

# **CARTOGRAPHIE DU RISQUE D'INONDATION PAR UNE APPROCHE COUPLÉE DE LA TÉLÉDÉTECTION ET DES SYSTÈMES D'INFORMATIONS GÉOGRAPHIQUES (SIG) DANS LE DÉPARTEMENT DE SINFRA (CENTRE-OUEST DE LA COTE D'IVOIRE)**

*Vami Herman N'guessan Bi*

*Bachir Saley*

Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection  
(CURAT), Université de Felix Houphouet Boigny, Côte d'ivoire

*Soulèye Wade*

Laboratoire de Télédétection Appliquée, Institut des Sciences de la Terre,  
Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal

*Djagoua Eric Valere*

*Fernand Kouame*

*Kouadio Affian*

Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection  
(CURAT), Université de Felix Houphouet Boigny, Côte d'ivoire

---

## **Abstract**

The objective of this study is to evaluate and spatialize the risk of flooding in the department Sinfra located in west-central Côte d'Ivoire, with a view to prevention, through the combined use of remote sensing and Geographic Information Systems (GIS). In this study the risk of flooding has been addressed in two main areas such as risk overflowing rivers and the risk associated with the rise of groundwater. This analysis also identified areas of risk of flooding for priority action. Thus the risk of flooding due to overflowing of rivers is present in the Western of the department of Sinfra, in a proportion of 17% and is less higher than the risk associated with the rise of groundwater which represents approximately 38% of the department and concerns mainly areas situated in the center and East of the department.

---

**Keywords:** Flooding, overflowing rivers, rising of groundwater, Remote Sensing, Geographical Information System

---

## Résumé

L'objectif de la présente étude est d'évaluer et spatialiser le risque d'inondation dans le département de Sinfra situé au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, dans un souci de prévention, à travers l'utilisation couplée de la Télédétection et des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG). Dans cette étude le risque d'inondation a été abordé sous deux axes principaux à savoir le risque lié au débordement des cours d'eaux et le risque lié à la remontée de nappe. Cette analyse a permis d'identifier les zones à risque d'inondation nécessitant une intervention prioritaire. Ainsi le risque d'inondation lié au débordement des cours d'eau concerne l'Ouest du département de Sinfra, dans une proportion de 17% et est moins élevé que le risque lié à la remontée de nappe qui représente environ 38% du département et concerne des zones situées au Centre et à l'Est du département.

---

**Mots-clés:** Inondation, débordement des cours d'eaux, remontée de nappe, Télédétection, Système d'Informations Géographiques

## Introduction

De nombreuses études (Afouda *et al.*, 1997, Benzarti *et al.*, 2001) et observations montrent une irrégularité des pluies, un raccourcissement de la longueur des saisons pluvieuses, une hausse des températures, une persistance et rigueur des saisons sèches. Les saisons des pluies sont réduites avec des débuts tardifs et de fins précoces, perturbant ainsi les calendriers culturels et les phénomènes météorologiques extrêmes dont les inondations surviennent de façon hasardeuse ces dernières années. Tous ces éléments montrent bien que la Côte d'Ivoire subit les conséquences du changement climatique et qu'elle n'est pas à l'abri des catastrophes naturelles. C'est dans ce contexte que la présente étude est réalisée avec pour objectif d'évaluer à partir d'une utilisation couplée de la Télédétection et des Systèmes d'Information Géographiques (SIG) le risque d'inondation dans le département de Sinfra, une localité située au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. Etant donné que les inondations en zone tropicale humide sont principalement dues à des pluies intenses ou des pluies d'intensité moyenne et de longue durée (Saley *et al.*, 2003), une attention particulière est accordée à l'étude du champ de précipitation. Cette étude sera menée suivant plusieurs axes qui permettront de cartographier le risque d'inondation par débordement des cours d'eaux et par la remontée de nappe.

## **Justification et choix du modèle**

Le risque d'inondation est évalué suivant plusieurs méthodes dont l'approche géomorphologique qui consiste à utiliser une cartographie géomorphologique basée sur le terrain et la photo-interprétation et l'approche hydrogéomorphologique (Masson *et al.*, 1993, 1996). L'approche hydraulique (Bates *et al.*, 1997), l'approche historique et la combinaison des méthodes historique et hydrogéomorphologique (Garry et Veyret, 1996) sont également utilisées.

Selon Meyer *et al.* (2001), la Télédétection et les SIG sont des outils particulièrement performants pour l'étude des risques naturels. Les données d'observation de la Terre constituent un puissant outil de surveillance des phénomènes d'inondation (Puech, 1995) car elles permettent d'identifier les zones affectées, mais aussi peuvent aider à la mise en place de plans de prévention des risques (Marinelli *et al.*, 1997 ; Sandholt et Bjarne, 2000 ; Yesou *et al.*, 2001 ; Puech et Raclot, 2002 ; Flouzat *et al.*, 2003) . Ainsi plusieurs travaux ont utilisé des images satellitaires Radar et optique pour évaluer le risque d'inondation (Rango et Salomonson, 1974 ; Blasco *et al.*, 1992 ; Yésou et Chastenet, 2000 ; Bach *et al.*, 1999 ; Ortolani et Francesco, 2000 ; Schneider, 2000). La prédiction des inondations sur la base de modèles hydrologiques a également fait l'objet de nombreuses investigations (Booij, 2003 ; Villegas, 2004). La gestion optimale des inondations nécessite au préalable une bonne connaissance des causes du phénomène et une bonne cartographie de son extension (Wade *et al.*, 2008). Et la Télédétection spatiale et les SIG jouent un rôle de premier plan dans cette quête de connaissance, comme le montrent Bonn et Dixon (2005). La télédétection aérospatiale offre à l'heure actuelle un ensemble de réponses aux problématiques de qualification et de quantification de l'aléa et de la vulnérabilité (Maurel *et al.*, 2001).

### **1. Localisation de la zone d'étude**

Le département de Sinfra, est une localité située au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire et fait partie de la région administrative de la Marahoué. Le département de Sinfra comprend quatre (4) sous- préfectures : Sinfra, Bazré, Kouéinfla et Kononfla. Le territoire départemental de Sinfra s'étend sur 1600 km<sup>2</sup> et est limité au Nord par le département de Bouaflé, au Sud par les départements d'Oumé et de Gagnoa, à l'Est par le département de Yamoussoukro et à l'Ouest par les départements de Daloa et d'Issia. Le département de Sinfra est situé entre les longitudes 5,38°W et 6,15°W et les latitudes 6,48°N et 6,82°N. Il est à l'intersection des degrés carrés de Gagnoa et Daloa comme le présente la figure 1.

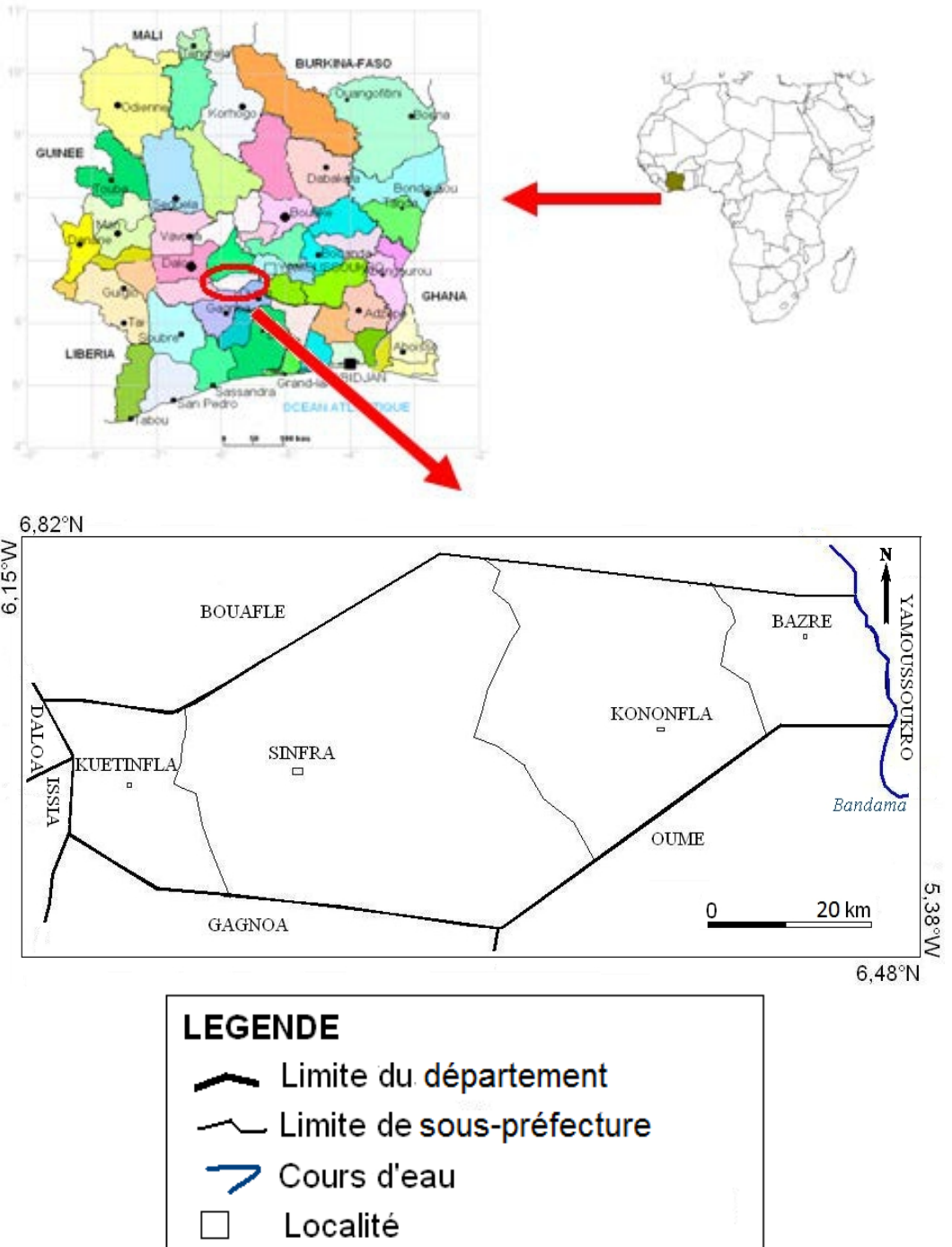


Figure.1. Localisation de la zone d'étude

Le chef-lieu du département, la ville de Sinfra est située sur la ligne de partage des eaux entre deux cours d'eau principaux et permanents Tene au Centre et Houda à l'Ouest comme le montre le réseau hydrographique du département (figure 2).

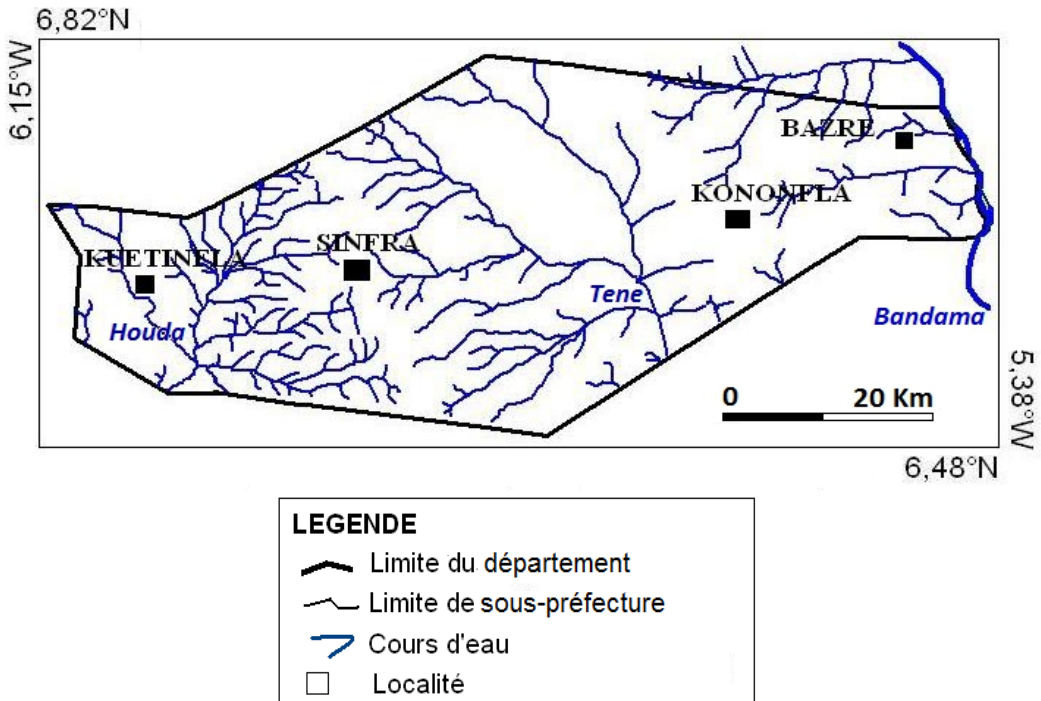


Fig.2. Réseau hydrographique du département de Sinfra extraite des cartes topographiques des degrés carré de Gagnoa et Daloa

La ville de Sinfra est également située dans une zone dont le relief est monotone comme le montre le modèle numérique d'altitude (MNA) de la figure 3:

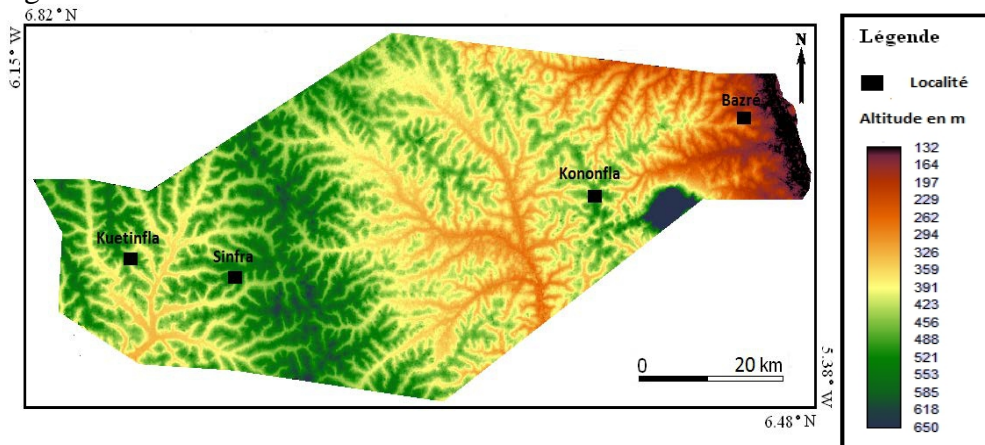


Figure 3. Modèle numérique d'altitude du département de Sinfra

## **2-Matériel et méthode**

Pour réaliser cette étude, plusieurs types de données ont été nécessaires. L'analyse de ces données a nécessité l'utilisation de plusieurs logiciels selon le type de traitement requis.

### **2-1 Données et matériel**

Plusieurs types de données ont été nécessaires pour la réalisation de ce travail de recherche. Le traitement des images satellitaires Landsat TM de 1986 et ETM+ 2003 de la scène 197-055 , respectivement enregistrées le 16 janvier et le 20 janvier, a permis d'extraire la zone d'étude. Des cartes topographiques des degrés carrés de Daloa et de Gagnoa au 1/ 200 000 provenant du Centre de Cartographie et de Télédétection (CCT) ont servi à l'extraction du réseau hydrographique .Des séries chronologiques de hauteurs de pluies journalières, mensuelles et annuelles de 1966 à 2000 du département de Sinfra et de 26 stations pluviométriques environnantes ont été nécessaires. Elles provenant de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM) et ont fourni les informations nécessaires à l'appréciation de l'intensité pluviométrique. Des cartes géologiques au 1/200 000 des degrés carrés de Daloa et Sinfra, fournies par la Société de Développement Minier (SODEMI) ont permis d'apprécier la géologie du terrain. Le traitement d'un Modèle Numérique d'Altitude (MNA) à servir à l'extraction les détails sur la morphologie du terrain. L'état des sols a été défini à partir des cartes pédologiques (Perraud et Souchère, 1970) au 1/500 000. Etant donné le caractère multisources des données, plusieurs types de traitement ont été nécessaires ce qui implique l'utilisation de plusieurs logiciels.

La numérisation du réseau hydrographique a été réalisée avec le logiciel Mapinfo Professionnel 7.5 ainsi que l'extraction des informations contenues dans les cartes topographiques, pédologiques et géologiques. Idrisi Andes (15) a servi pour le traitement des images satellitaires et l'extraction de la zone d'étude. Pour l'analyse multicritère ARCVIEW GIS 3.2 a été nécessaire. Les coordonnées géographiques ont été relevées à l'aide d'un GPS (Global Positioning System)

### **2-2 Méthode**

Le risque d'inondation dans ce travail est abordé suivant deux axes principaux (Yessou *et al.*, 2003) : le risque d'inondation par le débordement des cours d'eaux et le risque d'inondation par la remontée de nappe. Le risque d'inondation a été évalué à travers une analyse multicritère (Jourda, 2005). Le mode d'agrégation des données est la codification. L'approche multicritère adoptée est inspirée des travaux de Jourda (2005).

## **2.2.1 Evaluation du risque d'inondation**

Le risque est exprimé par le produit d'un aléa et d'une vulnérabilité (Gilard et Gendreau, 1998; Onana *et al.*, 2005; Henry, 2006) :  
Risque = Alea \* Vulnérabilité.

Les travaux de Yessou *et al.*(2003) ont porté sur l'apport des données à haute et très haute resolution spatiale dans les approches de définition des zones à risque et de mise en place de plan de prévention des risque naturels d'inondation. Il s'agit plus particulièrement de la compréhension des extensions des champs d'inondation. Les inondations selon leurs travaux sont tributaires de l'etrote imbrication entre les eaux souterraines et les eaux de surface. Elles sont generées par le debordement des rivières allochtones et montée du toit de la nappe. Selon leur travaux le phenomène d'inondation a deux composantes :

- une composante verticale qui regit la remontée de nappe et,
- une composante horizontale qui definit le debordement des cours d'eau.

Henry *et al.* (2003) abordent dans le même sens et soutiennent que la prevision des inondations depend de deux éléments cruciaux à savoir le degré de saturation du sol et le mouvement horizontal des eaux de surface.

En d'autres termes la composante verticale de l'inondation concerne des eaux souteraines et la composante horizontale les eaux de surface.

### **2.2.1.1 Méthode de détermination du risque d'inondation par le débordement des cours d'eau**

Pour l'évaluation du risque d'inondation par le débordement des cours d'eaux, les variables définies sont les suivantes : la densité de drainage, la lithologie, le domaine structural, le drainage souterrain, la pente, la perméabilité induite par le réseau de fracture, le type d'occupation du sol, et l'intensité pluviométrique.

Le risque d'inondation par débordement des cours d'eau résulte de la combinaison de la vulnérabilité à l'inondation par le débordement des cours d'eau et de l'aléa à l'inondation (Saley *et al.*, 2003).

#### **2.2.1.1.1 Évaluation de la vulnérabilité à l'inondation par le débordement des cours d'eau**

Les variables nécessaires à la détermination de cette vulnérabilité sont de plusieurs types car c'est l'action combinée de plusieurs facteurs qui provoque les inondations (Dia *et al.*, 2006b; Bâ *et al.*, 2007). Il s'agit de la densité de drainage, la lithologie, le domaine structural, le drainage souterrain, la pente et la perméabilité induite par le réseau de fracture.

La cartographie du risque d'inondation par le débordement des cours d'eaux a été établie suivant une approche multicritère par la codification

des données multisources considérées. Ainsi La carte de la densité de fracturation a été combinée avec celle de la densité de drainage, celle du relief ombré, de la carte lithologique, celle des pentes, des perméabilités induites et du drainage souterrain pour donner la carte de vulnérabilité à l'inondation par débordement des cours d'eaux comme le montre la figure 4:

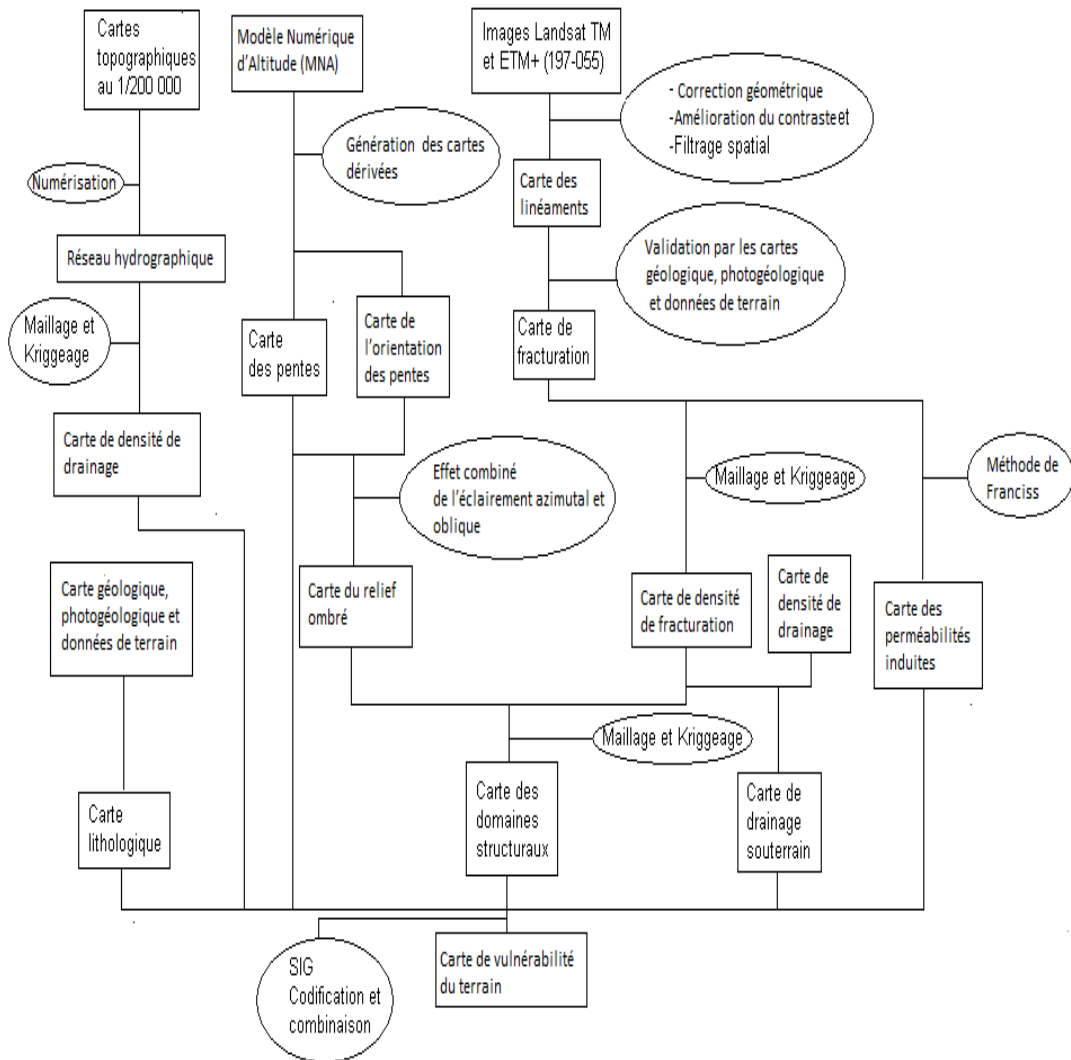


Figure 4. Organigramme de l'élaboration de la carte de vulnérabilité à l'inondation par débordement des cours d'eaux (Saley et al., 2003)

### 2.2.1.1.2 Détermination de l'aléa à l'inondation

L'aléa à l'inondation est évalué à partir deux critères dont le mode d'occupation du sol et l'intensité pluviométrique.

La combinaison des cartes d'intensité pluviométrique et d'occupation du sol permettent d'apprécier l'aléa (Saley, 2003) selon la figure 5:



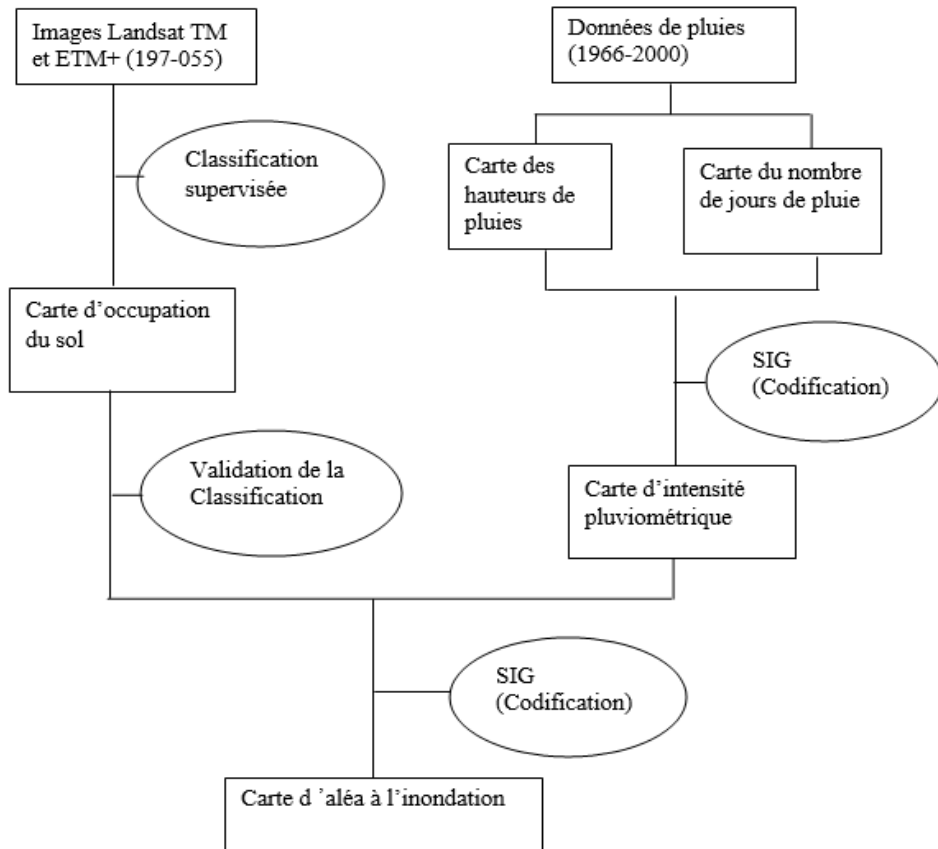


Figure 5. Organigramme de la détermination de l'aléa à l'inondation

La carte du risque d'inondation par le débordement recherchée résulte de la combinaison par codification des cartes de vulnérabilité et de l'aléa.

### 2.2.1.2 Méthode de détermination du risque d'inondation par la remontée de nappe

Pour évaluer le risque d'inondations par la remontée de nappe, plusieurs variables ont été définies : la lithologie, la densité de drainage, la pente, le relief ombré, la potentialité en eau souterraine l'intensité pluviométrique et l'occupation du sol.

#### 2.2.1.2.1 Détermination de la vulnérabilité à l'inondation par la remontée de nappe

Les critères relief ombré , potentialité en eau souterraine, lithologie, densité de drainage, et pente ont été croisés pour donner la carte de vulnérabilité à l'inondation par la remontée de nappe comme l'indique la figure 6 :

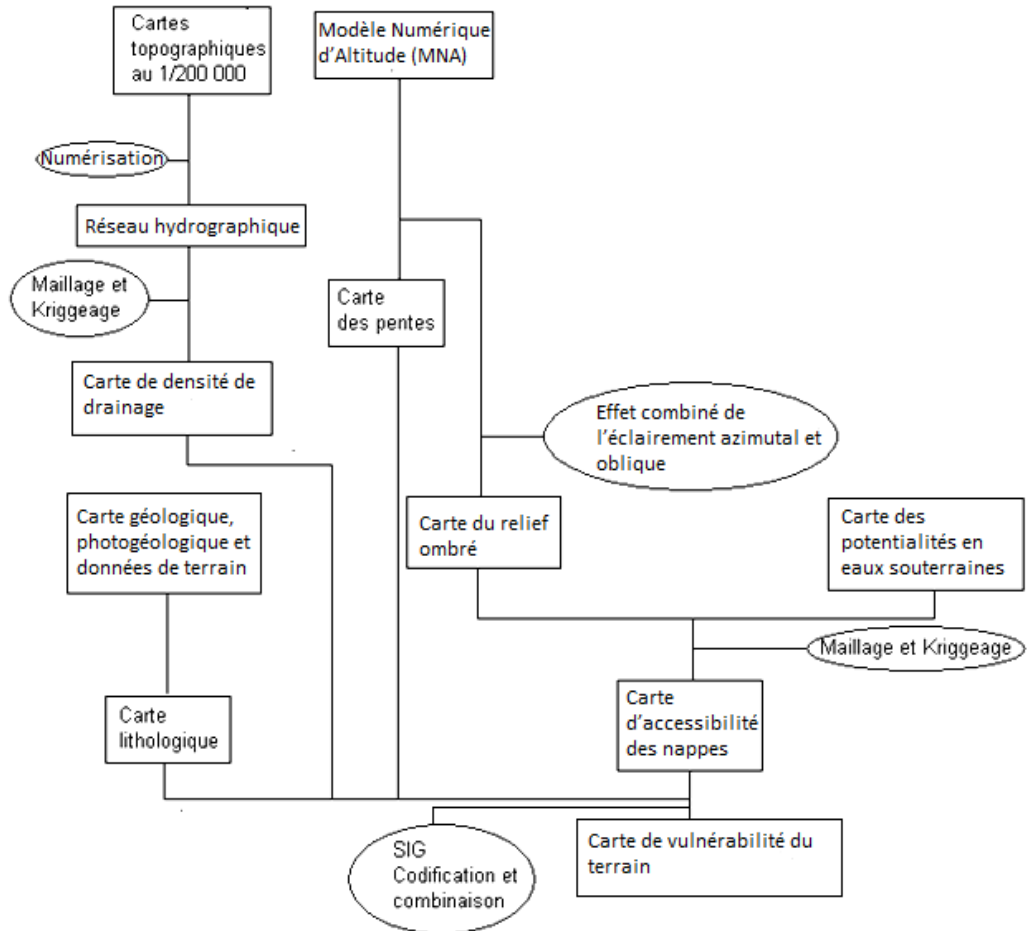


Figure 6. Organigramme d'élaboration de la carte de vulnérabilité à l'inondation par la remontée de nappe (Bourrel et al.,2001)

La détermination du risque d'inondation par la remontée de nappe nécessite également la connaissance de l'aléa à l'inondation.

#### 2.2.1.2.2 Détermination de l'aléa à l'inondation par la remontée de nappe

L'aléa à l'inondation étant est le même que dans le cas du risque d'inondation par débordement des cours d'eau, il résulte de la combinaison des critères intensité pluviométriques et occupation du sol.

La carte d'aléa est combinée à celle de la vulnérabilité pour produire la carte du risque d'inondation par la remontée de nappe.

Ces cartes du risque d'inondation de plaine, outils d'aide à la décision ainsi obtenues contribueront à l'élaboration des stratégies d'atténuation et

d'adaptation des populations au aux risques naturels dus aux effets des changements climatiques.

La méthode de détermination de la carte du risque potentiel d'inondation recherchée fait l'objet du point suivant.

### **2.2.1.3 Evaluations du risque potentiel d'inondation**

La carte du risque potentiel d'inondation est la résulte de la combinaison de la carte du risque d'inondation par le débordement des cours d'eaux et celle du risque d'inondation par la remontée de nappe (Bourrel *et al.*, 2001).

Dans leur travaux Bourrel *et al.* (2001) ont pu mettre en évidence que l'inondation est le résultats de la conjugaison de deux processus: un processus exogène qui implique l'arrivée des eaux de pluies en amont et un processus endogène , avec le débordement des nappes phreatiques alimentées par les précipitations locales. Ils soutiennent dans leur travaux que trois cas de figures peuvent alors se présenter:

- soit aucun des processus n'a lieu,
- soit le processus endogène se produit seul,
- soit le processus exogène se produit de manière prédominante ou,
- les deux processus se produisent de manière conjuguée, provoquant ainsi les inondations les plus importantes.

Le risque d'inondation potentiel peut être considéré comme la combinaison de deux phénomènes que l'on pourrait qualifier de composantes horizontale et verticale du risque d'inondation. La composante horizontale concerne le mouvement des eaux de surface et est représentée par le risque d'inondation par le débordement des cours d'eau. La composante verticale concerne le mouvement des eaux souterraines est représentée par le risque d'inondation par la remontée de nappe.

## **3. Résultats et discussion**

Dans cette partie du travail les principaux résultats sont présentés et discutés.

### **3.1 Résultats**

Les résultats concernent la cartographie du risque d'inondation par le débordement des cours d'eau et de la remontée de nappe dont la résultante a donnée le risque potentiel d'inondation.

#### **3.1.1 Cartographie du risque d'inondation par le débordement des cours d'eaux**

Selon Saley *et al.* (2003), l'occurrence et l'intensité des pluies, paramètres naturels, sont les paramètres prépondérants de l'inondabilité.

Ainsi la carte d'intensité pluviométrique occupe une place importante dans les résultats.

### 3.1.1.1 Carte d'intensité pluviométrique

L'intensité pluviométrique dans le chef-lieu du département et la localité de Kuetinfla est très élevée et cette portion représente environ 44 % du territoire départemental. Ces deux localités reçoivent une quantité de pluie plus élevée pouvant recharger la nappe phréatique.

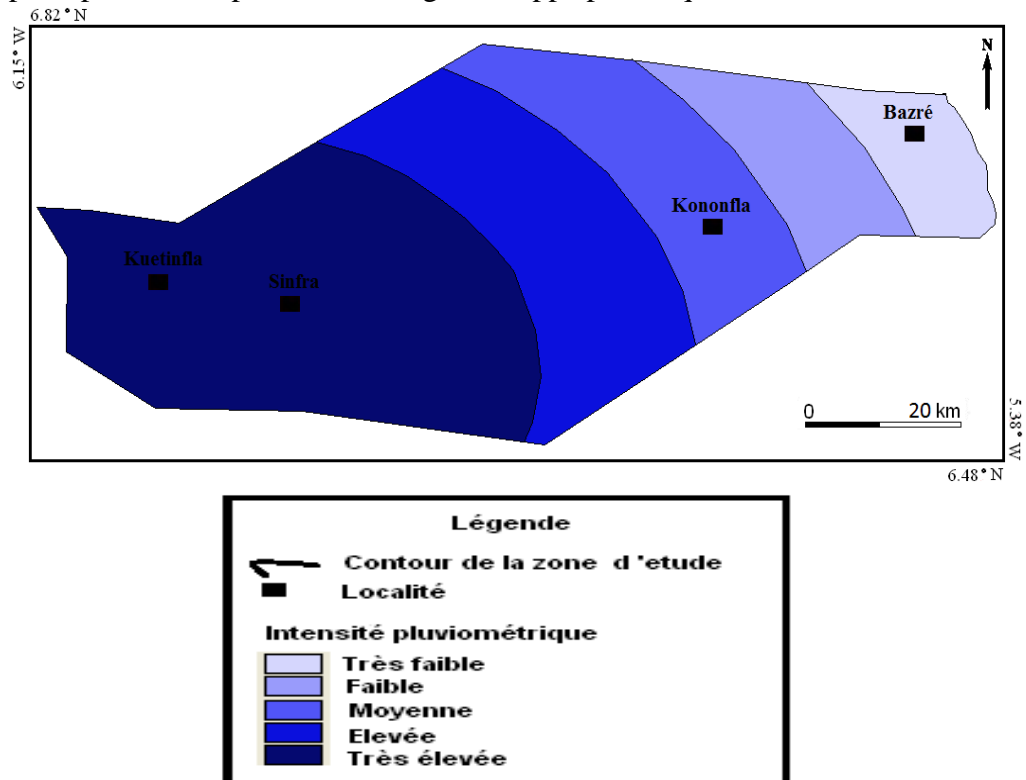


Figure 7. Carte de l'intensité pluviométrique du département de Sinfra

### 3.1.1.2 Carte du risque d'inondation par le débordement des cours d'eaux

La ville de Sinfra, chef-lieu du département ne constitue pas une préoccupation car elle présente un risque d'inondation par débordement des cours d'eaux faible parcontre la sous-prefecture de Kuetinfla mérite une attention particulière car elle présente un risque élevé couvrant environ 50 % de son territoire soit 17 % du territoire départemental (figure 8). La localité de Kueinfla présente un risque élevé . Les localités de Kononfla et de Bazré présentent un risque d'inondation modéré totalisant environ 67% du département.

En effet dans le lit majeur du cours d'eau Colabata, dans la sous-préfecture de Kuetinfla, le phénomène d'inondation par le débordement à lieu en Janvier voire Février et dure 2 à 3 mois souvent 6 mois et prend fin en Novembre.

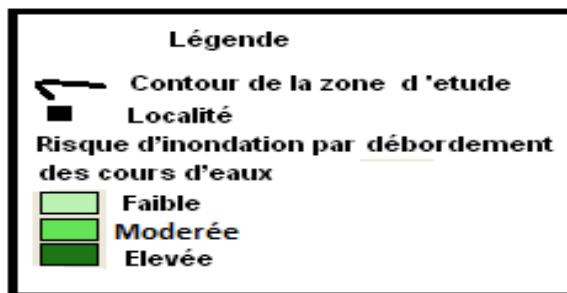
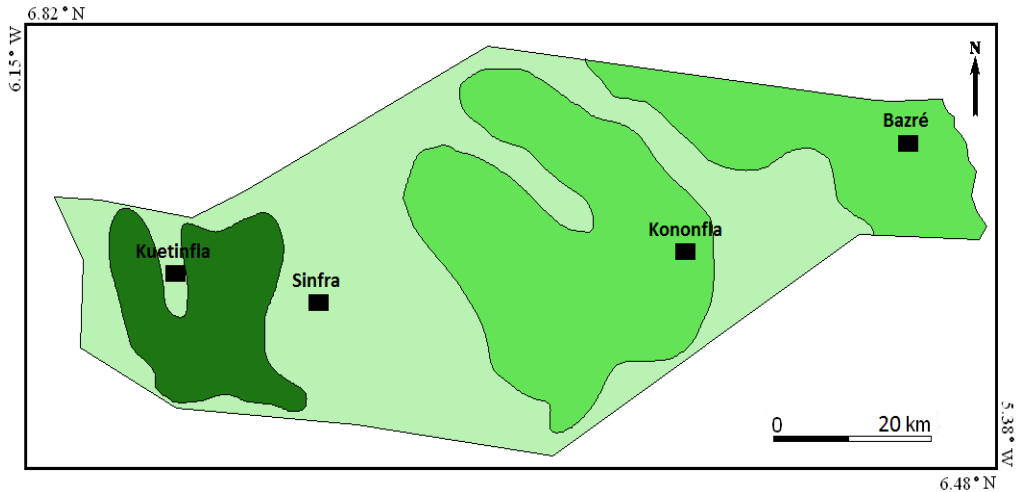


Figure 8. Carte du risque d'inondation par débordement des cours d'eau

### 3.1.2 Cartographie du risque d'inondation par la remontée de nappe

L'inondation par la remontée de nappe est le résultat d'un processus endogène lié à la remontée des eaux souterraines (Bourrel *et al.*, 2001). Les zones d'accumulation de ces eaux souterraines sont données par la carte des potentialités en eaux souterraines (figure 9).

#### 3.1.2.1 Carte des potentialités en eaux souterraines

Cette carte renseigne sur la présence effective de l'eau souterraine. Elle représente la distribution spatiale du potentiel en eau souterraine de la région de Sinfra à travers quatre (4) sensibilités :

- potentialité médiocre : elle est représentée par des plages dispersées sur toute la région dont les plus importantes sont situées au Nord et au Sud du département et particulièrement dans la ville de Sinfra. Elle représente une proportion de 34,5% ;

- potentialité bonne : la probabilité de trouver de l'eau souterraine dans ces zones et en quantité suffisante est au-dessus de la moyenne et s'étend de l'Ouest à l'Est du secteur d'étude. Elles représentent environ 70% du département de Sinfra. Ces zones sont caractérisées par une bonne accumulation en eau souterraine ;
- potentialité excellente : Elle se situe à l'Ouest et au Sud du département;
- La région de Sinfra zone d'étude présente dans son ensemble une bonne potentialité en eau souterraine (figure 9).

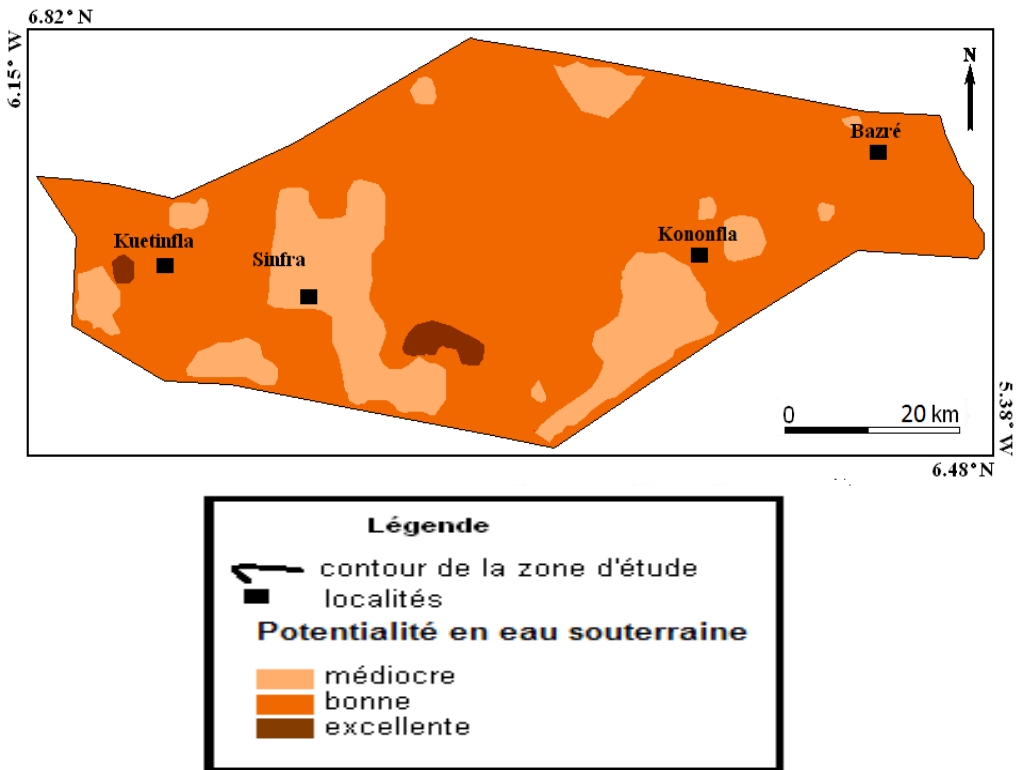


Figure 9. Carte des potentialites en eaux souterraines

### 3.1.2.2 Carte du risque d'inondation par la remontée de nappe

Environ 34 % du département de Sinfra présente un risque d'inondation par la remontée de nappe élevé dont la grande partie est située dans la sous-préfecture de Kononfla. Les sous-préfectures de Sinfra et Kuetinfla présentent dans l'ensemble un risque faible. Au sud de Kuetinfla se trouve une zone présentant un risque élevé avec une proportion de 17% de son territoire. La localité de Bazré présente un risque modéré soit sur 27 % de son territoire. Quelques palges sont réparties dans les sous-préfectures de Bazré et Kuetinfla. Environ 11,5 % du département de Sinfra présente un

risque modéré. Le risque d'inondation par remontée de la nappe est présent sur environ 38 % du territoire départemental (figure 10).

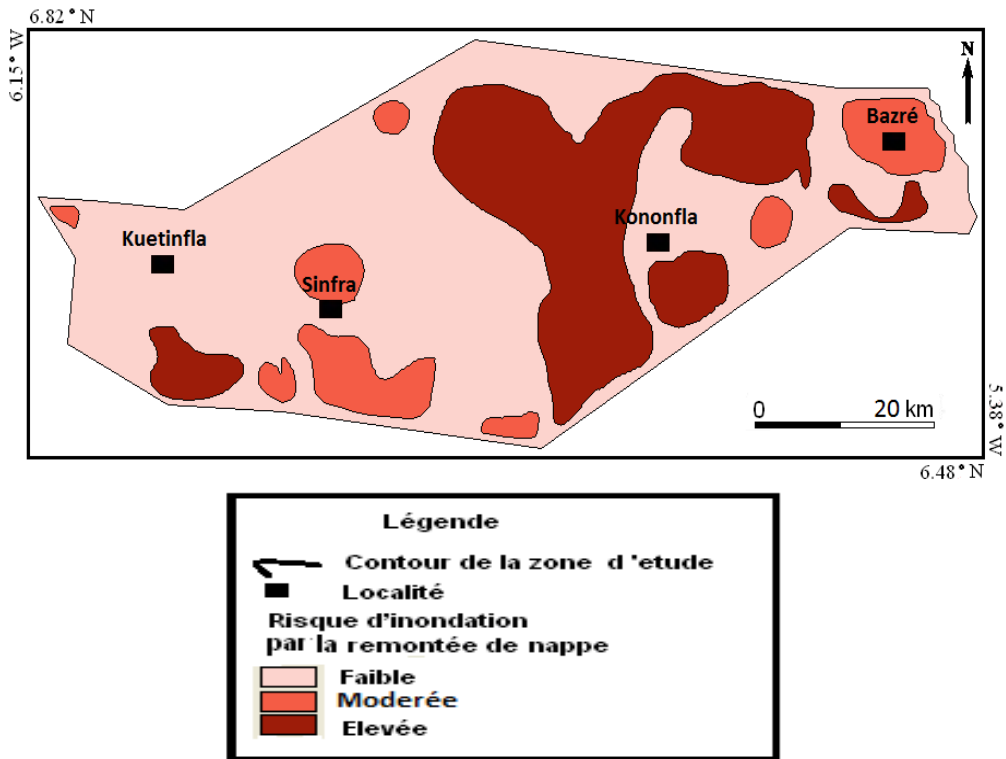


Figure 10. Carte du risque d'inondation par la remontée de nappe

En effet, dans la sous-préfecture de Kuetinfla le phénomène de la remontée de nappe est fréquent il est souvent combiné au phénomène de l'inondation par le débordement des cours d'eau. Le lit majeur du cours d'eau nommé Colabata est très étendu et est fréquemment le siège de l'inondation par la remontée de nappe. Ce phénomène a cours de Février de l'année précédente à Février de l'année suivante voire Avril de l'année suivante. Dans cette zone, la remontée de nappe reprend souvent en Mars avec un pic en Juin, Juillet et Août. Elle débouche souvent sur le débordement des cours d'eau et dure de deux jours à une semaine.

Le risque potentiel d'inondation qui est la résultante des deux catégories de risques précédemment étudiés est donné par la figure 11:

### 3.1.3 Carte du risque potentiel d' inondation

Selon la cartographie du risque potentiel d'inondation dans le département de Sinfra (figure 11), il ressort que la sous-préfecture de Kuetinfla est plus prédisposée au phénomène d'inondation. Ce risque

représente 33 % du territoire de la sous-préfecture de Kuetinfla situé à l'ouest du département de Sinfra. Cette proportion représente environ 3 % du département de Sinfra. Le chef-lieu du département présente dans l'ensemble un risque d'inondation faible. La sous-préfecture de Kononfla présente un risque modéré avec une proportion d'environ 60%, il en est de même pour la sous-préfecture de Bazré avec une proportion d'environ 51 %. Dans l'ensemble environ 25 % du département de Sinfra présente un risque d'inondation modéré .

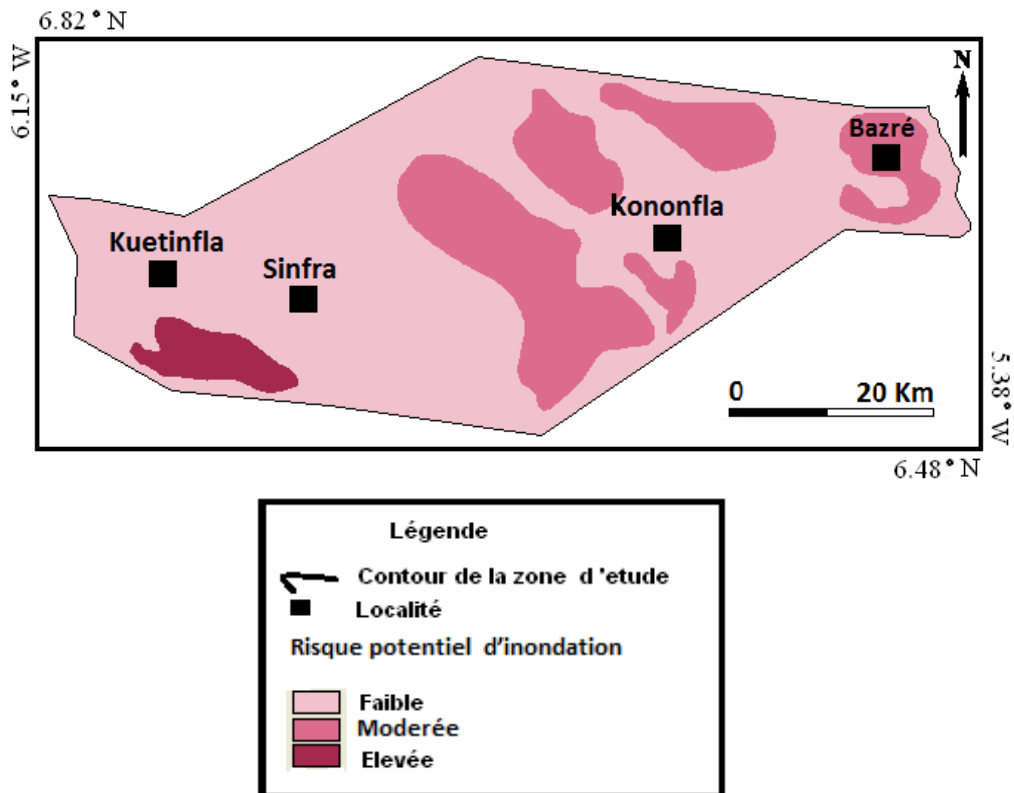


Figure 11. Risque potentiel d'inondation dans le département de Sinfra.

### 3.2 Discussion

Les inondations sont dues à une perturbation des régimes des cours d'eau et des régimes pluviométriques, provoqués par la variabilité du climat. L'agressivité du climat du fait des changements climatiques entraîne une diminution du nombre de jours de pluie ces dernières années, marquée par un retour des précipitations depuis 1994 (Kouamé, 1999; Saley, 2003). Les pays surtout ceux en voie de développement ne disposent pas de moyens suffisants pour faire face au risque d'inondation par conséquent, la prévention de ce type de risque naturel contribuerait à réduire considérablement les dégâts en cas d'occurrence. La présente étude revêt



donc son tout son intérêt car elle a permis de spatialiser le risque d'inondation afin d'identifier les zones à risque d'inondation nécessitant une intervention prioritaire.

Une étude similaire a été réalisée par Saley *et al.* (2003) dans la région semi-montagneuse à l'Ouest de la Côte d'Ivoire. Cette étude a identifié cinq niveaux de risque (très faible, faible, modérée forte, très forte) contre trois pour nos travaux (faible, modérée, élevé). Cela pourrait s'expliquer par le fait que Saley *et al.*(2003) ont travaillé dans une zone très contrastée (altitude comprise entre 200 et 600 m) alors que nos travaux se sont déroulés au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire dans une zone très peu contrastée avec une altitude moyenne comprise entre 200 et 300 m. A la différence de Saley *et al.*(2003), nos travaux ont l'avantage d'inclure en plus du risque d'inondation par le débordement des cours d'eau, le risque d'inondation par la remontée de nappe pour l'appréciation du risque d'inondation. Cela confère un caractère plus détaillé à notre étude tout en montrant l'importance du mécanisme de remontée des eaux souterraines dans le phénomène d'inondation comme l'ont montré plusieurs travaux dont ceux de Bourrel *et al.*(2001) et Henry *et al.*(2006) L'exécution de ce projet a permis de doter le département de Sinfra d'une carte de risque d'inondation qui est un document de référence pour les décideurs, et un outil d'aide à la décision à la disposition des autorités en vue d'entreprendre les actions nécessaires.

## **Conclusion**

L'étude du risque d'inondation dans le département de Sinfra a révélé deux niveaux de risque à savoir le risque d'inondation par le débordement des cours d'eaux et celui de l'inondation par la remontée de nappe. Le risque par le débordement des cours d'eau est la résultante de la conjugaison de mécanismes liés à la surface du sol: c'est la composante horizontale du phénomène d'inondation. Quant au risque lié à la remontée de nappes, il dépend des mécanismes afférents aux eaux souterraines : c'est la composante verticale du phénomène d'inondation

Cette étude a montré que le risque d'inondation lié au débordement des cours d'eaux concerne l'Ouest du département de Sinfra, dans une proportion de 17% et le risque lié à la remontée de nappe représente environ 38% et concerne principalement le centre et l'Est du département.

Ainsi l'inondation due au débordement des cours d'eaux mérite une attention particulière vu la morphologie, l'hydrologie et hydrographique du terrain dans un contexte de changements climatiques

Les inondations sont les catastrophes naturelles les plus dévastatrices, leur étude requiert des outils de pointe. L'utilisation des images radar et celle à haute résolution spatiale pourrait contribuer à améliorer les résultats

obtenus. L'évaluation du risque d'érosion hydrique du terrain permettrait une meilleure appréciation du risque lié à l'inondation.

### Remerciements

Nos remerciements vont à l'endroit de l'Agence Suédoise de coopération au Développement International (ASDI), pour nous avoir permis de participer à un programme international de formation avancée sur les changements climatiques, atténuation-adaptation à l'Institut Suedois de Météorologie et d'Hydrologie (SMHI), en Suède. Nous remercions également le Centre de Recherche Ouest Africain (CROA/WARC) pour nous avoir permis d'effectuer un stage sur l'inondation au Laboratoire de Télédétection appliquée (LTA), à l'Université Cheich Anta Diop de Dakar, sous la Direction scientifique du Professeur Souleye WADE.

### References

- Afouda A., et Adisso P: Etude stochastique des structures de séquences sèches au Bénin, Sustainability of Water Resources under Increasing Uncertainty (*Proceedings of the Rabat Symposium S, April 1997*). IAHS Publ. no. 240, 1997.
- Aberle J.T et Zavosh F.: Analysis of Probe-Fed Circular Microstrip Patches Backed by Circular Cavities, *Electromagnetics*, vol. 14, n°. 2, pp. 239-258, 1994.
- Benzarti Z., et Habaieb H : Etude de la persistance de la sécheresse en Tunisie par utilisation des chaînes de Markov (1909-1996), Science et changements planétaires / Sécheresse. Volume 12, Numéro 4, 215-20, Décembre 2001, Notes méthodologiques.
- Blasco F., Bellan M.F., Chaudhury M.U: Estimating the extent of floods in Bangladesh using SPOT data, *Remote Sensing of Environment*, 1992, Vol. 39 (3), 167-178.
- Bois Ph., Obled Ch., et Zin I: Introduction au traitement de données en Hydrologie. 7<sup>e</sup> édition revue et complétée. Edition du millénaire, 2007, 265p.
- Bourrel L.,Phillips L., Moreau S : Dynamique des inondations dans le bassin de l'amazone bolivienne. Approches par analyses hydrologiques et télédétection multicapteur et multitemps, Bulletin SFPT n° 161 (2001-1).
- Bates P.D., Horritt M.S., Smith C.N., Mason D : Integrating remote sensing observations of flood hydrology and hydraulic modeling, *Hydrological Processes*, 1997, Vol. 11 (14), 1777-1795.
- Bonn, F. and Dixon, R : Monitoring flood extent and forecasting excess runoff risk with Radarsat-1 data. *Natural Hazards*, vol, 2005.35, p. 377-393.
- Booij, M.J : Decision support system for flood control and ecosystem upgrading in the Red River basin. P. 115-122, in G, 2003.

- Ba K., Wade S., Niang I., Trebossen H., Rudant J.P : Cartographie radar en zone côtière à l'aide d'images multidates RSO d'ERS-2 : application au suivi environnemental de la Langue de Barbarie et de l'estuaire du fleuve Sénégal. *Téledétection* 2007, 7 (1-4).
- Bach H., Lampart G., Strasser G., Mauser W : First results of an integrated flood forecast system based on remote sensing data,1999, *Proceedings of IGARSS'99*, 864-866.
- Balanis C.A., *Antenna Theory: Analysis and Design*, Wiley, pp. 722-783, 1997.
- Dia A.M., Kouame J., Wade S., Rudant J.P : Application of Remote Sensing and GIS in natural disaster risk management : Case study of the Senegal river flood monitoring project (GESCAN), 2006a . Communication and poster to the International Disaster Reduction Conference (IRDC). Davos, Switzerland, August 27th – September 2, 2006.
- Dia A.M., Wade S., Deroin J.P., Frison P.L., Koume J., Rudant J.P : Apport des données SPOT et Landsat au suivi des inondations dans l'estuaire du fleuve Sénégal. 2006b, *Photointerpretation*, 2006/4, pp. 35-46.
- Flouzat G., Puech C., Dartus D : Les observations par satellite pour l'analyse et le suivi du fonctionnement des hydro-systèmes, *Bulletin de la SFPT*, 2003, n°172 (2003-4), pp. 3-10.
- Garry G. et Veyret Y: La prévention du risque d'inondation : L'exemple français est-il transposable aux pays en développement ? *Cah. Sci. hum.* 32 (2) 1996 : 423-443.
- Gilard O., et Gendreau N: « Inondabilité : Une méthode de prévention raisonnable du risque d'inondation pour une gestion mieux intégrée des bassins versants », *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, vol. 11, n° 3, 1998, p. 429-444.
- Henry J.B., Matgen P., Tholey N., Pfister L., Hoffmann L., De Fraipont P : Vers une intégration des techniques spatiales pour la gestion des inondations, *Bulletin SFPT n° 172 (2003-4)*.
- Henry J.B : *Systèmes d'information spatiaux pour la gestion du risque d'inondation de plaine*, Thèse de Doctorat d'Université, Université de Strasbourg I, France, 2006., 271p.
- Jourda J.P: *Méthodologie d'application des techniques de Télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude des aquifères fissurés d'Afrique de l'ouest. Concept de l'hydrotechnique spatiale. Cas de la zone test de Korhogo (Côte d'Ivoire) .Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles, Université de Cocody, 2005, Abidjan 402 p.*
- Kouamé, K.F : *Hydrogéologie des aquifères discontinus de la région semi-montagneuse de Man-Danané (Ouest de la Côte d'Ivoire). Apports des données des images satellitales, des méthodes statistique et fractale à*

- l'élaboration d'un système d'information hydrogéologique à référence spatiale. Thèse 3ecycle,1999, Université de Cocody, Abidjan, 210 p.
- Kouamé, K.F., Gioan, P., Biémi, J., et Affian, K : Méthode de cartographie des discontinuités images extraites d'images satellitales (exemple de la région semi-montagneuse à l'Ouest de la Côte d'Ivoire). 1999, Télédétection, vol. 1, n° 2, p. 139-156.
- Masson M., Garry., Ballais J.L: Cartographie des zones biondables : Approche hydrogéomorphologique du rive. Paris,,Ministère de l'Environnement. Ministère de l'Equipement. 1996, 100 p.
- Masson M : Après Vaison-la-Romaine.Pour une approche pluridisciplinaire de la prévision et de la planification, Revue de Géomorphologie dynamique, XLII, N° 2, Paris, 1993, p. 73-77.
- Maurel P., Raclot D., Puech C : Apports de la télédétection à très haute résolution spatiale à l'étude du risque d'inondation, Actes du Colloque SIRNAT 2001, Sophia-Antipolis, 6-7, Décembre.
- Marinelli L., Michel R., Beaudoin A: Flood mapping using ERS tandem coherence image : a case study in southern France, Proceedings of the third ERS Symposium,1997, ESA SP-414, Vol. 1,531-536.
- Mailloux R.J : On the Use of Metallized Cavities in Printed Slot Arrays with Dielectric Substrates, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. AP-35, no. 5, pp. 477-487, 1987.
- Meyer C., Geldreich P., Yesou H : Apport des données simulées SPOT 5 pour l'évaluation des dégâts de tempête dans la forêt de Haguenau (Alsace, France). Conférence SPOT 5 « vers de nouvelles applications », Toulouse 27-28 novembre ,2001.
- Ortolani A., Francesco M: Validating soil moisture estimation with ERS PRI data: operational use in DECIDE, a decision support system for floods. ERS-ENVISAT Symposimu: Looking down the Earth in the New Millenium, Gothenburg, Sweden 16-20 October 2000.
- Onana V.P., Rudant J.P., Etouna J., et Wade S : Dynamique urbaine à l'aide d'images RSO de ERS et HRV de spot, et son impact dans les facteurs d'aggravation des risques d'inondation en milieu urbain : cas de la ville de douala (cameroun), Télédétection, 2005, Vol. 5, n° (1-2-3), p 19-32.
- Ozgun O., Mutlu S., Aksun M.I., et Alatan L : Design of Dual-Frequency Probe-Fed Microstrip Antennas with Genetic Optimization Algorithm, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 51, n°. 8, pp. 1947-1954, August 2003.
- Puech C : Suivi des inondations en Afrique du Nordà l'aide de la télédétection satellitaire. In 9<sup>ème</sup> Conférence régional Afro-asiatique de la CIID, Alger, 1995, 7p.

- Perraud A. et Souchère P : Esquisse pédologique de la Côte d'Ivoire, les cartes I.G.N d'Afrique de l'Ouest, feuille Sud-Ouest, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, 1970.
- Perraud A. et Souchère P : Esquisse pédologique de la Côte d'Ivoire, les cartes I.G.N d'Afrique de l'Ouest, feuille Sud-Est, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, 1970.
- Puech C., et Raclot D : Using geographical information systems and aerial photographs to determine water levels during floods, *Hydrological Processes*, 2002, Vol. 16 (8), 1593-1602.
- Rango A., et Salamonson V.V: Regional flood mapping from space. *Water Resources Res.*, 1974,10(3), 473-484.
- Saley M., Kouame F.,Penven M.J.,Biemi J et Boyassoro K. H : Cartographie des zones à risque d'inondation dans la région semi-montagneuse à l'Ouest de la Côte d'Ivoire :Apport des MNA et de l'imagerie satellitaire, *Revue de Télédétection*, 2003, vol5,n°(1-2-3), (pp53-67).
- Saley M.B : Système d'Information Hydrogéologique à Référence Spatiale, Discontinuités pseudo images et cartographie thématique des ressources en eau de la région semi-montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, 2003, Université de Cocody, Abidjan, 211 p.
- Sandholt I., et Bjarne F: Flood monitoring in the Senegal river valley: first results based on SAR PRI data. ERS-ENVISAT Symposium“Looking down the Earth in the New Millenium”. Gothenburg, Sweden 16-20 October 2000.
- Schneider T: Evaluation of multispectral radar data for the mapping of inundation dynamics in the Save flood plain (Croatia). ERS-ENVISAT Symposium“Looking down the Earth in the New Millenium”, Gothenburg, Sweden 16-20 October 2000.
- Singh C., et Gangwar,R.P.S: Design and Simulation of Circularly Polarized Compact Microstrip Patch Antenna for C-Band Applications, *International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE)*, vol. 3, n°. 3, pp. 1175-1182, March 2011.
- Villegas P: Flood modelling in PerfumeRiver Basin, Hu Province, Vietnam. Mémoire de maîtrise, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede (Pays-Bas), 2004, 86 p.
- Wade S., Rudant J.P, Ba K., Ndoye B : Télédétection 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 Télédétection*, 2008, vol. 8, n° 3, p. 203-210.
- Yessou H.,Meyer C., Clandillon S. et P de Fraipont : Apport des données simulees Spot 5 pour la gestion du risque d'inondation", *Bulletin SFPT n° 164/165 (2001-4/2002-1)*, (pp 151-161).

Yesou H., Clandillon S., Allenbach B., Bestault C., de Fraipont P: Exploitation des données SPOT 5, SPOT 4 et SPOT 2 pour la cartographie des zones affectées par les inondations de type Cevenol les 9-10 Septembre 2002 dans le département du Gard, Actes de la 3<sup>ème</sup> Conference SURNAT, Orleans, 29-30 Janvier, 6.

Yesou H., Chastanet P : Contribution des données d'observation de la Terre à la gestion des crues lentes, Rapport Final WP3, Programme Eau et Feu, 2000, ESA, 35.

Zebiri Abdehamid. Évaluation du risque d'inondation à Constantine : Méthodologie d'approche. In: *Méditerranée*, Tome 80, 3-4-1994. Géographie physique de l'Algérie orientale. pp. 23-30.