

Cartographie de la susceptibilité aux inondations par la méthode de l'analyse multicritère hiérarchique (AHP) combinée au Système d'Information Géographique (SIG) : Cas du Département du Diamaré (Extrême-nord, Cameroun)

[Flood Susceptibility mapping applying Analytical Hierarchy Process (AHP) combined with Geographic Information System (GIS) : A case study of the Diamare Division (Far north of Cameroon)]

Adama Amaya¹, Mama Ntoubé², Amadou Kepnamou Diguim², and Elvis Kah¹

¹Département de Cartographie Géologique et Géomatique, Ecole de Géologie et d'Exploitation Minière, Université de Ngaoundéré, Meiganga, Cameroon

²Département de Mine et Géologie, Ecole de Géologie et d'Exploitation Minière, Université de Ngaoundéré, Meiganga, Cameroon

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The occurrence of heavy rains in the Diamare Division (far north of Cameroon), makes this region a sensitive area to recurrent floods. This work provides a flood susceptibility map, which is an important tool for risk management, allowing priority areas to be defined for detailed studies. The methodology applied is Analytical Hierarchy Process (AHP) combined with spatial analysis in GIS. Six flood-conditioning factors were chosen based on their relevant contribution to the flood, and on the expert opinion. These factors have been weighted to determine each factor importance, in the flood occurrence. According to the map, 24, 71% of the study area, was identified as an area with very high susceptibility, whereas very low, low, moderate and high susceptibility zones covered 5,63%; 9,9%; 25,24% and 34,52% of the area, respectively. The quality of susceptibility mapping was validated by the perfect projection of historical floods in the very high and high susceptibility zones.

KEYWORDS: Susceptibility, Flood, Diamare, Geographic Information Systems (GIS), Analytical Hierarchy Process (AHP), Mapping.

RESUME: L'occurrence des pluies brutales dans le Département du Diamaré (extrême-nord du Cameroun), expose cette zone aux crues récurrentes, engendrant des risques d'inondation chaque année. Ce travail fournit une cartographie des zones susceptibles aux d'inondation, et constituera un outil important pour la gestion des risques, permettant de définir des zones prioritaires pour des études détaillées. La méthodologie adoptée est l'analyse multicritère hiérarchique (AHP), combinée à l'analyse spatiale dans les SIG. Six facteurs conditionnant l'inondation ont été choisis suivant leur contribution pertinente à l'inondation, et validés par l'avis des experts. Ces facteurs ont été pondérés pour déterminer l'importance de chacun à l'occurrence des inondations. Il en résulte que 24,71% de la superficie totale du Diamaré est soumis à une susceptibilité très élevée aux inondations, 34,52% à une susceptibilité élevée, 25,24% à une susceptibilité modérée, 5,63% et 9,9% à une susceptibilité très faible et faible respectivement. Les inondations catastrophiques historiques sont localisées dans les zones de susceptibilité élevées à très élevée, ce qui permet de valider notre carte.

MOTS-CLEFS: Susceptibilité, inondation, Diamaré, Système d'Information Géographique (SIG), analyse multicritère hiérarchique (AHP), Cartographie.

1 INTRODUCTION

Les inondations constituent une catastrophe naturelle qui représente une menace pour la population, l'environnement, les habitats et les infrastructures. La région de l'extrême-nord Cameroun connaît ce phénomène depuis plus de 10 ans, dont les plus importants ont été enregistrés les années 1997, 2000; 2007; 2010, 2020.

Le Département du Diamaré a été particulièrement touché par ces inondations avec comme conséquence : des pertes en vie humaine, la destruction des infrastructures (pont de palar ...), la destruction d'abris, la destruction des zones agricoles, et surtout l'exposition de la population à des maladies telle que le choléra.

Ces inondations qualifiées souvent de crues soudaines sont liées aux occurrences dans le Département, des précipitations violentes sur une courte période. Ce phénomène est favorisé par les caractéristiques environnementales, morphologiques et géologiques, incapables de gérer les quantités d'eau précipitées. La cartographie des zones exposées aux risques d'inondation est ainsi considérée comme une nécessité pour planifier un développement durable du département ; étant donné que l'agriculture, principale activité de cette région contribue considérablement dans l'économie du pays.

La présente étude est réalisée dans le but d'identifier et de cartographier les zones sensibles aux risques d'inondation ; car la gestion optimale des inondations nécessite au préalable une bonne connaissance des causes du phénomène et une bonne cartographie de son extension [1].

L'approche méthodique est basée sur une analyse multicritère combinée à des systèmes information géographique (SIG). Les SIG sont des outils particulièrement performants pour l'étude des risques naturels, en particulier la surveillance des phénomènes d'inondations [2]; car ils permettent d'identifier les zones affectées, d'hiérarchiser le risque et contribuent à la mise en place de plans de préventions des risques [3], [4]. L'analyse multicritère permet de déterminer l'importance relative de chaque facteur induisant l'inondation, en lui attribuant un poids.

L'AHP (Analytic hierarchy process) est la technique d'analyse multicritère utilisée dans ce travail. Elle est considérée comme une méthode optimale pour hiérarchiser des facteurs multiples afin de générer une information spatiale de la susceptibilité aux inondations [5], [6], [7]. La carte ainsi produite sera validée par des données historiques sur l'inondation et des observations sur le terrain.

2 LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude est localisée dans la région de l'extrême-nord du Cameroun (Fig.1). C'est un Département qui occupe une superficie de 6005 km². Sa longitude et sa latitude s'étendent de 14° à 15° Est et de 10° à 11° Nord. Les limites du Département ne correspondent à aucune définition naturelle si ce n'est à l'ouest où la limite suit grossièrement le massif Mandara. Le Diamaré est drainé par le fleuve périodique le Mayo Tsanaga et son principal affluent le Mayo Kalliao. Ce Département est constitué de 9 communes: Maroua I, Maroua II, Maroua III, Meri, Dargala, Gasawa, Bogo, Ndoukoulou et Pétté. Il est régi par un climat sahélo-soudanien avec des températures très élevées atteignant les 45° C à l'ombre. La pluviométrie varie entre 600 et 900 mm par an. Le maximum de pluviométrie est atteint surtout entre Juillet et Aout. Deux types de saisons déterminent la pluviométrie de la localité: une longue saison sèche quittant d'Octobre en Avril. Une courte saison de pluie qui occupe le reste des mois de l'année, Mai à Septembre. Du point de vue géologique, le Département est dominé par des formations du socle d'âge précambriennes à anté-crétacé. Elles sont composées de roches métamorphiques (les granites d'anatexie, les ectinites et les migmatites), plutoniques (granite) et sédimentaires (alluvions) identifiables dans le paysage varié qui caractérise cette zone de reliefs marqués et de pénéplaines étendues.

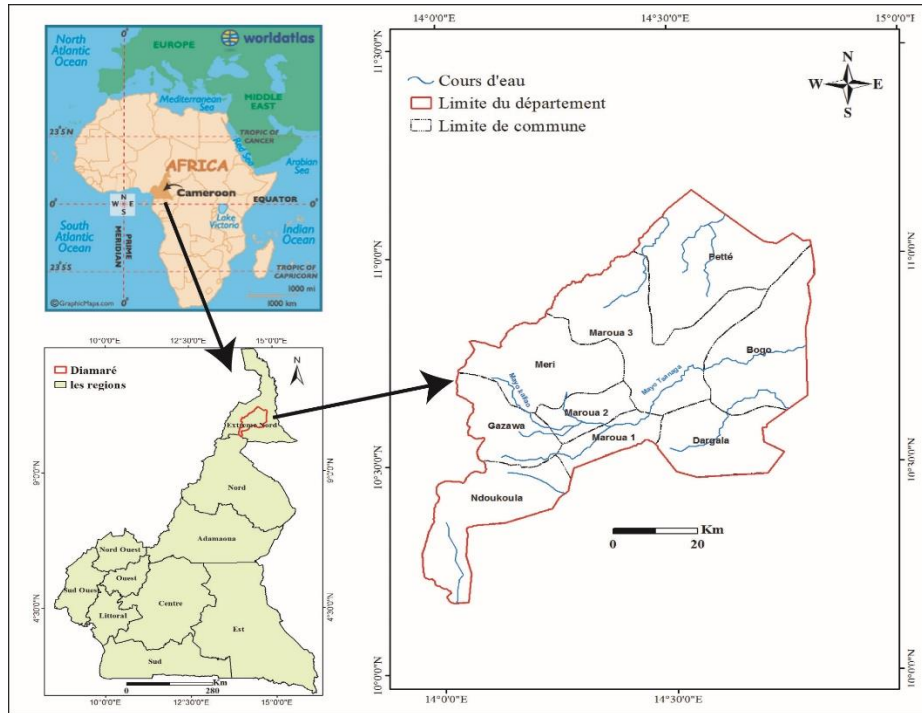


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

3 MATÉRIELS ET MÉTHODES

3.1 MATÉRIELS

Les données physiques utilisées dans cette étude, ont été collectées des sources diverses (Tableau 1).

Tableau 1. Données utilisées dans cette étude

Type de donnée	Description	Résolution/ Echelle	Source
Model Numérique de Terrain (MNT)	ASTER GDEM, Téléchargée	30m	Earth explorer
Image Landsat 8	Téléchargée	30m	Earth explorer
Géologie	Numérisée de la carte géologique de l'extrême-nord	1/500000	Institut nationale de Cartographie
Précipitation	Méthode interpolation dans les SIG		Société de développement de coton
Pente	Extraite du MNT	30m	Earth explorer
Densité de drainage	Extraite du MNT	30m	Earth explorer

3.2 METHODE

Dans cette étude, pour produire la carte de susceptibilité aux inondations, la technique d'analyse multicritère AHP combinée au SIG, a été utilisée. Cette technique fourni une approche systématique pour évaluer et intégrer les impacts de divers facteurs qui impliquent différent degré d'informations dépendantes ou indépendantes, qualitatives et quantitatives [8], [9]. Le processus de la méthode peut être résumé en trois étapes: la sélection et l'évaluation des facteurs, l'analyse multicritère AHP, et l'analyse de la susceptibilité aux inondations.

3.3 LES FACTEURS CONDITIONNANT L'INONDATION

L'identification des facteurs induisant l'inondation est la plus importante étape dans l'évaluation de la susceptibilité aux inondations. Le choix de ces facteurs doit se faire dans un cadre garantissant l'englobement de l'ensemble du problème. En outre, l'ensemble des facteurs doit être réduit au minimum afin de réduire la complexité du processus d'évaluation [10]. Les facteurs pluviométrie, occupation du sol, pente, densité de drainage, altitude, géologie, utilisés dans cette étude ont été sélectionnés en raison de leur contribution pertinente à l'inondation dans la zone d'étude. Ils ont été validés par des experts. Cependant, ils ne contribuent pas à la même amplitude raison pour laquelle nous procédons à une analyse multicritère pour évaluer le poids de la contribution de chaque facteur.

Les couches de données d'entrée ont des échelles et des unités de mesure différentes. Afin de calculer la susceptibilité comme une valeur cumulée de tous les facteurs, elles ont toutes été ramenées à la même échelle. La méthode de classification des ruptures naturelles pour les ensembles de données continues est utilisée pour séparer les valeurs de pixel. Ces dernières sont reclassées en cinq classes, de un à cinq, reflétant la susceptibilité à l'inondation de un très faible à cinq très élevée.

3.3.1 PLUVIOMETRIE

Les précipitations ont une influence significative sur les inondations lorsque les cours naturels des rivières ne peuvent pas transporter l'excès d'eau. Par conséquent, les berges débordent entraînant des crues fluviales. Les données pluviométriques ont été analysées dans la zone du Diamaré en utilisant la méthode d'interpolation par krigeage ordinaire dans les SIG. La distribution spatiale des précipitations moyennes annuelles est illustrée sur la figure 2a. Les pourcentages des précipitations ont été groupés en cinq classes respectives: 4,88%, 7,04%, 12,43%, 49,57% et 26,07%.

3.3.2 LA DENSITE DE DRAINAGE

La densité du drainage est un élément important dans les mesures de contrôle des crues [11]. Elle exprime la longueur des cours d'eau par unité de surface (km / km²) [12]. Généralement, une densité de drainage élevée signifie une grande surface de ruissellement par rapport aux zones de faible densité de drainage. Par conséquent, elle a une forte probabilité d'être inondée [13], [14]. La carte de densité de drainage a été produite en utilisant l'outil d'analyse densité-ligne de ArcGIS. Cinq classes de densité de drainage (0–0,4 km² / km, 0,4–0,8 km² / km, 0,8–1,2 km² / km, 1,2–1,6 km² / km et 1,6–2,2379 km² / km) sont affichées sur la figure 2b correspondant à des classes très faibles, faible, modérée, élevée et très élevée. Les proportions respectives de ces classes sont: 28%, 30%, 26%, 12%, 4%.

3.3.3 PENTE

L'inondation se produit dans les zones de faible pente due à l'accumulation vers le bas de l'eau en provenance des zones de haute altitude. La carte des pentes (Fig. 2c) a été créée à partir du Modèle Numérique de Terrain de la zone d'étude où les pentes varient de 0 % à 108,68%. Le nord, le centre, l'est et le sud de la région, sont les moins inclinés avec une pente comprise entre 0 à 5,99%. Par contre, la catégorie de pente la plus raide de 31,66% à 108,68% couvre une petite partie au sud-ouest, et s'étend jusqu'à l'ouest de la région. La carte des pentes a été regroupée en cinq classes avec le rang le plus élevé attribué à la classe de très faible pente: 47,06–108,68%, 31,66–47,06%, 17,97–31,66%, 5,99–17,97%, et 0–5,99%, respectivement. La classe de très faible pente occupe 93,76% de la zone d'étude, faible pente occupe 2,36%, pente modérée 1,85%, et les pentes fortes et très fortes occupent 1,41% et 0,60% respectivement.

3.3.4 OCCUPATION DU SOL

L'occupation du sol constitue le principal facteur pour identifier les zones susceptibles d'être submergées par les crues [15]. Cette dernière influence le taux d'infiltration. Par exemple, la forêt et la végétation favorisent l'infiltration de l'eau [16]. D'autre part, la zone urbaine, qui est principalement constituée de surfaces imperméables et de terres nues, augmente le ruissellement des eaux [17]. Les résultats de l'analyse spatiale réalisée dans ArcGis montrent qu'une grande partie de la zone d'étude est couverte par les sols nus (42,8%). La savane occupe 38,75% de la zone, les roches 9,5%, le sol nu Sableux 3,4%, le Bati 7,9%, les zones de culture 1,42% et les cours d'eau 1,07% (fig. 2d).

3.3.5 ALTITUDE

Les inondations sont généralement concentrées en basse altitude car les précipitations en haute altitude s'accumulent en aval en raison des forces gravitationnelles. Les classes d'altitude ont été automatiquement extraites du Modèle Numérique de Terrain (MNT), et reclassées en cinq classes dont la classe 1 est attribuée aux altitudes très élevées. Les proportions respectives de ces classes sont 43,66%, 47,45%, 6,80%, 1,87%, 0,38% (fig. 2e).

3.3.6 GEOLOGIE

La géologie est un facteur important dans l'étude des risques d'inondation, car elle peut soit amplifier, soit atténuer le degré de risque lié à cette catastrophe naturelle. Ce facteur est lié à la perméabilité et à la capacité de stockage de l'eau qui varient selon les types de roche [18]. Lorsque la roche est imperméable, l'infiltration des eaux pluviales est moins importante, ce qui favorise l'extension des surfaces de ruissellement et amplifie les effets des inondations [16]. Les formations perméables, c'est-à-dire le sable grossier et le sable (grès), sont parfaites pour l'infiltration des eaux de pluie et diminuent par la suite le risque d'inondation. En revanche, les facteurs imperméables, c'est-à-dire l'argile et le limon, les roches cristallines, augmentent le débit de ruissellement, ce qui amplifie la probabilité d'inondation [19]. La géologie du Département du Diamaré est extraite de l'analyse spatiale de la carte géologique de l'extrême-nord du Cameroun sur ArcGis. Les alluvions du quaternaire occupent la majeure partie de la zone d'étude soit 42,96%. Ils sont suivis de la Migmatite et Anatexite 31,67%, le Cordon dunaire 12,64%, la Rhyolite et Trachyte 4,52%, le Granite 4,43%, et le Gneiss 3,78%. La classe de susceptibilité très faible a été attribuée aux alluvions du quaternaire du à leur capacité d'infiltration élevée (fig. 2f).

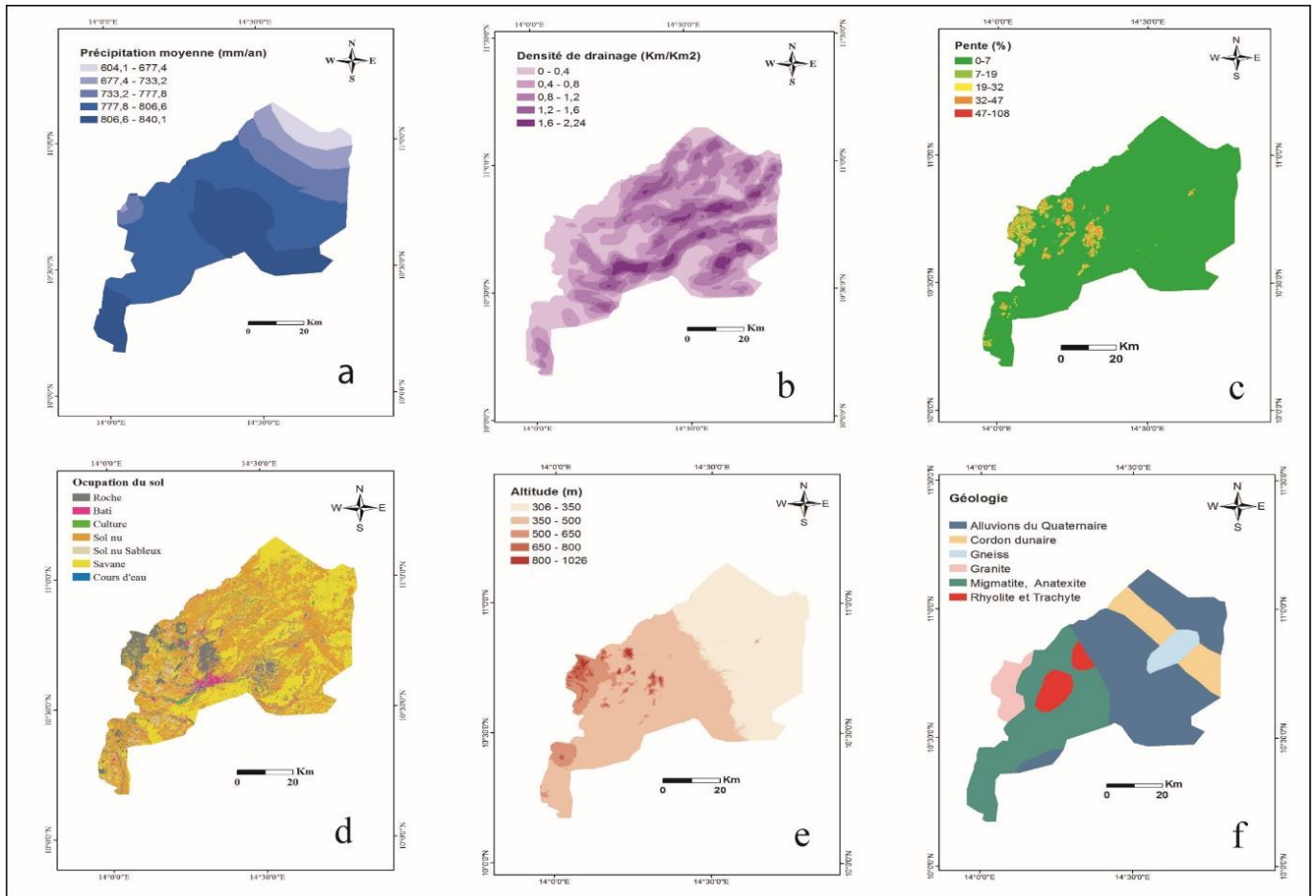


Fig. 2. Carte thématique de l'analyse de la susceptibilité aux inondations (a: pluviométrie; b: Densité de drainage; c: pente; d: occupation du sol; e: Altitude; f: géologie)

3.4 PROCESSUS D'ANALYSE MULTICRITERE HIERARCHIQUE

La première étape de ce processus a consisté en la préparation des couches de données compatibles à l'interface ArcGis. Après cette préparation, tous les facteurs ont été pondérés suivant l'Analyse Multicritère Hiérarchique (AHP) qui est une technique de prise de décision multicritères.

La méthode est basée sur la comparaison des différents facteurs, par paire. À partir de la construction d'une matrice carrée, on évalue l'importance relative d'un facteur par rapport à un autre, en utilisant pour cela, une échelle adéquate telle proposée par [20], (Tableau 2). Les comparaisons par paires de tous les facteurs ont été prises comme données d'entrée de la matrice. Une fois que la matrice de comparaison est remplie, on calcule la valeur propre de chacune et le vecteur propre lui correspondant. Le vecteur propre indique l'ordre de priorité ou le poids des facteurs étudiés [21]. Ce résultat est important pour l'évaluation de la probabilité, puisqu'il sera utilisé pour indiquer l'importance relative de chaque facteur induisant l'inondation.

La matrice de comparaison par paires de cette étude, est présentée dans le tableau 3 en utilisant une matrice 6 x 6, où les valeurs de la diagonale sont égales à 1. Les valeurs de chaque ligne sont comparées à chaque colonne pour définir l'importance relative de chaque facteur afin d'obtenir une valeur.

Tableau 2. Échelle proposée par [20]

Degrés d'importance de chaque critère	Description
1	Importance égale
3	Faible importance d'une caractéristique par rapport à une autre
5	Importance forte ou déterminante
7	Importance très forte ou attestée
9	Importance absolue
2, 4, 6, 8	Valeurs associées à des jugements intermédiaires

Tableau 3. Matrice de comparaison par paire

Facteur	Pluviométrie	Densité de drainage	Pente	Occupation du sol	Altitude	Géologie
Pluviométrie	1	3	3	3	5	7
Densité de drainage	0,33	1	0,33	1	3	3
Pente	0,33	3	1	3	3	5
Occupation du sol	0,33	1	0,33	1	5	5
Altitude	0,2	0,33	0,33	0,2	1	3
Géologie	0,14	0,33	0,2	0,2	0,33	1
Somme	2,33	8,66	5,19	8,4	17,33	24

Tableau 4. Matrice de pondération

Facteur	Pluviométrie	Densité de drainage	Pente	Occupation du sol	Altitude	Géologie	Poids
Pluviométrie	0,429	0,346	0,578	0,357	0,289	0,292	0,382
Densité de drainage	0,142	0,115	0,064	0,119	0,173	0,125	0,123
Pente	0,142	0,346	0,193	0,357	0,173	0,208	0,237
Occupation du sol	0,142	0,115	0,064	0,119	0,289	0,208	0,156
Altitude	0,086	0,038	0,064	0,024	0,058	0,125	0,066
Géologie	0,060	0,038	0,039	0,024	0,019	0,042	0,037
Somme	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Après l'élaboration de la matrice de comparaison et la définition des poids des facteurs, il est nécessaire de vérifier la cohérence des jugements, par le calcul du ratio de cohérence. L'équation suivante donne le calcul du ratio de cohérence [22]:

$$CR = CI / CA \tag{1}$$

Où CI est l'indice de cohérence et CA est l'indice de cohérence aléatoire (Tableau 5) dont la valeur dépend du nombre n, et n le nombre de critère (facteurs).

La matrice sera cohérente si le rapport est < 0,1.

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n-1) \tag{2}$$

Où CI: indice de cohérence; n: nombre de facteurs évalués; λmax: la valeur propre calculée à partir de la matrice de comparaison.

La matrice de comparaison par paires est cohérente si λMax ≥ n [20].

(λmax est obtenu par la somme du produit de chaque élément du vecteur propre et la somme de la colonne correspondante de la matrice de comparaison), [23].

Tableau 5. Valeurs de CA [24]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CA	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Dans cette étude le nombre de facteur est égal à six, et comme résultat, CA est égale à 1,24.

λmax = 6,41; qui est supérieur à 6. Ainsi, la matrice de pondération est cohérente dans cette recherche.

$$CI = 0,082$$

$$CR = 0,066$$

Le ratio de cohérence est égale à 0,066 ce qui est inférieur à 0,1; la cohérence de la pondération est valide.

Tableau 6. Classes des facteurs et leur pondération

Facteur	Classes	Rang	Poids
Pluviométrie	604,1 - 677,4	1	0,382
	677,4 – 733,2	2	
	733,2- 777,8	3	
	777,8 - 806,6	4	
	806,6 -840,1	5	
Densité de drainage	0 - 0,4	1	0,123
	0,4 - 0,8	2	
	0,8 - 1,2	3	
	1,2 - 1,6	4	
	1,6 – 2,24	5	
Pente	0-7	5	0,237
	7-19	4	
	19-32	3	
	32-47	2	
	47-108	1	
Occupation du sol	Roche	4	0,156
	Bati	5	
	Culture	3	
	Sol nu	5	
	Sol nu sableux	4	
	Savane	2	
	Cours d'eau	5	
Altitude	306-350	5	0,066
	350-500	4	
	500-650	3	
	650-800	2	
	800-1026	1	
Géologie	Alluvion du quaternaire	1	0,037
	Cordon dunaire	2	
	Gneiss	5	
	Granite	5	
	Migmatite, Anatexite	5	
	Rhyolite et Trachyte	5	

3.5 ANALYSE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX INONDATIONS

La spatialisation de la susceptibilité aux inondations a été déterminée en utilisant l'outil ArcGIS -Spatial Analyst – Overlay pour agréger toutes les trames de facteurs pondérés afin de produire le résultat final, ceci en intégrant l'équation (3).

Susceptibilité d'inondation = (Pente * 0,237) + (Occupation du sol * 0,156) + (Pluviométrie * 0,382) + (Densité de drainage * 0,123) + (Altitude * 0,066) + (Géologie*0,037) (3)

Enfin, les données historiques sur les inondations ont été utilisées pour valider la carte réalisée.

4 RESULTATS ET DISCUSSION

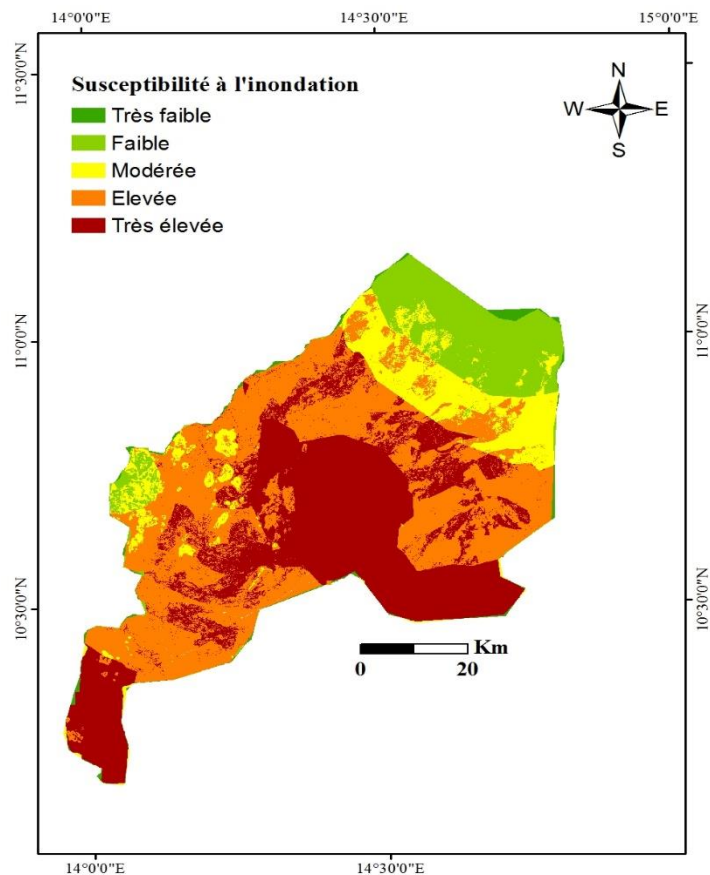


Fig. 3. Carte de susceptibilité aux inondations

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. La carte de susceptibilité aux inondations présentée sur la figure 3, est reclassée en cinq classes: très faible, faible, modérée, élevée, très élevée.

Cette carte montre que les zones de susceptibilité très élevées couvrent 24,71% de la superficie totale. Elles occupent le centre et le sud du Département. Les communes de Maroua 1^{er}, Maroua 2^e et Maroua 3^e qui sont les théâtres réguliers des inondations, sont principalement couverts par la zone de susceptibilité très élevée. Ces zones présentent des pentes et des altitudes faibles. Les eaux de pluies ruissellent des hautes altitudes pour inonder ces parties plates, et les lits des cours d'eau sont facilement débordés.

La zone de susceptibilité élevée occupe une partie considérable dans la zone d'étude. Cette zone est marquée par une pente faible, et reçoit une quantité élevée de précipitation. Cette plage occupe une proportion de 34,52 % de la zone d'étude et est éparpillée sur l'étendue de la superficie excepté au nord.

La zone de susceptibilité moyenne est localisée au nord et l'ouest du Diamaré couvrant un taux de 25,24 % de la zone d'étude. Elle est caractérisée par une pluviométrie faible.

La zone de faible à très faible susceptibilité à l'inondation couvrent 15,53 % de la superficie totale et est localisée à l'extrême-nord et extrême ouest de la zone d'étude.

Les données relatives à l'historique des inondations catastrophiques enregistrées dans la zone d'étude, sont projetées sur la carte de susceptibilité aux inondations. Elles occupent les zones de susceptibilité élevée à très élevée (fig. 4). Ceci permet de valider le résultat obtenu de cette étude.

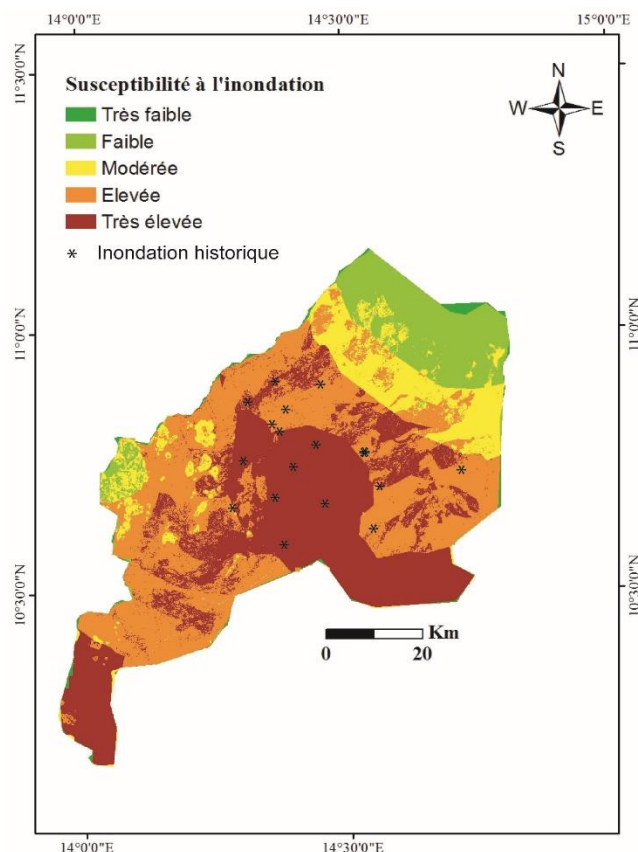


Fig. 4. Carte représentant les inondations historiques

5 CONCLUSION

La présente recherche élucide la cartographie de la susceptibilité à l'inondation en tant qu'approche préalable à la prédiction de cette calamité naturelle dans le département du Diamaré. La susceptibilité à l'inondation a été cartographiée en appliquant la méthode AHP basée sur l'analyse multicritère intégrée dans le SIG. Six facteurs ont été étudiés et pondérés.

L'importance relative des facteurs sélectionnés priorise la pluviométrie comme facteur le plus important dans l'induction des inondations, suivi de la pente, de l'occupation du sol, de la densité de drainage, de l'altitude, et de la lithologie. La somme des facteurs pondérés dans le SIG a permis de produire la carte de susceptibilité aux inondations qui contient cinq classes: très faible, faible, modérée, élevée et très élevée avec des proportions relatives de 5,63%; 9,90%; 25,24%; 34,52% et 24,71%. L'historique des inondations dans la zone d'étude a permis de valider la carte de susceptibilité aux inondations car les communes les plus touchés par les inondations pendant cette dernière décennies, sont couvertes par la plage de susceptibilité élevée à très élevées. La méthode AHP intégrée dans les SIG est ainsi, une méthode efficace et efficiente pour cartographier la susceptibilité aux inondations.

Les informations générées par cette étude pourraient être utilisées par les décideurs et les administrateurs pour développer des stratégies efficaces d'atténuation des effets des inondations.

Etant donné que notre analyse ne dépend que des facteurs physiques plutôt que sociaux ou économiques, cette carte sera indicative de la susceptibilité aux inondations plutôt que du risque.

REFERENCES

- [1] S. Wade, J. P. Rudant, K. Ba et B. Ndoye, "Télé-détection et gestion des catastrophes naturelles: applications à l'étude des inondations urbaines de saint louis et du ravinement lié à l'érosion hydrique à niouro-du-rip (Sénégal)", *Revue Télé-détection*, vol. 8, n° 3, pp. 203-210, 2008.
- [2] F. Bonn and R. Dixon, "Monitoring flood extent and forecasting excess runoff risk with Radarsat-1 data", *Natural Hazards*, vol. 35, pp. 377-393, 2005.
- [3] L. Marinellil, R. Michel, A. Beaudoin, "Flood mapping using ERS tandem coherence image: a case study in southern France", *Proceedings of the third ERS Symposium, ESA SP-414, Vol. 1*, pp. 531-536, 1997.
- [4] G. Flouzat, C. Puech et D. Dartus, "Les observations par satellite pour l'analyse et le suivi du fonctionnement des hydro-systèmes", *Bulletin de la SFPT*, n°172, pp. 3-10, 2003.
- [5] Y. Wang, Z. Li, Z. Tang, G. Zeng, "A GIS-based spatial multi-criteria approach for flood risk assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China", *Water Resources Management*, vol. 25, pp. 3465-3484, 2011.
- [6] P. Fernandez, S. Mourato, M. Moreira, "Social vulnerability assessment of flood risk using GIS-based multicriteria decision analysis. A case study of Vila Nova de Gaia (Portugal)", *Geomatic Natural Hazards Risk*, vol. 7, pp. 1367-1389, 2016.
- [7] D.C. Roy, T. Blaschke, "Spatial vulnerability assessment of floods in the coastal regions of Bangladesh", *Geomatic Natural Hazards Risk*, vol. 6, pp. 21-44, 2015.
- [8] T.L. Saaty "How to make a decision: the Analytic Hierarchy Process", *European Journal Open Resource*, vol.48, pp. 9-26, 1990.
- [9] T. L. Saaty, "An exposition of the AHP in reply to the paper remarks on the analytic hierarchy process", *Management Science*, vol.36, n°3, pp. 259-268, 1990.
- [10] S. Stefanidis, "Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP) *Natural Hazards*", vol. 68, pp. 569-585, 2013.
- [11] F.L. Ogden, N. Raj Pradhan, C.W. Downer, J.A. Zahner, "Relative importance of impervious area, drainage density, width function, and subsurface storm drainage on flood runoff from an urbanized catchment", *Water Resources*, vol. 47, no 12, 2011.
- [12] N.S. Magesh, N. Chandrasekar, J.P. Soundranayagam, "Delineation of ground water potential zones in Theni district, Tamil Nadu, using remote sensing, GIS and MIF techniques", *Geosciences Frontiers*, vol. 3, no 2, pp. 189-196, 2012.
- [13] R. Liu, Y. Chen, J. Wu, L. Gao, D. Barrett, T. Xu, J. Yu, "Assessing spatial likelihood of flooding hazard using naïve Bayes and GIS: a case study in Bowen Basin, Australia", *SERRA*, vol.30 no 6, pp. 1575-1590, 2015.
- [14] S. H. Mahmoud, T. Y. Gan, "Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East", *Journal of Cleaner Production*, Vol.196, pp. 216-229, 2018a.
- [15] H. Nuissl, D. Haase, M. Lanzendorf, H. Wittmer, "Environmental impact assessment of urban land use transitions-a context-sensitive approach", *Land Use Policy*, vol. 26 no 2, pp. 414-424, 2009.
- [16] N. N. Kourgialas, G. Karatzas, "Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas-a case study", *Hydrological Sciences Journal-Journal des Sciences Hydrologiques* vol. 56 no 2 pp. 212-225, 2011.
- [17] M.S. Tehrany, B. Pradhan, M.N. Jebur, "Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS", *Journal of Hydrology*, vol. 512, pp. 332-343, 2014.
- [18] D. Oikonomidis, S. Dimogianni, N. Kazakis, K. Voudouris, "A GIS/ remote sensing based methodology for groundwater potentiality assessment in Tirnavos area, Greece", *Journal of Hydrology*, vol. 525, pp. 197-208, 2015.
- [19] H. E. Çelik, G. Coskun, H. K. Cigizoglu, N. Agiralioğlu, A. Aydın, A. I. Esin, "The analysis of 2004 flood on Kozdere Stream in Istanbul". *Natural Hazards*, vol. 63, pp.461-477, 2012.
- [20] T. L. Saaty, *The analytic hierarchy process*, New York: McGraw Hill, pp. 281, 1980.
- [21] A. Ramos, L. Cunha, P. P. Cunha, "Application de la Méthode de l'Analyse Multicritère Hiérarchique à l'étude des glissements de terrain dans la région littorale du centre du Portugal: Figueira da Foz-Nazaré", *Geo-Eco-Trop.*, vol. 38, no 1, pp. 33-44, 2014.
- [22] T.L. Saaty, "Decision making with the analytic hierarchy process", *International Journal Service Sciences*, vol. 1, pp. 83-98, 2008.
- [23] R. V. VARGAS, Utilizando a programação multicritério (Analytic Hierarchy Process - AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. PMI Global Congress - North America, EUA, 2010.
- [24] T. L. Saaty, G. Vargas, "Inconsistency and rank preservation", *Journal of Mathematical Psychology*, vol. 28, pp. 205-214, 1984.