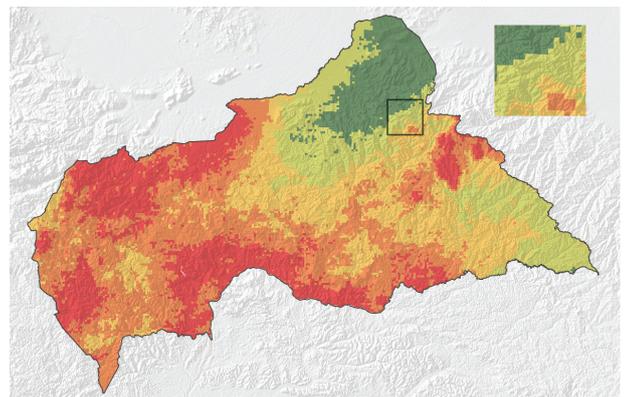
[Code*](#)



INTENSITÉ DES PRÉCIPITATIONS

Les inondations sont souvent causées par des précipitations intenses. Les régions qui connaissent de fortes précipitations sont plus susceptibles d'être inondées.

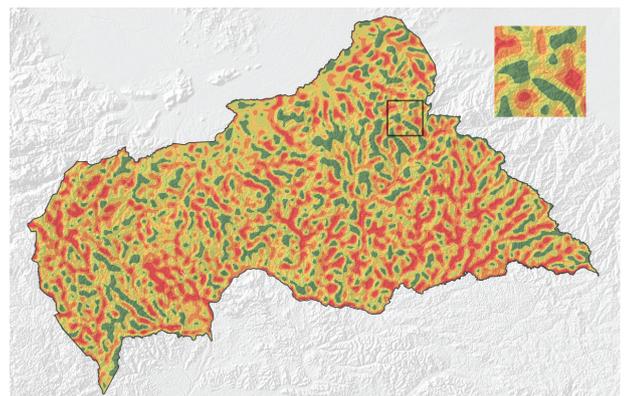
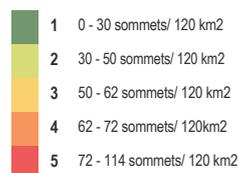
Les données quotidiennes sur les précipitations disponibles sur GEE ont été analysées dans le cadre de la plateforme de calcul des nuages GEE afin de calculer la moyenne des précipitations annuelles maximales par an de 1984 à 2018. [Code*](#)



DENSITÉ DE DRAINAGE

Les plaines d'inondation, zones de basse altitude situées près des berges des rivières, sont susceptibles d'être inondées. 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 [2].

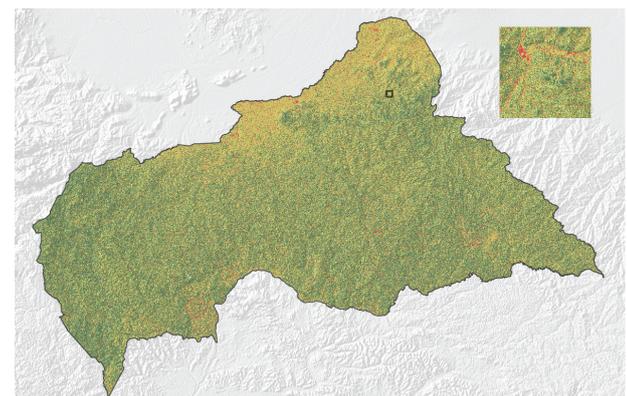
Le réseau de drainage du jeu de données HydroSheds a été utilisé pour calculer la densité de drainage en fonction du nombre de sommets en utilisant une heat map dans QGIS.



INDICE D'HUMIDITÉ TOPOGRAPHIQUE (TWI)

Le TWI est un modèle de ruissellement qui exploite la pente, l'élévation, l'accumulation du flux et la direction du flux pour déterminer la capacité d'une surface terrestre à accumuler de l'eau [7]. Il tient compte de la probabilité de crues éclair localisées [8].

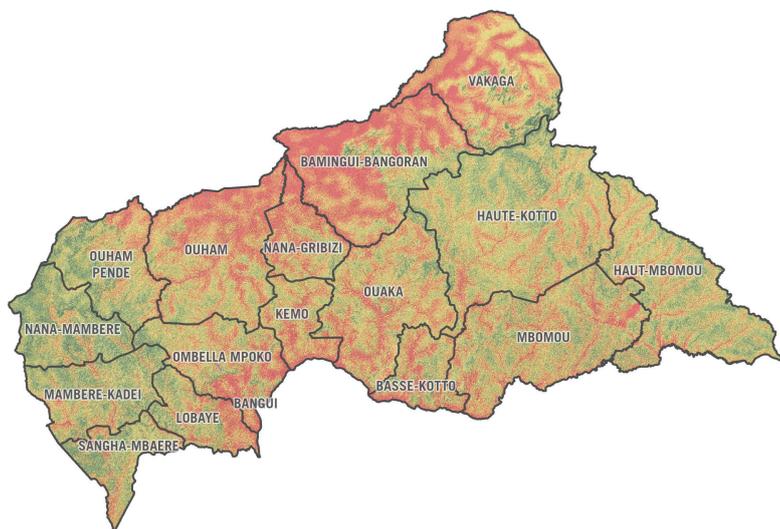
Le jeu de données a été fourni par l'Africa Soil Information Service (AfSIS) et la National Aeronautics and Space Association pour le continent africain à une résolution de 90m.



RÉSULTAT

Le résultat final des calculs est une image où chaque pixel a des valeurs continues allant de 1 à 5 comme représentation de la susceptibilité aux inondations à chaque endroit. La sortie est fortement influencée par les poids, mais les valeurs combinées conservent des informations sur le degré de susceptibilité relative.

Les classes ont été redéfinies en classes d'intervalles égaux désignant les pixels comme représentant une sensibilité aux inondations très faible, faible, moyen, élevée ou très élevée.



RISQUE D'INONDATION

Le risque d'inondation intègre l'analyse de l'impact humain dans cette étude qui vise à informer la préparation aux inondations. Dans le cas présent, le risque a été calculé en utilisant des mesures du risque d'inondation (sensibilité), de l'exposition et de la vulnérabilité. Cette méthode exploite l'ensemble des données sur la susceptibilité aux inondations créé dans cette analyse, les données matricielles de la population et les données de l'évaluation des besoins multisectoriels (MSNA) de REACH 2019.

$$\text{RISQUE} = \text{DANGER} + \text{EXPOSITION} + \text{VULNÉRABILITÉ}$$

DANGER

Le paramètre de risque évalue la probabilité relative qu'une inondation catastrophique se produise dans une zone donnée. La probabilité d'une inondation est fournie par notre mesure de la susceptibilité aux inondations par combinaison linéaire pondérée. L'ensemble final de données sur la sensibilité aux inondations à l'échelle nationale a été masqué pour exclure les zones inhabitées, afin de calculer le score moyen de sensibilité aux inondations par zone administrative.

EXPOSITION

Le nombre estimé de personnes qui résident dans des zones à risque d'inondation élevé ou très élevé a été utilisé comme paramètre d'exposition pour le score de risque d'inondation. L'exposition est une mesure de la prédisposition d'une zone donnée à être affectée par une inondation en raison de son emplacement [12].

VULNÉRABILITÉ

Les communautés qui ont moins de capacité à faire face et à s'adapter aux inondations catastrophiques sont considérées comme vulnérables dans notre calcul du risque d'inondation. La proportion des populations suivantes a été utilisée dans un score de vulnérabilité composite :

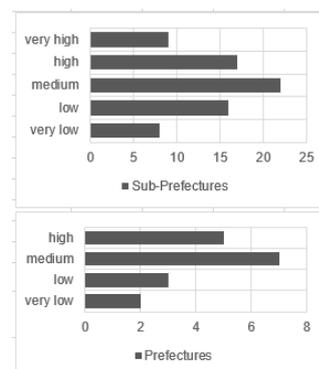
- Personnes manquant de résilience structurelle (% de ménages vivant dans un abri d'urgence/transitionnel ou sans abri)
- Personnes ayant une faible résilience financière (% de ménages dont le revenu mensuel moyen est inférieur à 50 000 XAF)
- Personnes en situation d'insécurité alimentaire (% de ménages avec un score de consommation alimentaire (FCS) inacceptable)
- Jeunes non accompagnés et séparés
- Enfants (% des enfants de moins de 18 ans)
- Personnes âgées (% des adultes de plus de 59 ans)
- Personnes handicapées (% avec un handicap mental ou physique)
- Personnes déplacées dans des sites (données du cluster Camp Coordination and Camp Management (CCCM), mars 2020)

MÉTHODES COMPOSITES

Le facteur de vulnérabilité prend en compte de nombreuses mesures des besoins et des conditions de la communauté. Les unités administratives ont été notées en fonction de leur vulnérabilité relative en prenant simplement la somme des proportions supérieures à 50% et encore une fois pour plus de 75%. Exemple : dans la préfecture de Lobaye, 63 % de la population sont des enfants (- de 18 ans), ce qui ajoute 1 au score, et la proportion de personnes ayant une faible résilience financière est de 75,3 %, donc 1 est ajouté à la proportion étant supérieure à 50 % et un autre 1 est ajouté pour être supérieur à 75 %.

Des seuils quantitatifs pour la distribution des données des facteurs de risque et d'exposition ont été utilisés pour normaliser les valeurs à un score de 1 à 4. Les scores résultants pour l'aléa de vulnérabilité et l'exposition ont ensuite été additionnés pour obtenir un score de risque composite. Les scores de risque numériques ont été convertis en cinq classes désignant les préfectures et sous-préfectures comme suit : score de risque très faible, faible, moyen, élevé, très élevé.

Voir le tableau des résultats dans l'annexe 1.



ÉVALUATION DE LA PRÉCISION

Une évaluation de la précision a été réalisée en comparant le modèle de sensibilité aux inondations avec 1) les ensembles de données mondiales sur les risques d'inondation et 2) les inondations réelles. Les résultats de cette validation révèlent que notre modèle de susceptibilité aux inondations délimite avec précision les zones qui sont plus sujettes aux inondations.

COMPARAISON GÉNÉRALE DU RISQUE D'INONDATIONS

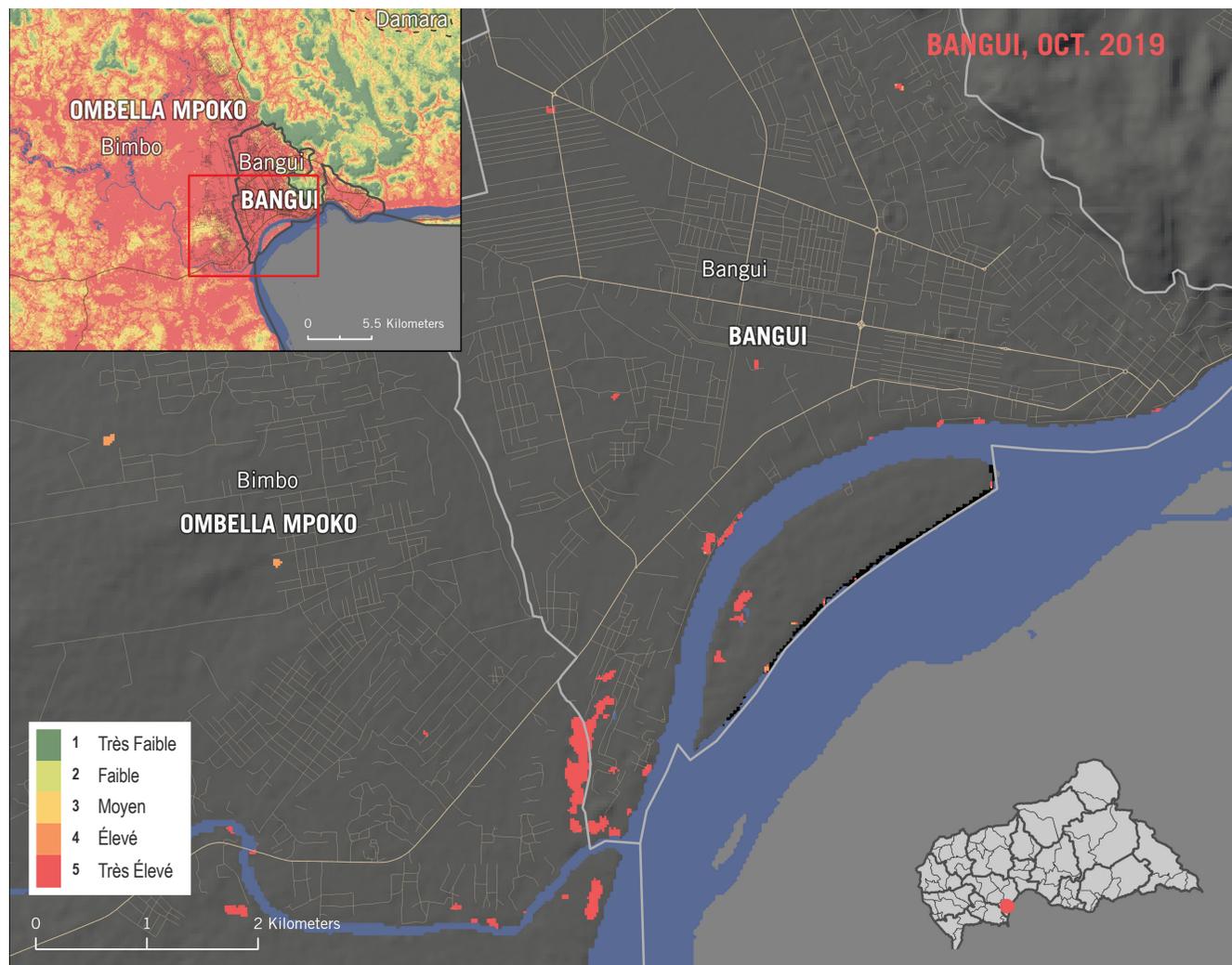
Deux ensembles de données mondiales sur les risques d'inondation fluviale, mesurant tous deux une période de retour de 500 ans, ont été fournis par le Centre commun de recherche (CCR), la Commission européenne et l'Atlas du rapport d'évaluation globale (GAR) du Bureau des Nations unies pour la réduction des risques de catastrophe (UNISDR).

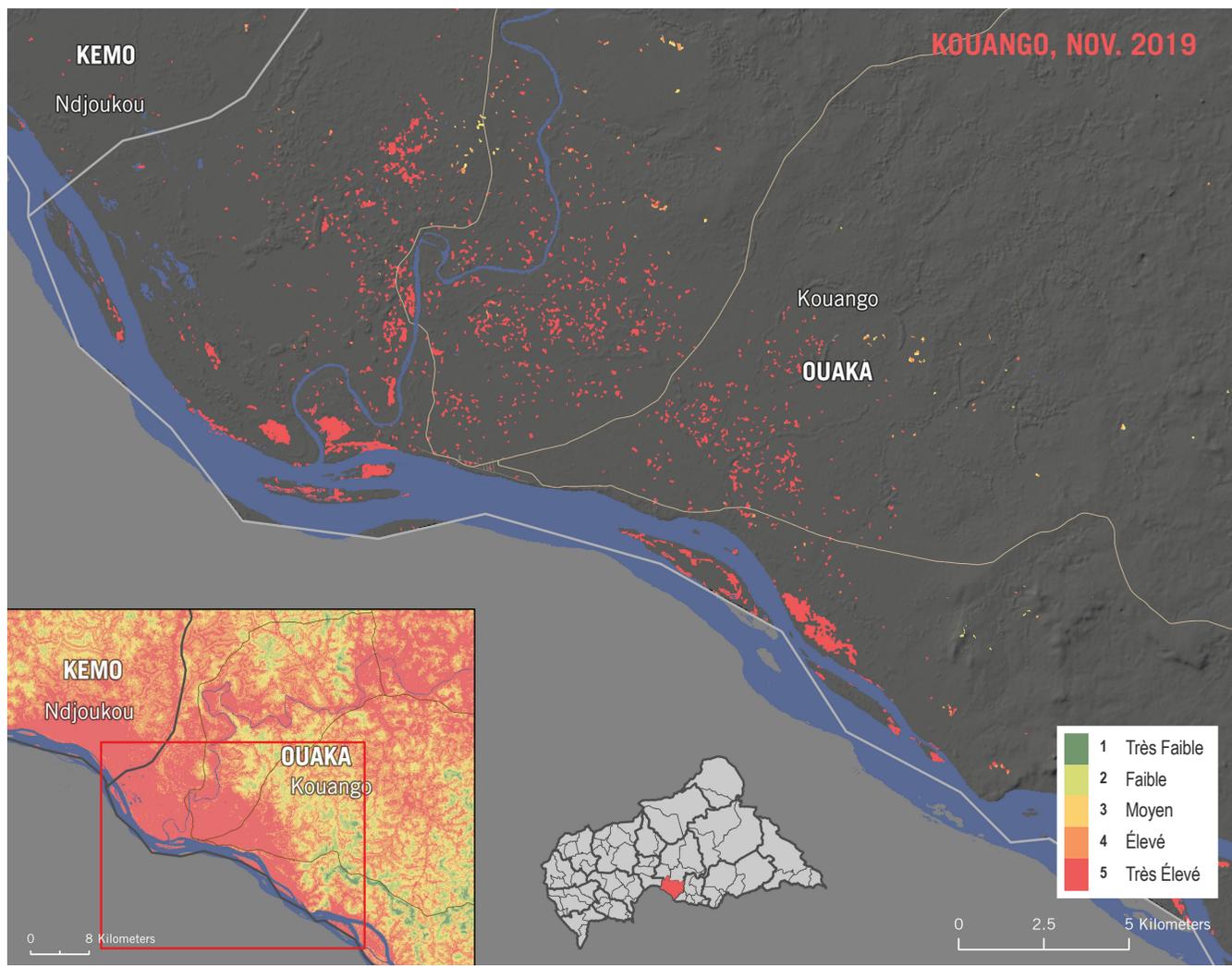
Les zones désignées comme zones de retour des inondations à 500 ans dans les ensembles de données mondiales sur les inondations du CCR et du GAR ont été utilisées comme empreintes pour extraire les régions spatialement associées de l'ensemble de données REACH RCA sur la sensibilité aux inondations. Les résultats montrent que 90 % des zones désignées comme zones de retour des inondations ont été classées comme hautement ou très hautement susceptibles aux inondations dans notre modèle.

Il faut noter que l'analyse de susceptibilité aux inondations menée dans le cadre de cette recherche tient compte des types d'inondations fluviales et pluviales. La comparaison avec les ensembles de données mondiales sur les risques d'inondation est une validation de la susceptibilité aux inondations fluviales inhérente à l'analyse, et non de la susceptibilité aux inondations pluviales.

COMPARAISON AVEC LES INONDATIONS PASSÉES

Deux inondations ont été choisies, en fonction de la disponibilité de données satellitaires optiques et de l'ampleur de l'événement : octobre et novembre 2019 qui ont dévasté respectivement Bangui et Kouango.





La validation par rapport à l'inondation réelle a été faite en acquérant d'abord l'empreinte des inondations à l'aide d'un script Google Earth Engine développé par IN-SPIDER [13]. Le script classe les zones comme étant soit inondées soit non-inondées, en utilisant l'imagerie satellite du radar à ouverture synthétique (SAR) et la saisie par l'utilisateur des dates "avant" et "après" l'inondation.

Les empreintes de Bangui le 23 octobre 2019 et de Kouango le 17 novembre 2019 ont ensuite été utilisées comme masque pour extraire les valeurs de susceptibilité aux inondations spatialement associées. Les résultats de cette extraction sont présentés dans les cartes d'évaluation de la précision.

RÉSULTATS

Les tableaux ci-dessous indiquent le pourcentage de chaque classe de sensibilité aux inondations observée dans l'empreinte des inondations. Il ressort de cette comparaison que notre modèle de sensibilité aux inondations s'aligne étroitement sur l'inondation réelle. La comparaison avec le risque global d'inondation fluviale n'est pas aussi significative, mais confirme tout de même une concordance.

Catégorie de susceptibilité	Bangui Oct. 2019	Kouango Nov. 2019	GAR	CCR
TRÈS FAIBLE	0.04%	0.01%	0.78%	0.07%
FAIBLE	0.14%	0.05%	5.02%	0.44%
MOYEN	4.41%	1.53%	13.86%	2.81%
ÉLEVÉ	13.26%	5.53%	31.26%	30.65%
TRÈS ÉLEVÉ	82.14%	92.88%	49.08%	66.02%

LIMITATIONS

Cette interprétation de la susceptibilité aux inondations n'est pas prédictive. L'analyse indique des zones plus ou moins susceptibles d'être inondées en fonction des caractéristiques physiques des terres et des précipitations et n'a pas été corroborée par des modèles hydrologiques.

L'analyse met en évidence les zones qui sont plus susceptibles de subir des inondations et qui risquent d'être plus gravement touchées en cas d'inondation. Ces zones doivent faire l'objet d'une évaluation hydrologique approfondie avant que des mesures préventives impliquant la construction d'infrastructures ne soient prises.

Les pistes d'amélioration recommandés pour les travaux futurs liés à cette recherche exploratoire sont les suivantes:

- Une automatisation du risque d'inondation calculé pour tenir compte des mises à jour des données d'évaluation des ménages ;
- Collaboration avec des experts en hydrologie pour déterminer de manière plus précise une méthode d'analyse basée sur [l'appartenance floue](#), plutôt que le modèle actuel basé sur des ruptures naturelles de données ;
- Utiliser d'autres inondations passées dans diverses régions du pays afin de valider la précision de la composante de cette analyse relative à la sensibilité aux inondations.

Veuillez noter que cette analyse exploratoire n'a pas été vérifiée par les experts en hydrologie lors de la consultation de ces résultats pour la planification stratégique humanitaire. 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.

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, contactez-nous directement à l'adresse suivante reach.mapping@impact-initiatives.org ou suivez-nous sur Twitter à l'adresse [@REACH_info](#).

Accédez aux cartes
statiques de susceptibilité
aux inondations par
préfecture sur le [REACH](#)
[Resource Centre](#)

FINANCÉ PAR :



RÉFÉRENCES

1. 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
2. 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>
3. Hendriks CMJ, Gibson HS, Trett A, et al. Mapping Geospatial Processes Affecting the Environmental Fate of Agricultural Pesticides in Africa. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(19):3523. Published 2019 Sep 20. doi:10.3390/ijerph16193523
4. Yun Chen, Rui Liu, Damian Barrett, Lei Gao, Mingwei Zhou, Luigi Renzullo, Irina Emelyanova, A spatial assessment framework for evaluating flood risk under extreme climates, *Science of The Total Environment*, Volume 538, 2015, Pages 512-523,
5. 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.
6. Wing OEJ, Sampson CC, Bates PD, Quinn N, Smith AM, Neal JC (2019) A flood inundation forecast of Hurricane Harvey using a continental-scale 2D hydrodynamic model. *J Hydrol X* 4:100039. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2019.100039>
7. 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>
8. Pourali, S.H., Arrowsmith, C., Chrisman, N. et al. Topography Wetness Index Application in Flood-Risk-Based Land Use Planning. *Appl. Spatial Analysis* 9, 39–54 (2016). <https://doi.org/10.1007/s12061-014-9130-2>
9. Danumah, J.H., Odai, S.N., Saley, B.M. et al. Flood risk assessment and mapping in Abidjan district using multi-criteria analysis (AHP) model and geoinformation techniques, (cote d'ivoire). *Geoenviron Disasters* 3, 10 (2016). <https://doi.org/10.1186/s40677-016-0044-y>
10. Pradhan, Biswajeet. (2009). Flood susceptible mapping and risk area delineation using logistic regression, GIS and remote sensing. *Journal of Spatial Hydrology*. 9. 1-18.
11. Hodgson, Michael & Jensen, John & Tullis, Jason & Riordan, Kevin & Archer, Clark. (2003). Synergistic Use of Lidar and Color Aerial Photography for Mapping Urban Parcel Imperviousness. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 69. 973-980. 10.14358/PERS.69.9.973.
12. Geography UK (2020). UNESCO Institute for Water Education. https://www.geography.org.uk/download/GA_ShopTSFloodP2021.pdf
13. Step-by-Step: Recommended Practice: Flood Mapping and Damage Assessment using Sentinel-1 SAR data in Google Earth Engine. United Nations Office for Outer Space Affairs- Space-based information for Disaster Management and Emergency Response. <http://www.un-spider.org/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-google-earth-engine-flood-mapping/step-by-step>

Annexe 1

Préfecture	Sous-Préfecture	Score de vulnérabilité	Score de susceptibilité	Individus dans zones à risque élevé/très élevé (%)	Individus dans zones à risque élevé/très élevé (#)	CATEGORIE DE RISQUE FINALE
Ombella M'Poko		1	4.20	74%	320,360	élevé
	Boali	1	4.01	70%	19,298	moyen
	Bogangolo	3	3.32	54%	5,066	moyen
	Bossembélé	2	3.20	35%	13,308	faible
	Damara	2	4.20	82%	29,708	élevé
	Yaloké	2	2.45	14%	5,564	très faible
Lobaye		3	3.59	53%	161,627	faible
	Boda	2	3.69	60%	33,036	moyen
	Boganangone	3	2.25	5%	1,774	faible
	Boganda	3	2.73	27%	4,322	faible
	Mbaïki	3	3.87	58%	100,873	moyen
	Mongoumba	3	4.11	80%	21,509	très élevé
Mambéré-Kadéï		2	2.87	27%	122,092	très faible
	Amada-Gaza	3	2.41	11%	2,410	faible
	Berbérati	2	2.72	25%	43,211	très faible
	Carnot	3	3.31	40%	46,522	moyen
	Dédé-Mokouba	3	3.21	35%	8,958	moyen
	Gadzi	2	2.49	11%	7,757	très faible
	Gamboula	2	3.11	32%	10,799	faible
	Sosso-Nakombo	3	2.18	9%	1,593	faible
Nana-Mambéré		2	2.06	9%	21,026	très faible
	Abba	2	2.37	18%	5,307	très faible
	Baboua	2	1.85	6%	3,087	très faible
	Baoro	2	2.18	5%	1,787	très faible
	Bouar	1	2.10	11%	11,251	très faible
Sangha-Mbaéré		3	3.65	59%	74,824	moyen
	Bambio	2	3.66	58%	8,812	faible
	Bayanga	3	3.70	60%	7,665	élevé
	Nola	3	3.64	59%	58,339	moyen
Ouham Pendé		3	2.77	24%	116,132	faible
	Bocaranga	3	2.28	10%	7,884	faible
	Bossem-télé	2	2.12	8%	1,852	très faible
	Bozoum	3	3.00	31%	16,623	faible
	Koui	3	2.23	3%	810	faible
	Ngaoundaye	3	2.53	17%	18,315	faible
	Paoua	3	3.28	38%	74,619	moyen
Ouham		2	4.08	74%	334,110	moyen
	Batangafu	2	4.50	92%	72,290	élevé
	Bossangoa	2	3.82	59%	87,645	moyen
	Bouca	3	4.26	80%	53,463	très élevé
	Kabo	3	4.60	99%	49,898	très élevé
	Markounda	3	4.28	89%	20,113	très élevé
	Nana-Bakassa	3	3.85	69%	39,385	élevé
	Nangha Boguila	3	3.45	45%	12,423	moyen
Kémo		3	4.13	70%	106,957	élevé
	Dékoa	3	3.27	35%	16,344	moyen
	Mala	3	3.69	60%	10,873	moyen
	Ndjoukou	3	4.42	94%	34,306	très élevé
	Sibut	3	4.39	89%	45,505	très élevé
Nana-Gribizi		2	4.04	72%	101,176	moyen
	Kaga-Bandoro	2	4.19	78%	93,186	élevé
	Mbrès	2	3.44	49%	9,517	faible
Ouaka		3	3.80	65%	240,230	moyen

* le calcul du risque exclut la composante de la vulnérabilité , dû à un manque de données au niveau ménage

	Bakala	3	4.25	81%	4,825	très élevé
	Bambari	3	3.80	67%	113,843	élevé
	Grimari	3	4.01	70%	40,636	élevé
	Ippy	3	3.58	53%	23,743	moyen
	Kouango	3	3.86	65%	58,372	élevé
Bamingui-Bangoran		2	3.99	70%	41,846	moyen
	Bamingui	3	4.63	93%	8,482	très élevé
	Ndélé	2	3.85	66%	33,320	moyen
Haute-Kotto		2	4.19	81%	91,422	élevé
	Bria	3	4.34	86%	76,393	très élevé
	Ouada		3.72	65%	12,248	moyen*
	Yalinga		3.46	45%	2,843	moyen*
Vakaga		2	4.39	91%	59,101	élevé
	Birao	2	4.46	93%	56,025	élevé
	Ouada-Djallé		3.70	63%	3,062	moyen*
Basse-Kotto		3	3.73	63%	198,780	moyen
	Alindao	4	3.70	62%	51,867	élevé
	Kembé	2	3.43	48%	20,834	faible
	Mingala		3.57	53%	18,322	faible
	Mobaye	3	3.95	74%	56,098	élevé
	Satéma	1	4.38	82%	30,241	élevé
	Zangba	3	3.74	61%	24,161	élevé
Mbomou		1	4.12	79%	163,962	moyen
	Bakouma	1	3.96	70%	15,374	moyen
	Bangassou	2	4.09	76%	68,779	moyen
	Gambo	1	4.09	78%	12,313	moyen
	Ouango	1	4.42	90%	56,510	élevé
	Rafai	3	4.11	77%	12,333	élevé
Haut-Mbomou		4	3.43	57%	47,450	faible
	Bambouti		1.78	0%	0	faible*
	Djéma		3.11	32%	5,876	faible*
	Obo	2	3.55	65%	28,587	moyen
	Zémio	3	3.37	49%	9,500	moyen
Bangui		2	4.80	98%	1,234,991	élevé
	Bangui	1	4.80	98%	1,234,991	élevé

* le calcul du risque exclut la composante de la vulnérabilité , dû à un manque de données au niveau ménage