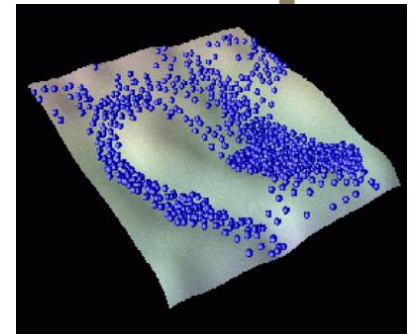


# Etude des risques hydrologiques dans les bassins versants sous contrôle anthropique. Modélisation de l'aléa, de la vulnérabilité et des risques.

Cas de la région Sud-Ouest de Madagascar.



**Mahefa Rakotoarisoa,** Cyril Fleurant, Razakamana Théodore, Nuscia Taibi, Sebastien Caillault, Mathias Rouan, Aziz Ballouche.



# Contexte et problématique

Manifestation des aléas sous diverses formes

- Perturbations importantes sur le cycle hydrologique
- Conséquences sur les activités anthropiques

Augmentation des phénomènes climatiques extrêmes (cyclones etc.)

- inondations violentes
- influence sur la vie sociale et économique des populations locales.



# Objectifs de la thèse

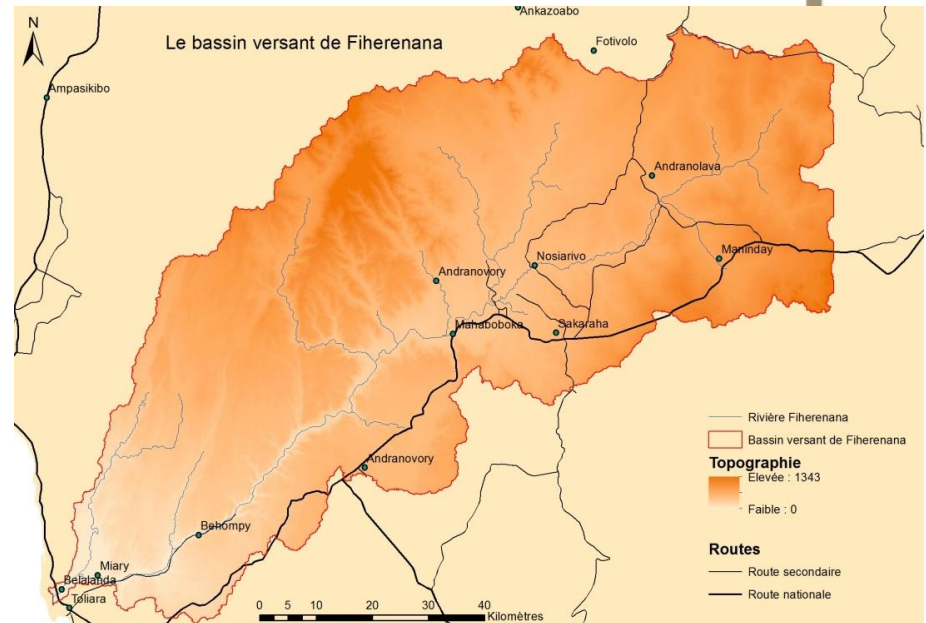
**Comprendre le comportement des risques hydrologiques dans le cas des zones les plus vulnérables dans un contexte de changement climatique.**

Caractériser l'évolution de l'Aléa.  
Evaluer ses conséquences sur la société.  
Comment quantifier la vulnérabilité et augmenter la capacité de résilience?

## Etude du triplet

- Risque
- Aléa
- Vulnérabilité

# Choix du site d'étude



**Superficie : 7500 km<sup>2</sup>**

Le Fihierenana prend sa source dans le massif de l'Isalo. Il traverse la vallée du plateau calcaire, draine la plaine de Toliara pour se déverser dans le Canal de Mozambique. Son parcours est d'environ 208 km.

C'est la Rivière qui cause chaque année des dégâts liés aux inondations dans la ville de Toliara.



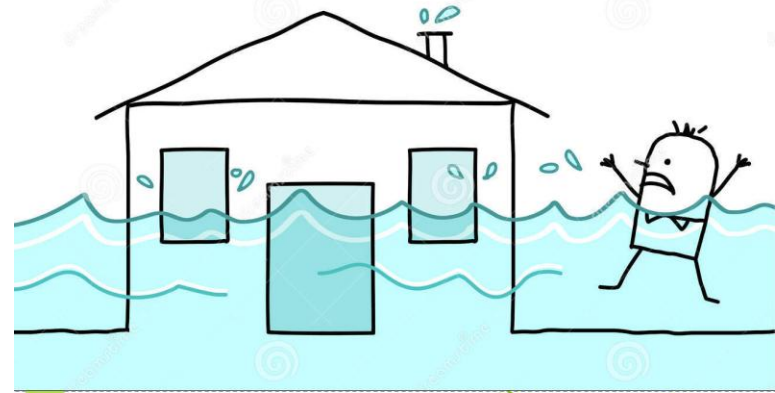
université  
angers

# CARACTERISATION DE LA VULNERABILITE DE LA VILLE DE TOLIARA ET DE SES ENVIRONS FACE AUX INONDATIONS

**Approche par indicateur micro-échelle à l'échelle du bâti : Indice de vulnérabilité (V index) = composé de 4 critères.** Inspirée fortement du VIE (Creach et al., 2014)

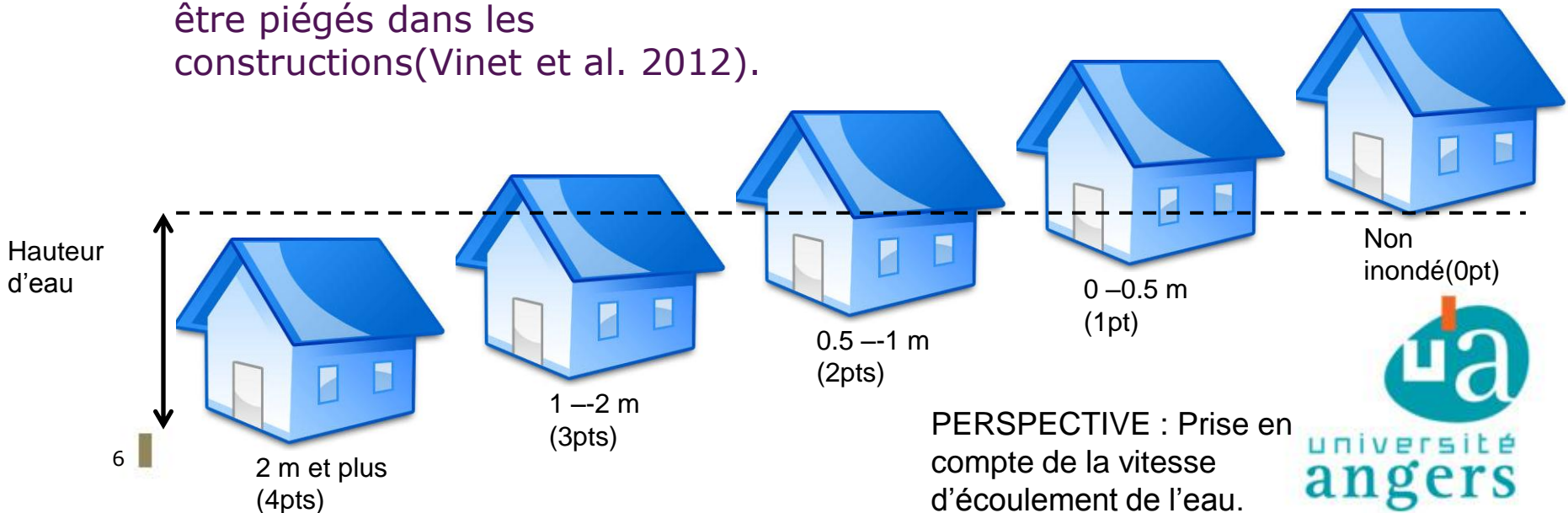
# CRITERE 1 : Hauteur d'eau potentiel

- Au delà de **0,50 m**, les véhicules terrestre ne sont plus utilisables (surtout pour les secours)
- Il est admis qu'au delà de **1m** de submersion, une personne en bonne santé ne peut plus se déplacer normalement (Ministère de l'écologie et al. 2011).
- Au delà de **2m**, les gens peuvent être piégés dans les constructions (Vinet et al. 2012).



Download from  
Dreamstime.com  
This watermarked comp image is for previewing purposes only.

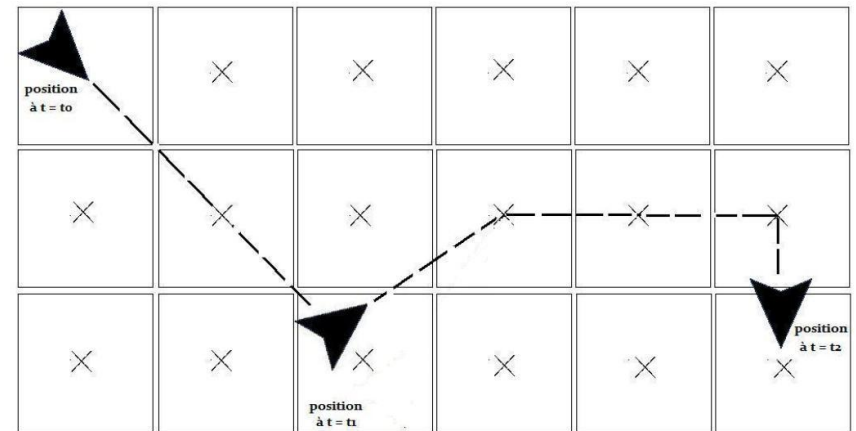
18444029  
NI | Dreamstime.com



PERSPECTIVE : Prise en compte de la vitesse d'écoulement de l'eau.

# CRITERE 1 : Hauteur d'eau potentiel

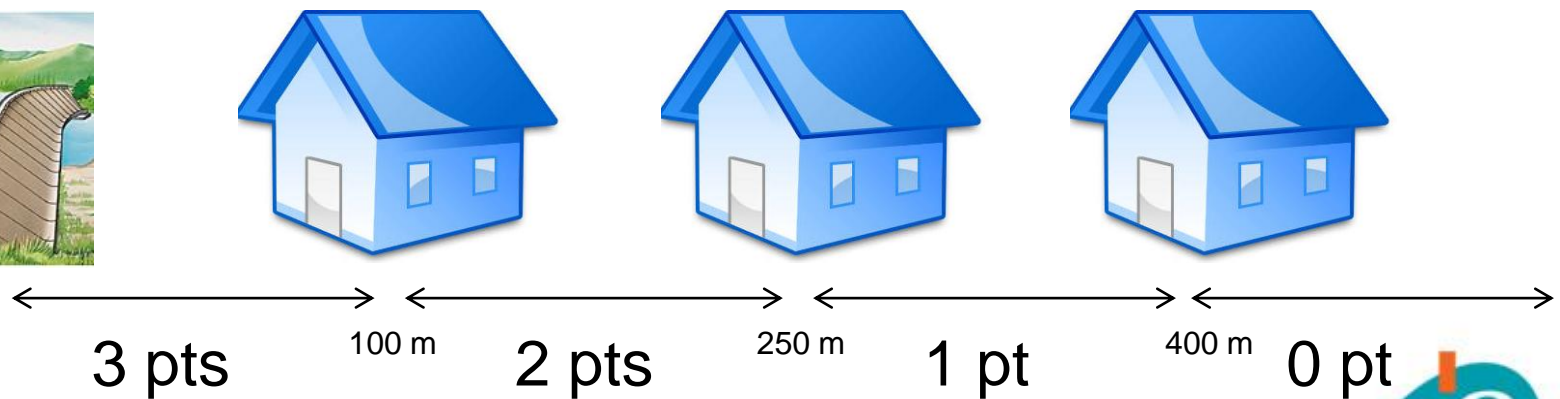
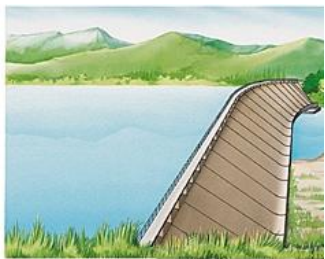
- **Modèle Numérique de Terrain : Aster (Résolution 30 m);**
- **Assignation d'un niveau d'élévation de la rivière (paramètre de l'Aléa);**
- **Algorithme de détermination du h potentiel pour chaque maille (et pour chaque habitation);**
  - **SIG** : Approche statique : différence couche d'élévation d'eau et MNT.
  - **SMA** : Simulation d'inondation dynamique : Déplacement topographique d'agents transmettant à chaque fois les hauteurs d'eau.



**Simulation de l'écoulement par système multi-agent (Rakotoarisoa et al., 2014)**

# CRITERE 2 : Distance aux ouvrages de protection

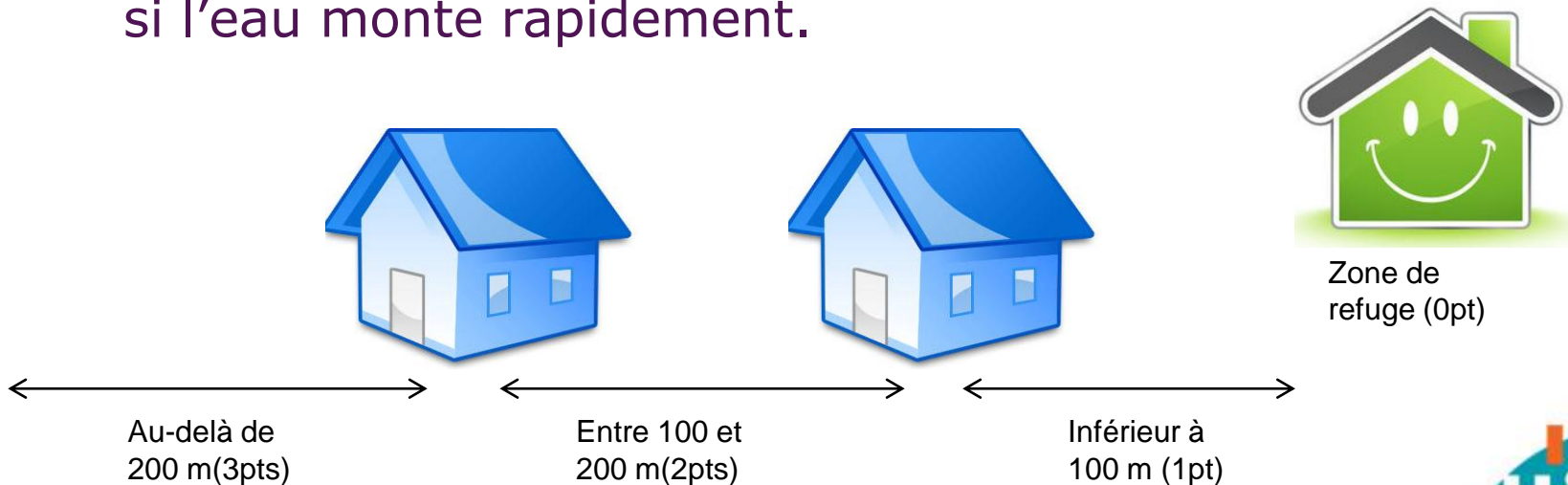
- Les ouvrages de protection créent un faux sentiment de sécurité aux occupants(Vinet et al. 2011).
- Plus l'habitation est près de la digue, plus elle est vulnérable.
- Concerne surtout les villages près de la digue de Fiherenana ( Ankoronga, Belemoka Ampasy etc.)





# CRITERE 3 : Distance aux zones de refuges

- Est défini comme zone de refuge tout zone de 100 m<sup>2</sup> qui ne peut être inondé (Sahal, 2011) – 30m x 30m dans notre cas.
- En cas d'inondation, **à moins de 100 m**, il est possible d'atteindre la zone de refuge.
- **Entre 100 et 200 m**, c'est plus difficile.
- **Au delà de 200 m**, cela devient impossible, spécialement si l'eau monte rapidement.



PERSPECTIVE : Prendre en compte le temps de déplacement des habitants, les voies de communication, avantages d'une approche SMA.

# CRITERE 4 : Typologie Architecturale des habitations

- Les caractéristiques architecturales des habitations de Toliara sont des facteurs important de vulnérabilité aux inondations.
- Identification un par des habitations sur google earth (correspondance toit/ombre/Type).
- Validation sur terrain – descente dans les villages avec l'aide des étudiants de Toliara.



Maison vondro (roseau) ou feta sans plancher et sans réel fondation (4pts)



Maison en bois ou en tôle (3pts)



Maison en briques (2pts)



Maison disposant d'un étage (1pt)

## V index = Somme des Critères



- V index = 1
- Construction de type solide à étage situé dans une zone non inondée.



- $1 < V \text{ index} < 6$
- Vulnérabilité certaine face au risque d'inondation : inadaptation du bâti OU valeur élevée des hauteurs d'eau potentielles.

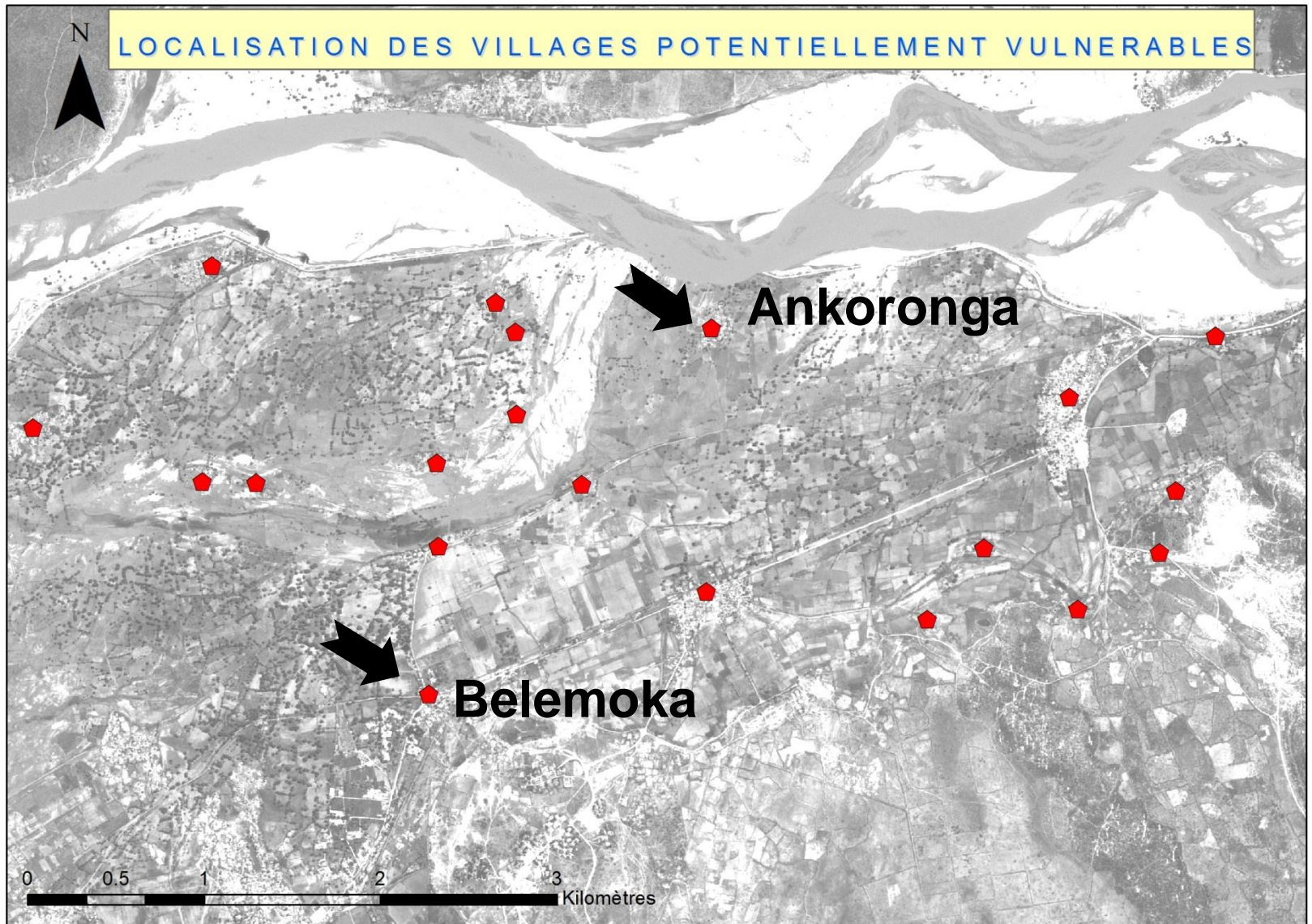


- $6 < V \text{ index} < 10$
- Vulnérabilité forte face au risque d'inondation : inadaptation du bâti ET valeur élevée des hauteurs d'eau potentielles.

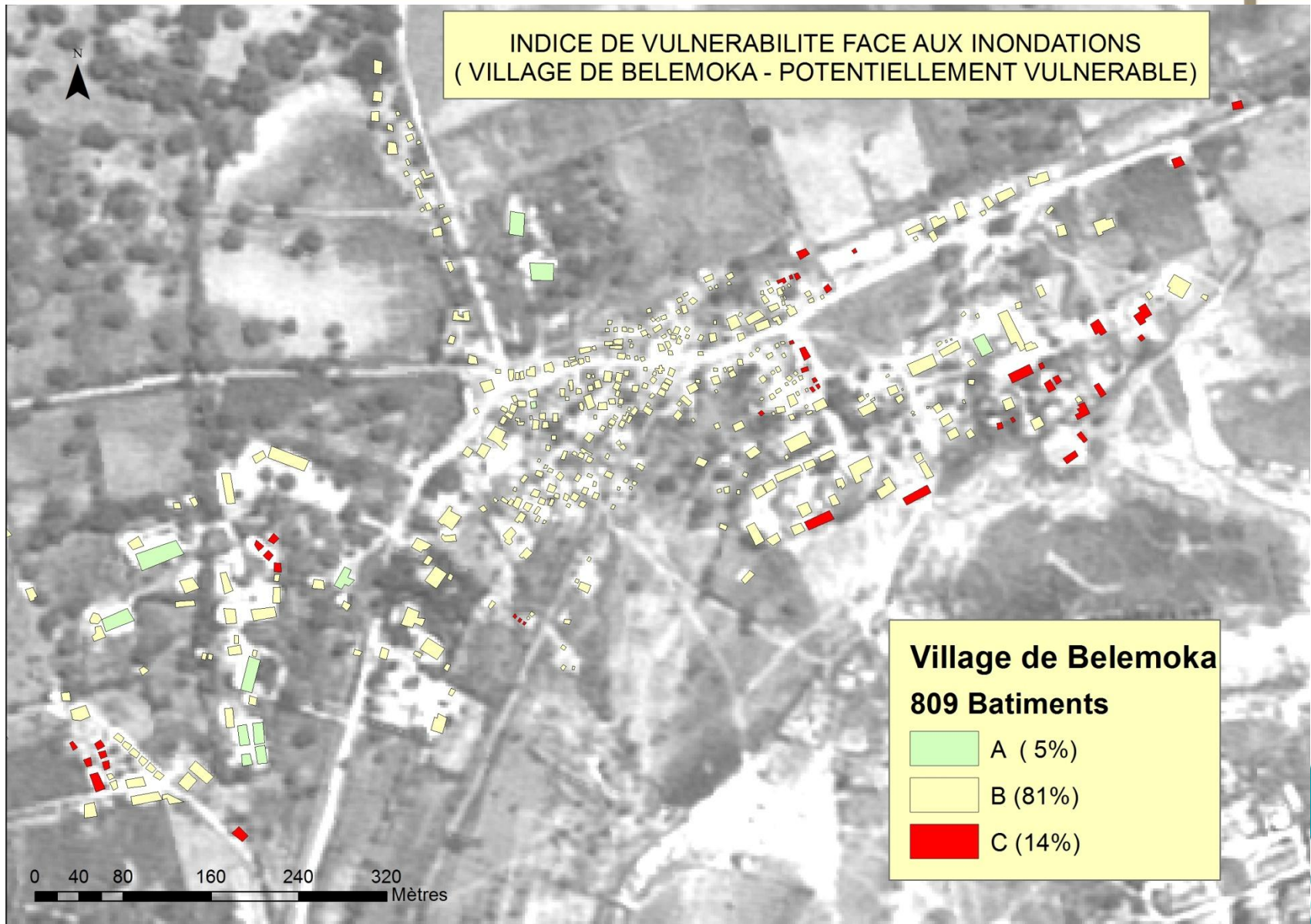


- V index > 10.
- Vulnérabilité extrêmement forte avec risque de décès.

# LOCALISATION DES VILLAGES POTENTIELLEMENT VULNERABLES

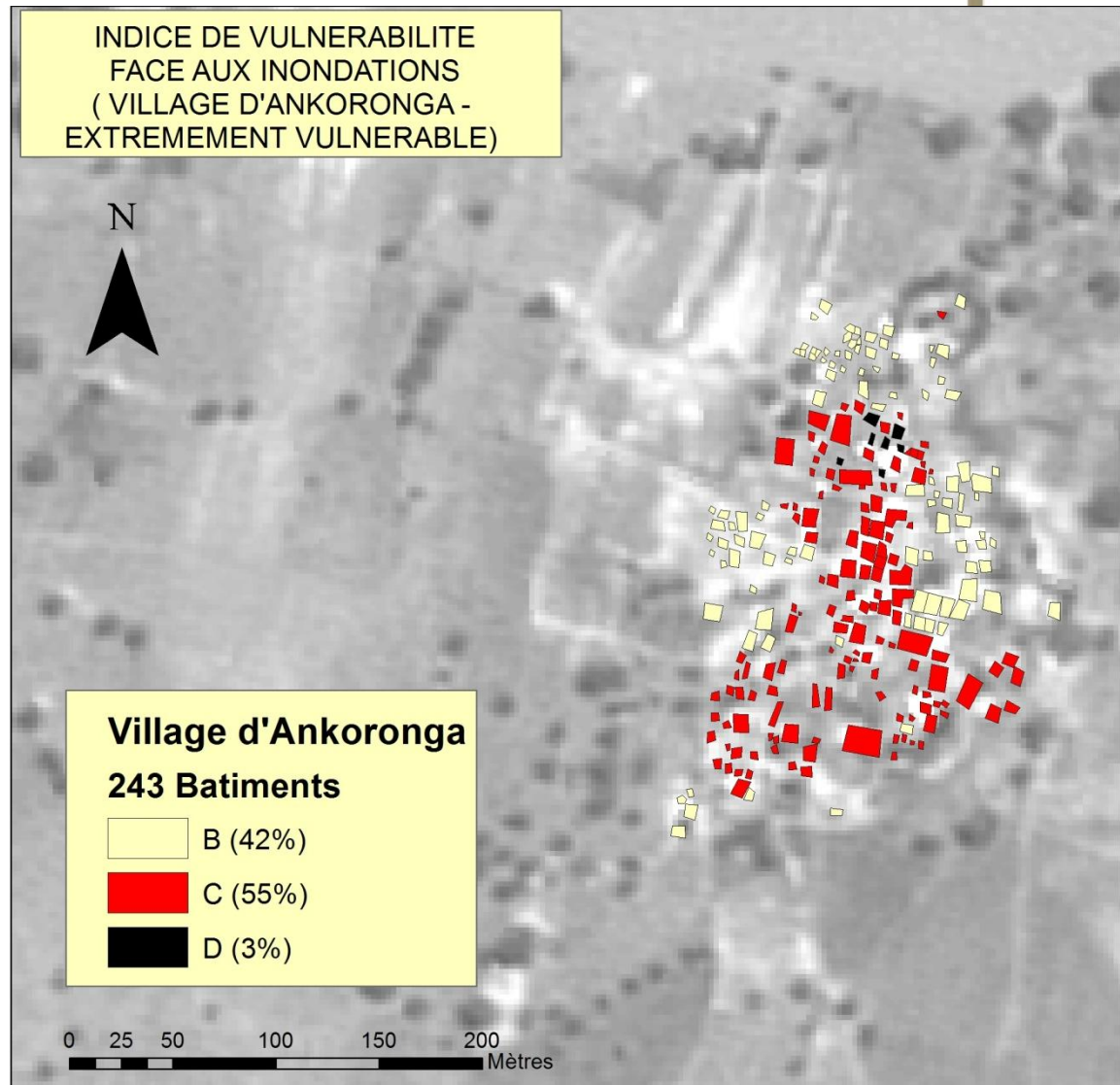


# V INDEX : VILLAGE DE BELEMOKA

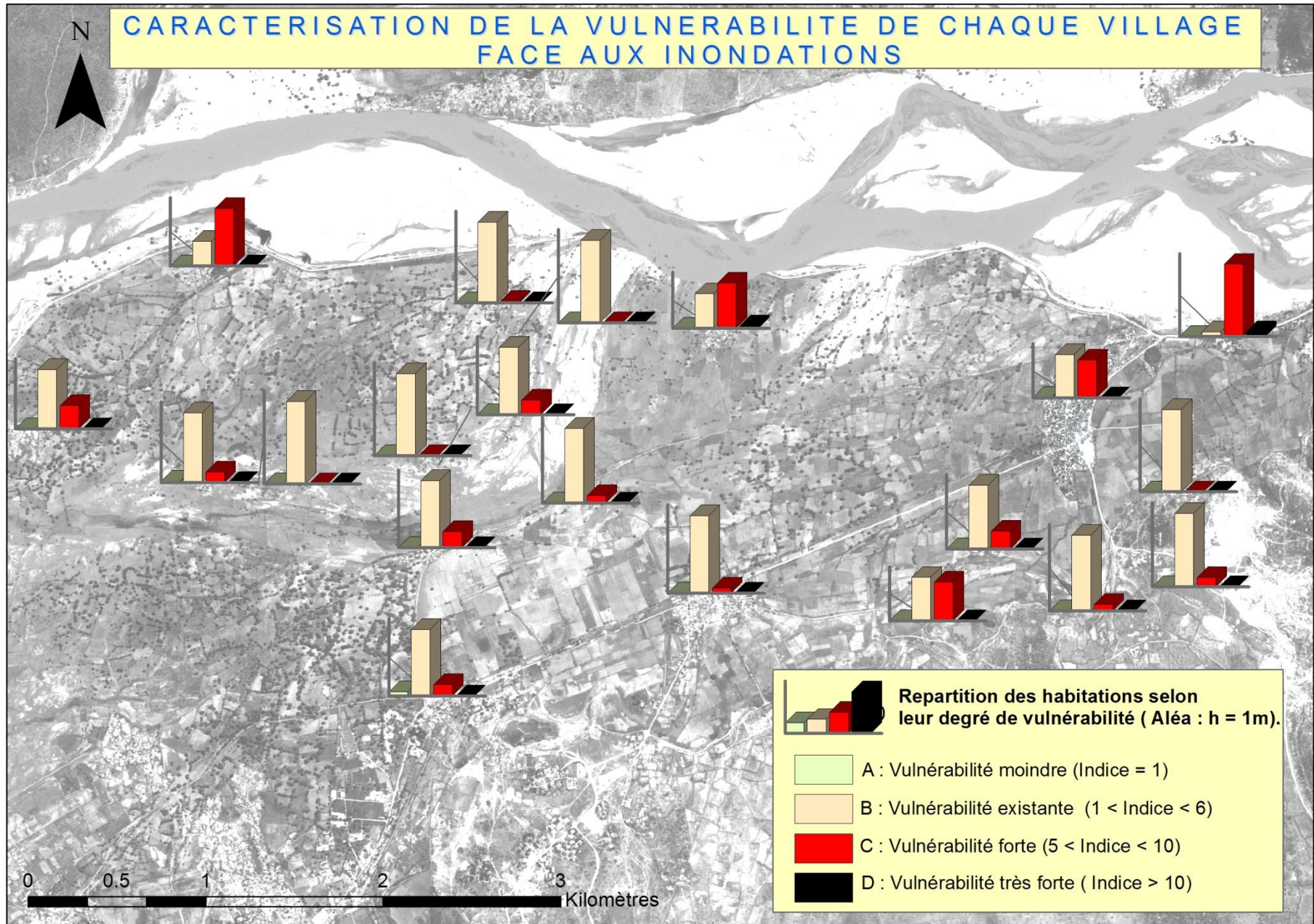


# V INDEX : VILLAGE D'ANKORONGA

- **Village extrêmement vulnérable**
- **A proximité de la rupture de digue lors du passage de Haruna en 2013.**



# Résultats préliminaires pour aléa h = 1m



- **Faire une projection de la hauteur d'eau pour évaluer l'évolution du degré de vulnérabilité des villages dans un scénario futur.**
  - **Nécessite une projection des données hydro-climatiques.**
- Modélisation des séries temporelles caractérisant l'Aléa.**

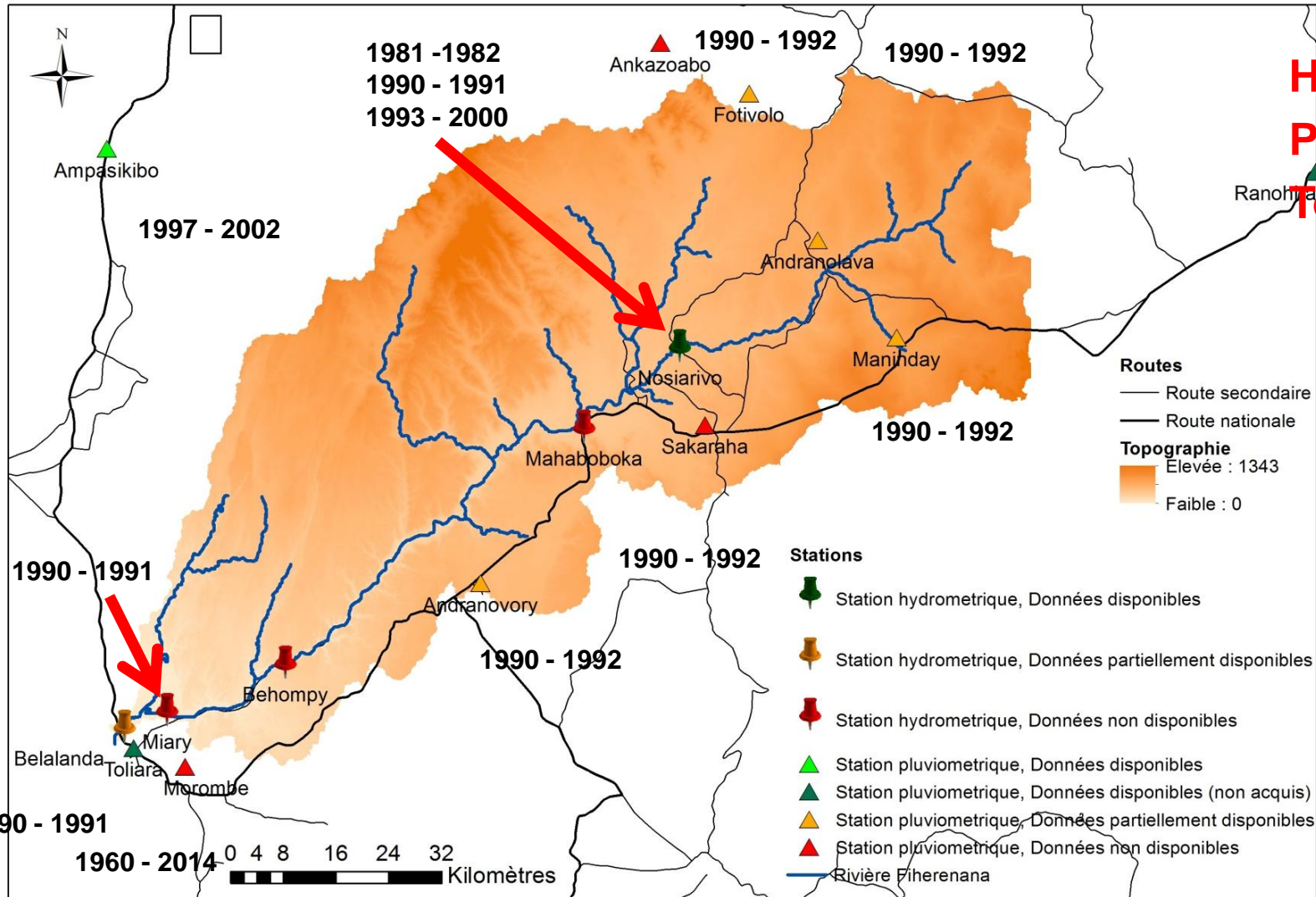


# EVOLUTION DE L'ALEA HYDRO-CLIMATIQUE

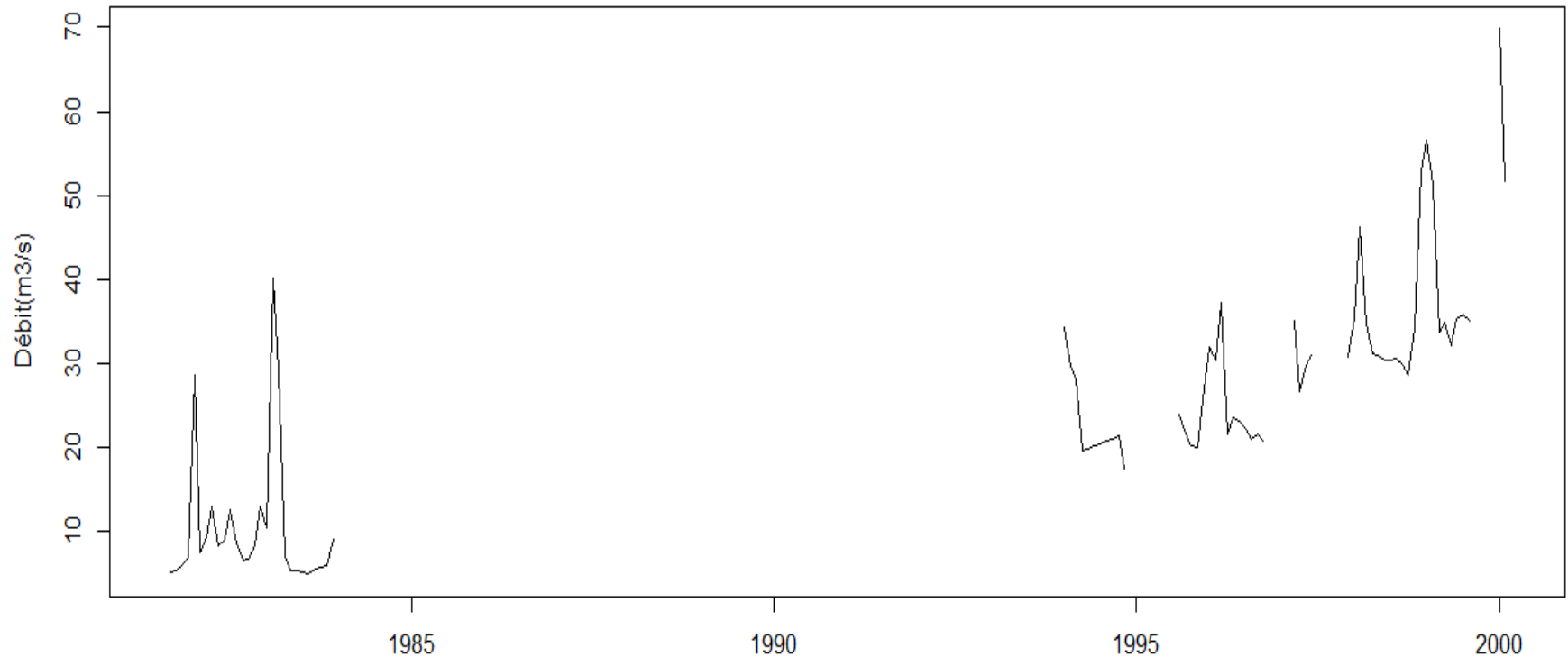
**Analyse des données et Utilisation des techniques de prévisions a Court termes pour compenser les manquants**

# Répartition spatiale des données

Hydrométrie  
Pluviométrie  
Température



# Aperçu des Chroniques hydrométriques



- **Données Hydrométriques (Station Nosiarivo - Antalarava)**

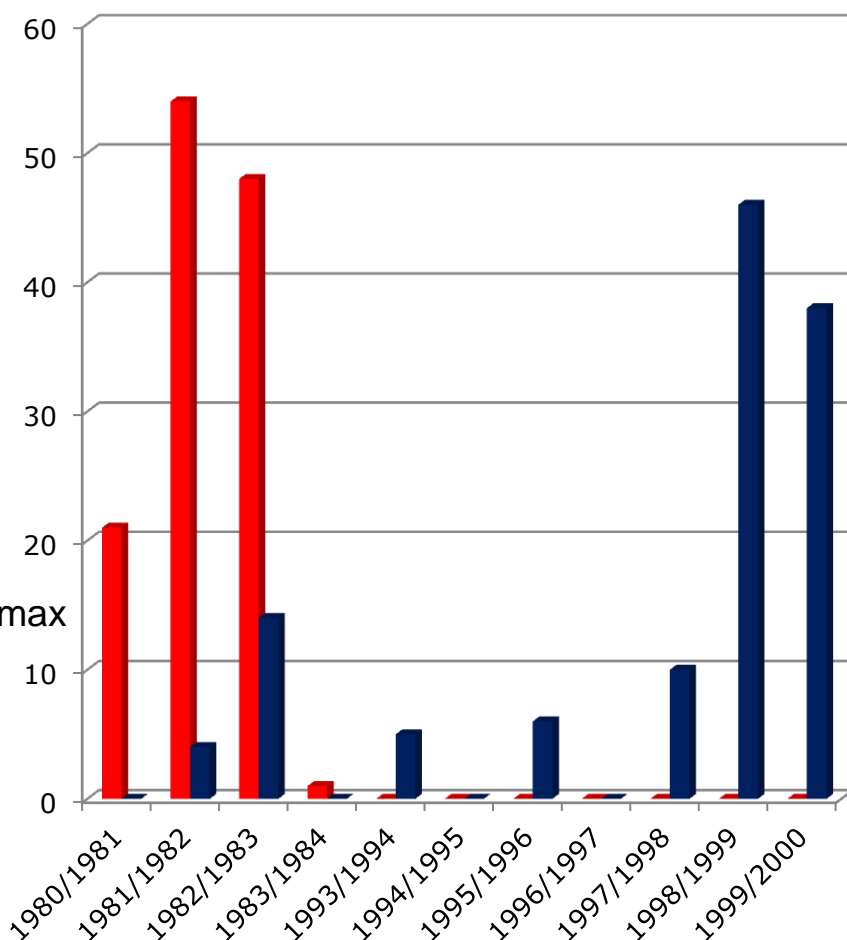
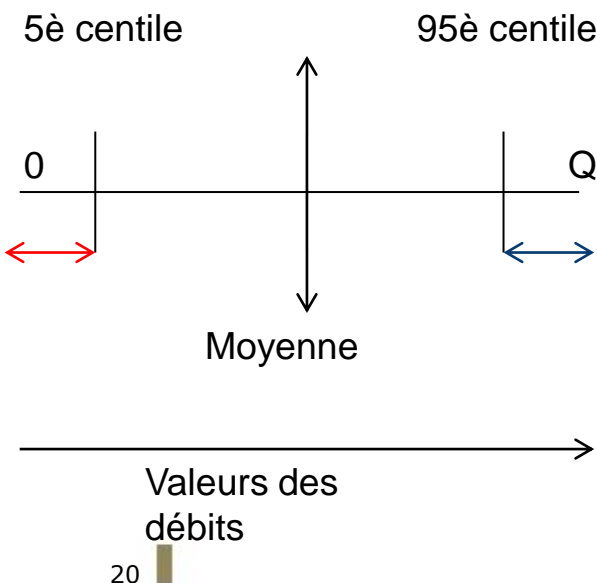
- **Années 80 et Années 90 mais présentant des trous.**

- **Pas journalier.**

# Analyse des données hydrométriques

- **Premiers traitements pour apprécier la tendance : méthode inspirée de Drapeau et *al.*, 2011**

Nombre de jours ayant des débits extrêmes (méthode des quantiles)



- Débit moyen journalier inférieur au 5<sup>è</sup> centile
- Débit moyen journalier supérieur au 95<sup>è</sup> centile

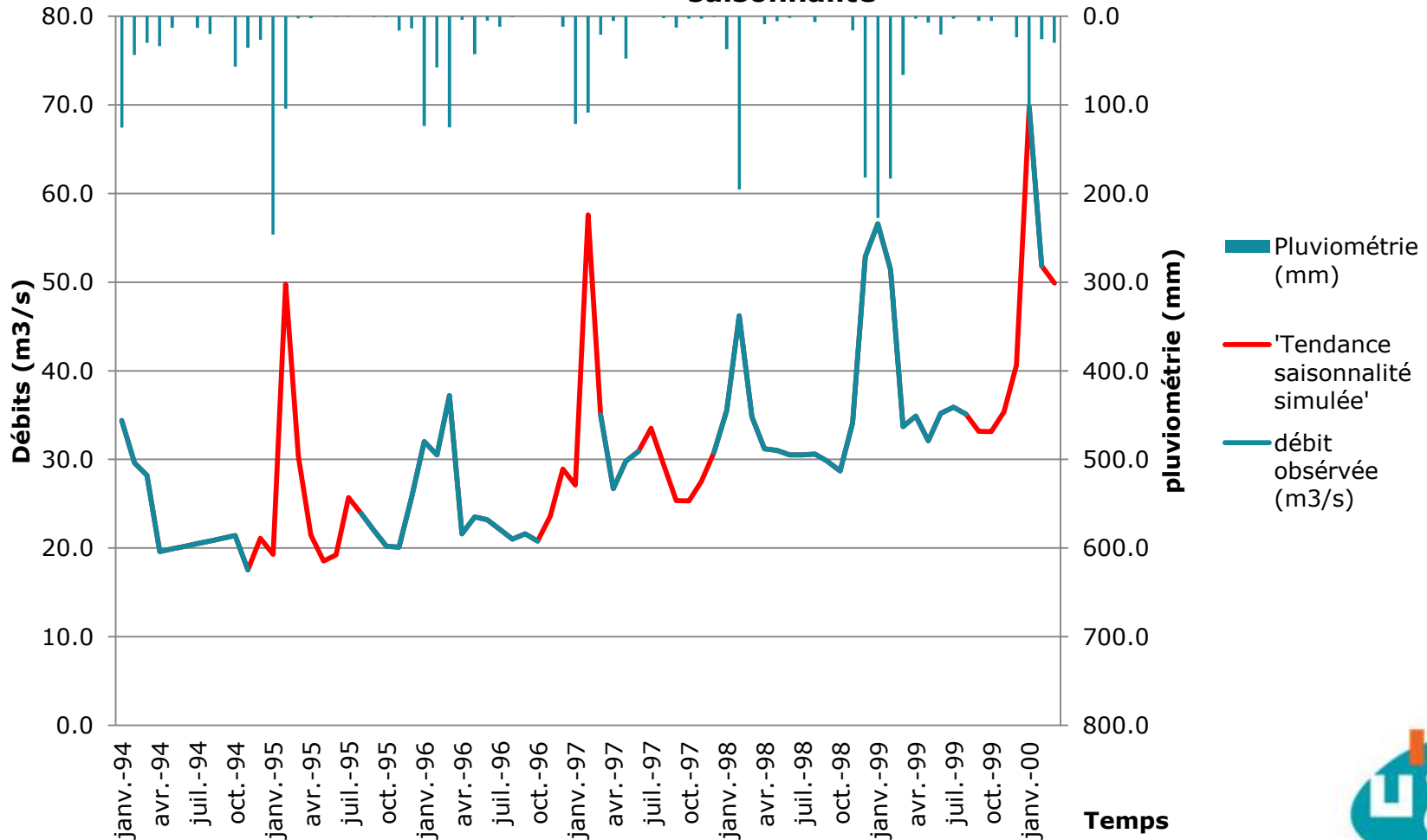


- **Décomposition d'une série temporelle :**
  - - **Tendance**
  - - **Saisonnalité**
  - - **Composante irrégulière**
  - - **Cycle**
- **Méthode de décomposition par moyenne mobile avec le package cash chrono de R (Brockwell et Davis, 2011)**

Calcul de la tendance par moyenne mobile. Retrait de la tendance de la série. Calcul des valeurs mensuelles moyens pour avoir la composante saisonnière. Retrait de cette saisonnalité pour retrouver la composante irrégulière. La série résulte de la somme des trois.

# Série 90 : Pluie et débit (observée + simulée)

## Compensation des manquants par simulation de la tendance et de la saisonnalité

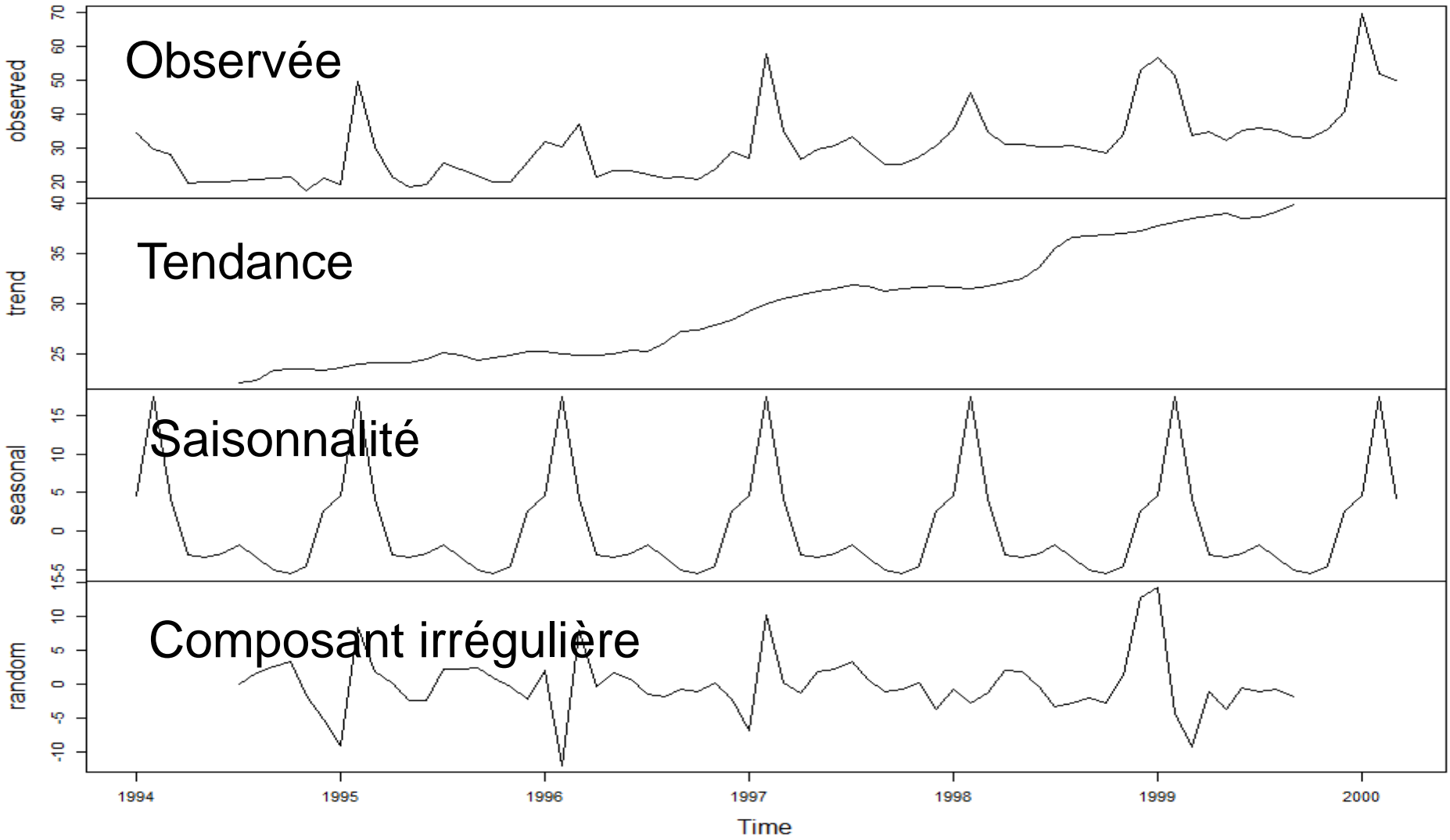


● **Obtention de la série simulée :**

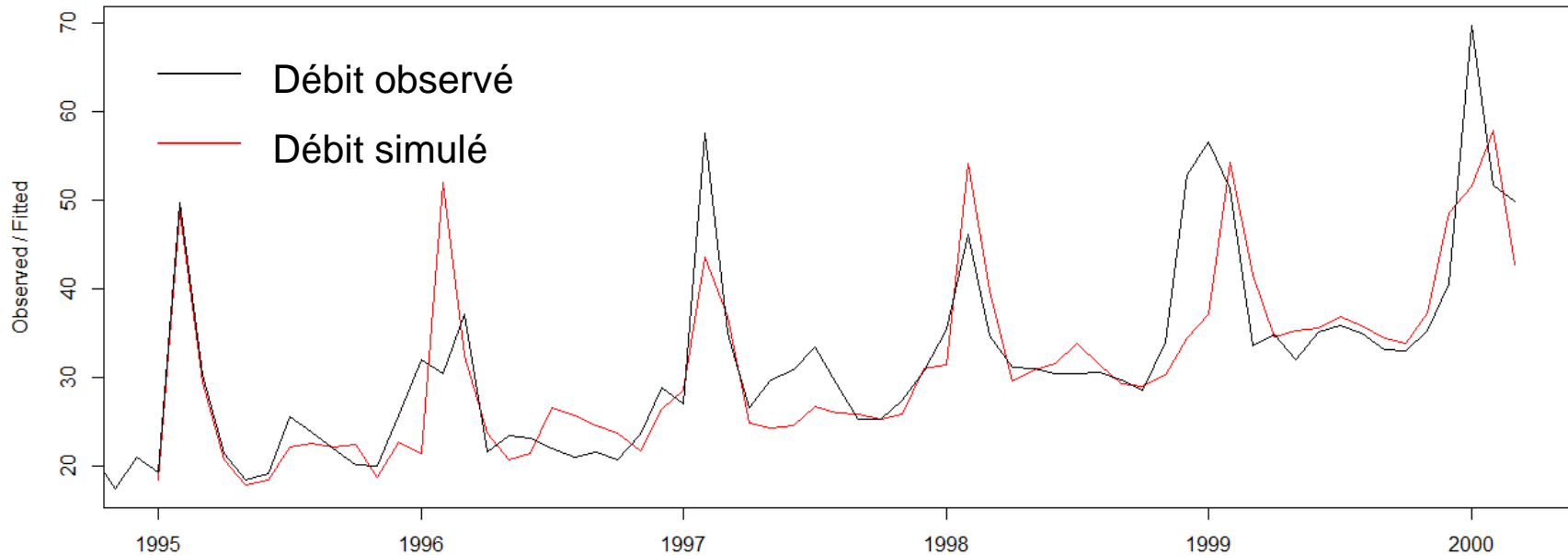
22 **Saisonnalité de la série 80 + Tendence linéaire obtenue par régression à partir des données 90.**

# Décomposition par Moyenne Mobile de la série 90 compensée

Decomposition of additive time series



Holt-Winters filtering



- **Le lissage exponentiel est un modèle de prévision qui utilise les valeurs passées d'une série temporelle. Il se base sur un simple principe de moyenne pondérée des valeurs passés (Brocklebank et Dickey, 2003).**

$$\hat{y}_t = c_0 y_t + c_1 y_t + c_2 y_t + \dots$$

- Paramètres: alpha = 0.0104 beta = 0.0104 gamma = 0.0476
- Etats initiaux: niveau initial = 22.7572 pente initial = -0.0028
- Coefficients saisoniers : s=2.6497 -4.3324 -5.5198 -4.4642 -3.3641 -2.4488  
3.1532 -2.8113 5.5902 16.5488 4.1032



- **A court termes (pour les prochains mois) :**
  - Finaliser l'analyse des séries temporelles. Calibrer un modèle de prévision (hydrométrique , climatique), Modèle ARMA, GAN -> à publier.
  - Améliorer (Ajout de critères / Analyse des pondérations) et valider l'indice de vulnérabilité V Index. -> à publier.
- **A long termes :**
  - Croiser les deux approches par une méthode adéquate pour mettre en exergue l'évolution des risques hydrologiques dans le bassin versant.

## ● Publications acceptées:

Géographie environnementale  
et géomatique —

### Revue à comité de Lecture

- Rakotoarisoa M., Fleurant C., Amiot A., Ballouche A., Communal P.Y., Jadas-Hécart A., La Jeunesse I., Landry D., Razakamanana T., 2014, Agents-based modelling for hydrological surface processes on a small watershed (Layon, France). *Revue internationale de Géomatique*, 24 (3), pp. 307-333

Sous la direction de  
Hervé Quénel  
Anne-Julia Rollet  
Olivier Mauguire

### Communications

- Rakotoarisoa M., Davranche A., Amiot A., La Jeunesse I., Ballouche A., Fleurant C., Jadas-Hécart A. et Landry D., 2013, Un modèle pluie-débit pour l'aide à la quantification des transferts de pesticides dans un petit bassin versant viticole, in *Eaux, milieux et aménagement : une recherche au service des territoires*, Presses de l'Université d'Angers, sous la direction de A. Ballouche et N. Taïbi, p. 181-194.

- Rakotoarisoa M., Fleurant C., Amiot A., Lajeunesse I., 2013, L'intérêt du couplage SIG-SMA dans les modèles hydrologiques. Conférence Annuelle de la société ESRI, Paris.

- Rakotoarisoa M., Fleurant C., Razakamanana T., Apport de la modélisation multi-agents dans la compréhension du fonctionnement hydrologique des bassins versants. Conférence Internationale "Les Zones Humides à Madagascar", Juin 2014, Madagascar.

- Rakotoarisoa M., Fleurant C., Randriamaherisoa A., Razakamanana T., 2014, Mise en oeuvre d'un modèle hydrologique conceptuel sur le bassin versant de Sisaony, Région Analamanga, Madagascar, *Madamines*, 6, p. 22-37.

## ● Prochaine publication envisagée :

- Un article sur l'analyse des séries temporelles hydro-climatiques du bassin versant du Sud Ouest de Madagascar (Fiherenana).
- Un article sur l'indice de vulnérabilité des villages (V index).



Merci de votre  
attention

