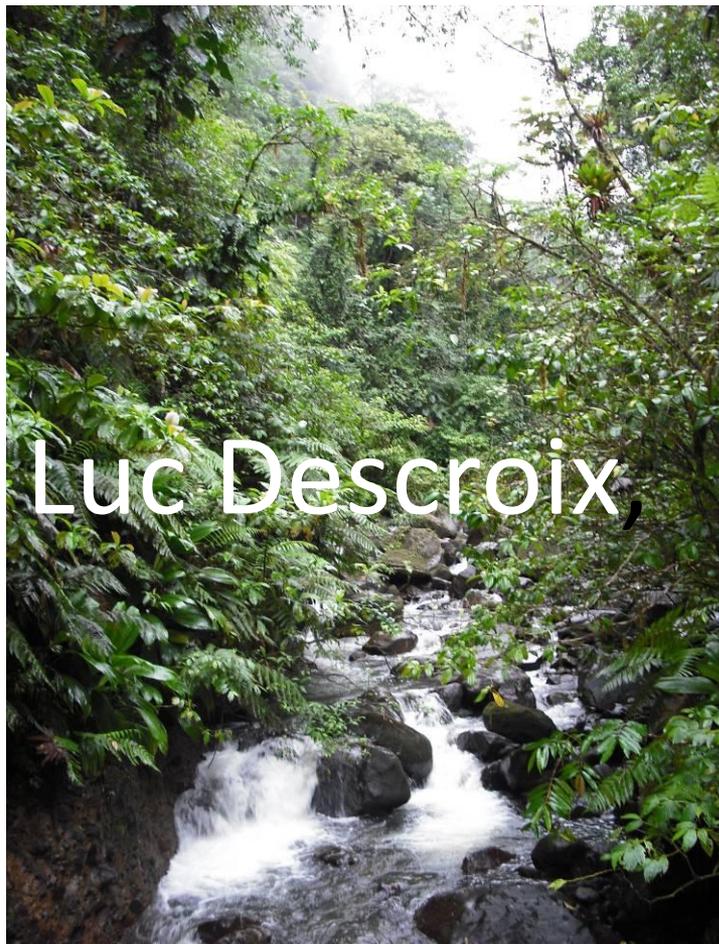


# La recrudescence des inondations au Sahel : Un paradoxe ?

Conférence ESCAPE, Paris, 29-30 janvier 2015



Luc Descroix



Hydrologue

**UMR PaLoc (Patrimoines Locaux, IRD et MNHN)**  
MNHN, Département HNS, 57 rue Cuvier, CP 26,  
75231 Paris Cedex 05, France

- tel : + 33 678 92 06 84 / +221 77 524 79 73
- <http://www.paloc.ird.fr/> Courriel: [luc.descroix@ird.fr](mailto:luc.descroix@ird.fr)



Institut de recherche  
pour le développement

Travaux réalisés en collaboration avec

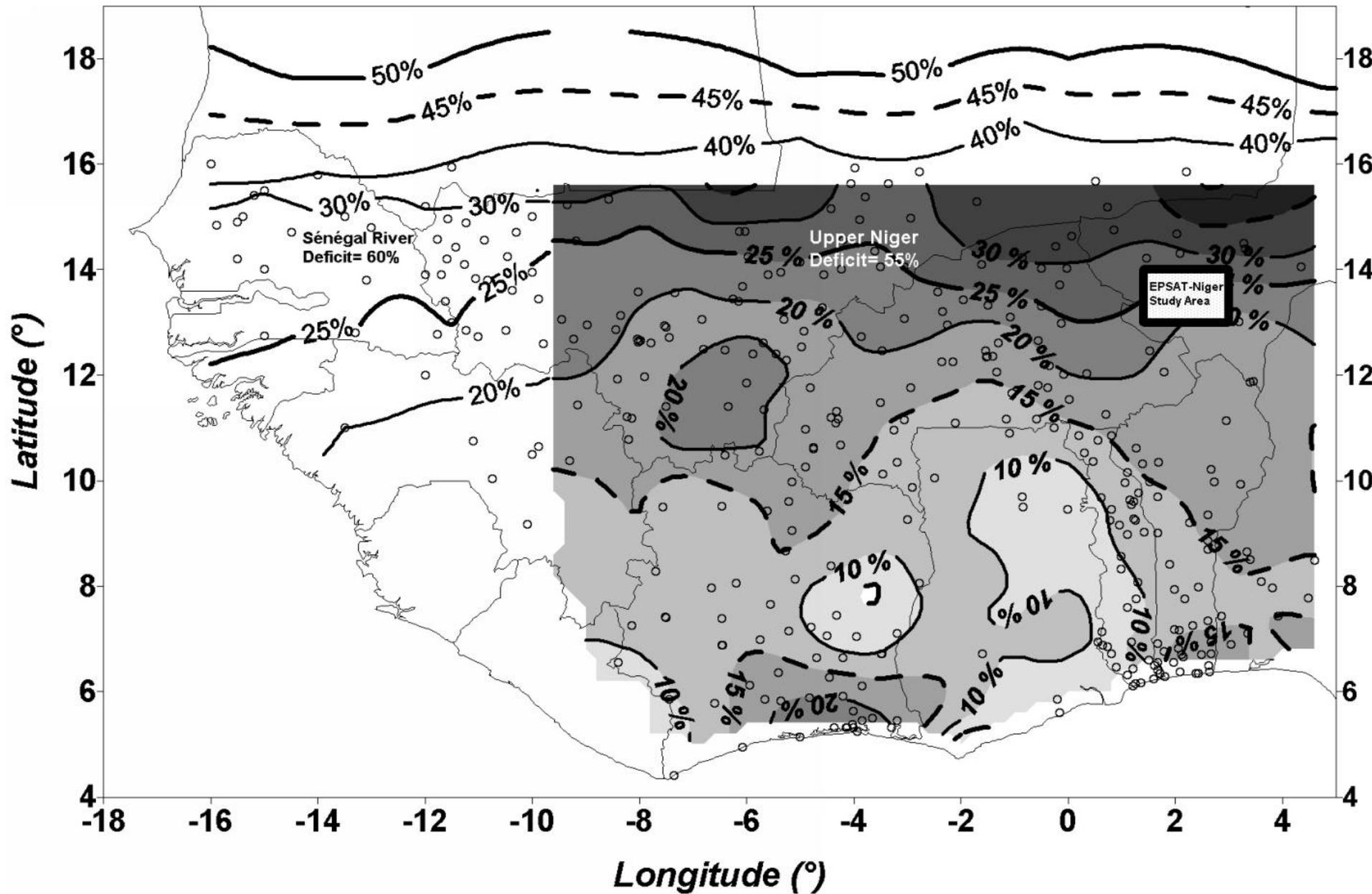
ABN, UAM, U Zinder, UCAD, UASZ, UGB, Agrhymet, LTHE, GET, HSM, etc

Un grand Merci à

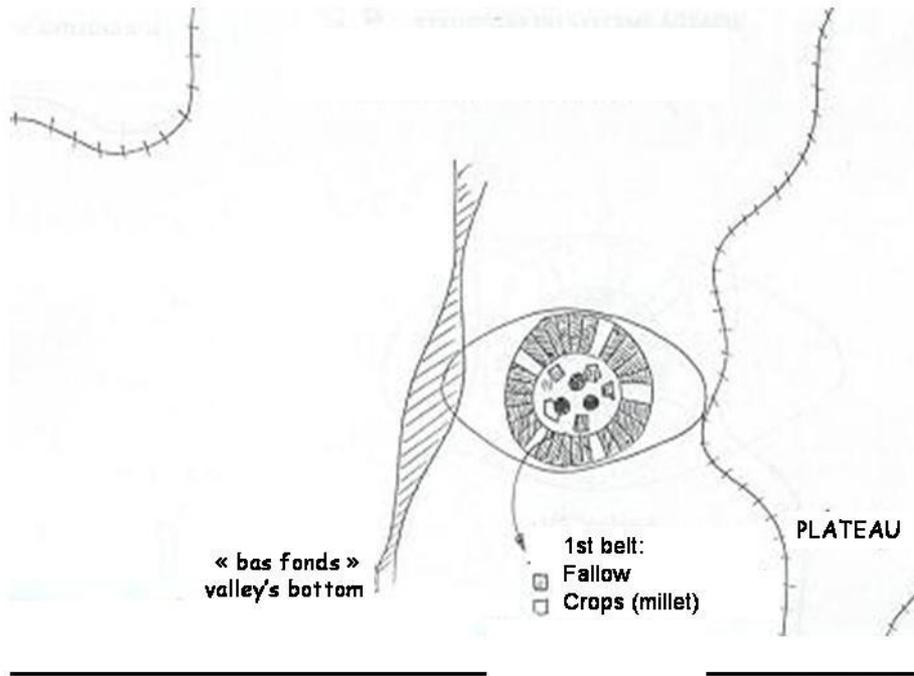
Abdoulaye, Abassa, Hamza, Hamissou, Stéphane, Monique, Marc.....

Et à Ibrahim Mamadou, Kadidiatou Souley Yéro, Kadidia Diawara, Boubacar Ibrahim, Moussa Malam Abdou, Nadine Dessay, Maud Loireau, Manuella Grippa, Mathilde Fabre, Oke Amogu, Laurent Kergoat, Pierre Hiernaux, Anne Luxereau, Théo Vischel, Gérémy Panthou, Véronique Chaffard, Guillaume Quantin, Abba Bachir, Ilya Amadou, Bachir Tanimoun, etc...

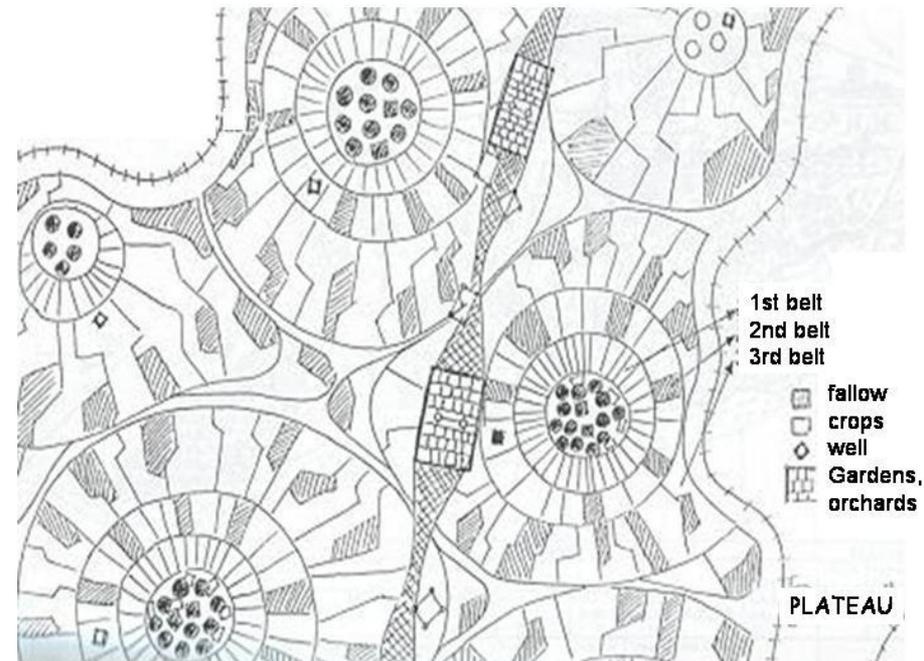
# Une très sensible réduction de la pluviométrie



1900



1990



Une très forte modification de l'occupation des sols

Evolution typique de l'occupation des sols à l'Ouest du Niger  
de 1900 à 1990 *Ada and Röckstrom, 1993*

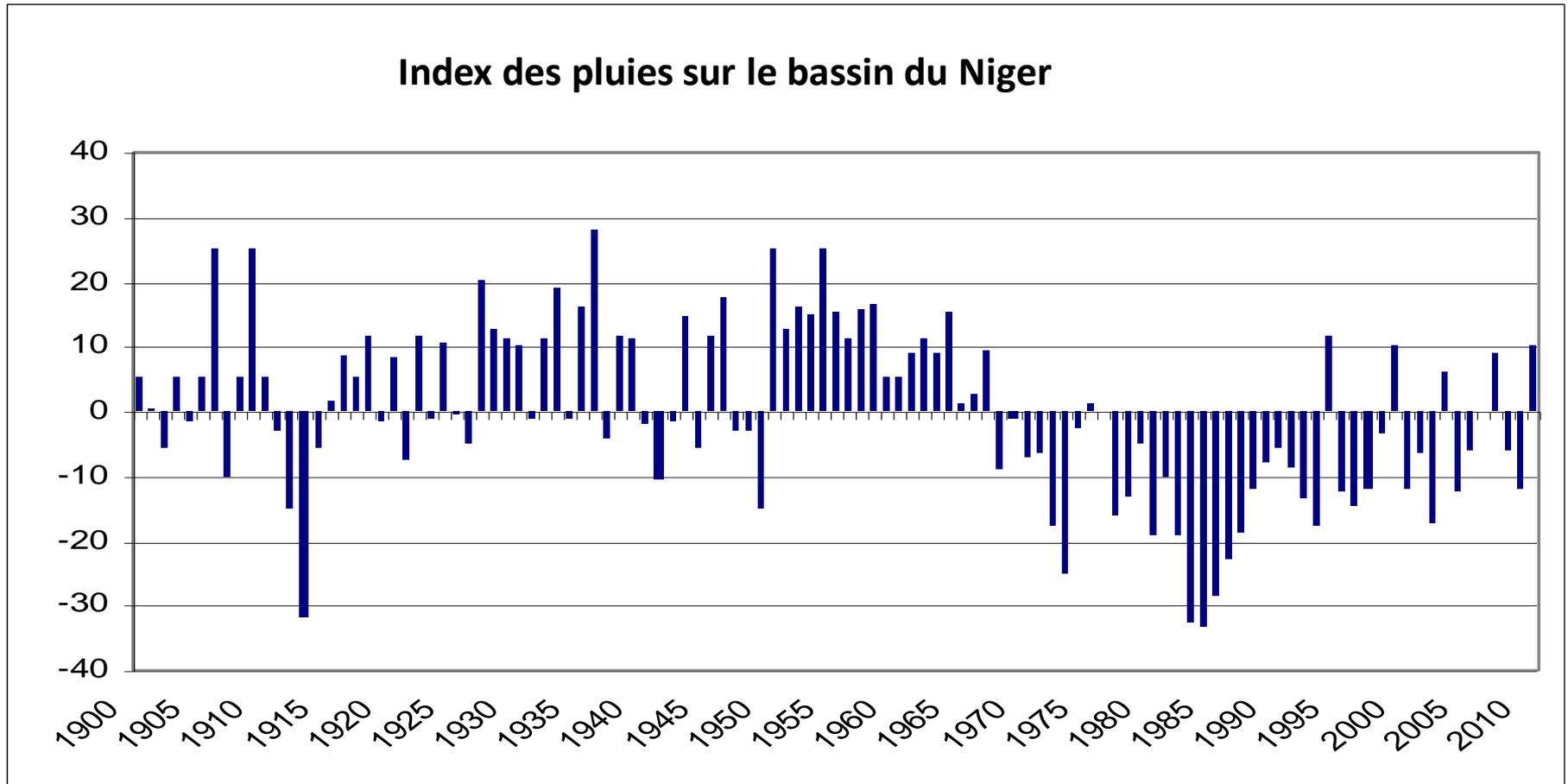
Partout au Sahel, une augmentation des écoulements, là où l'on dispose de mesures



en zone exoréique..

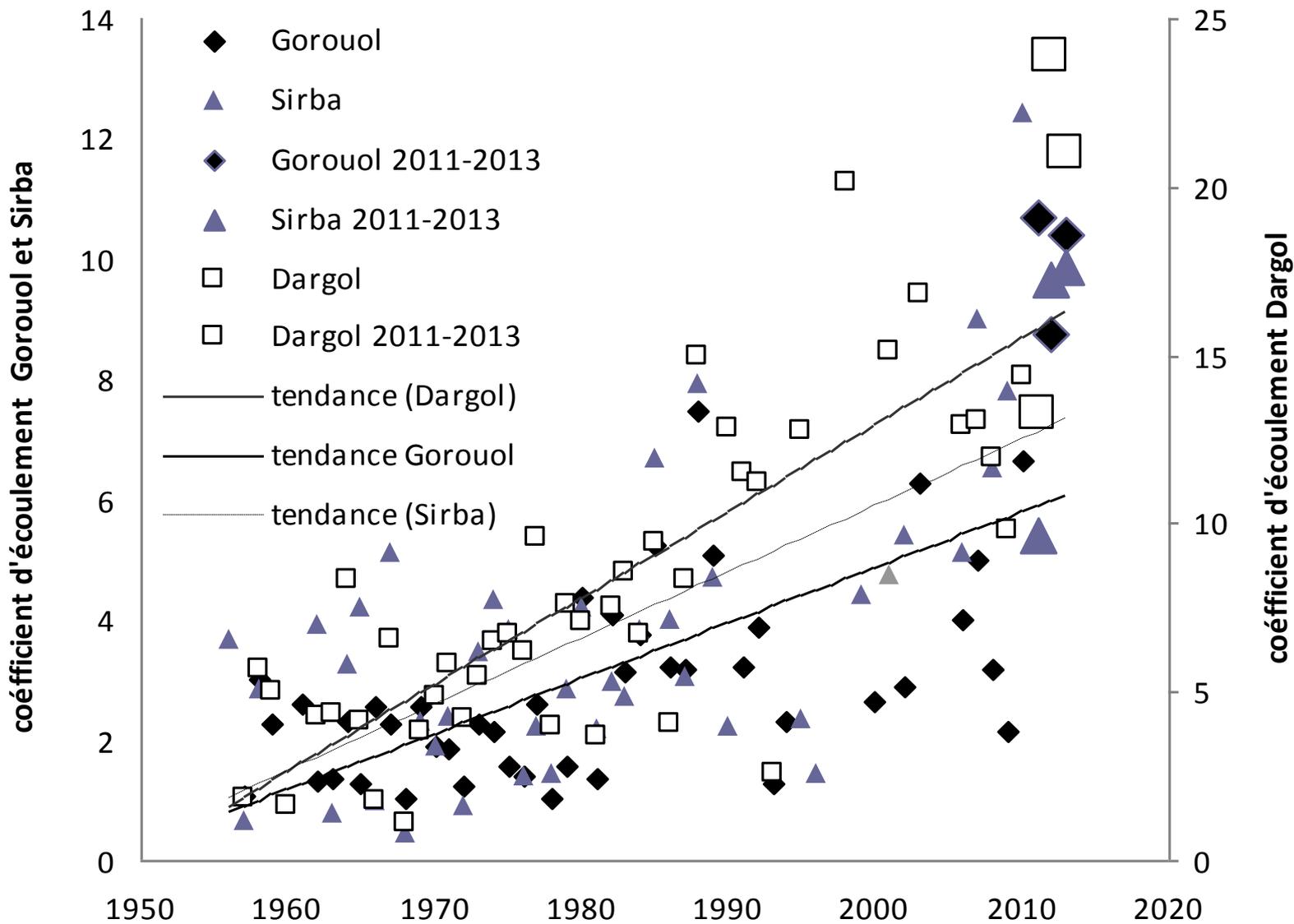


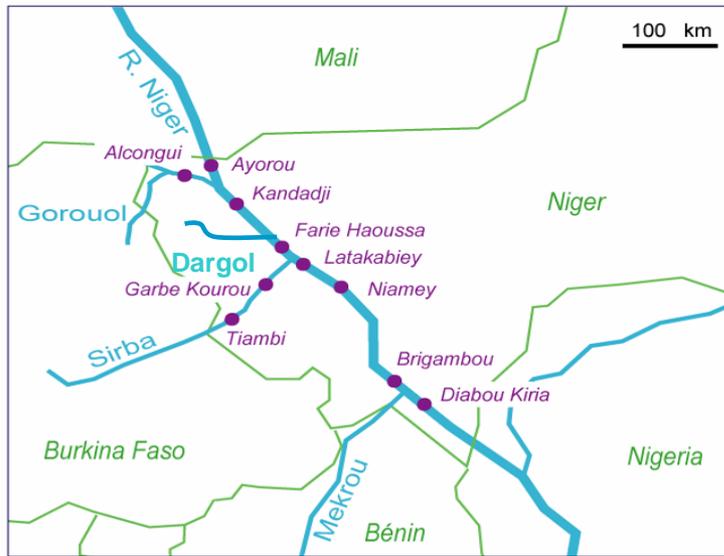
Alors même que la pluie a fortement baissé après 1968  
(mais reprend certes après 1995, en restant légèrement déficitaire)



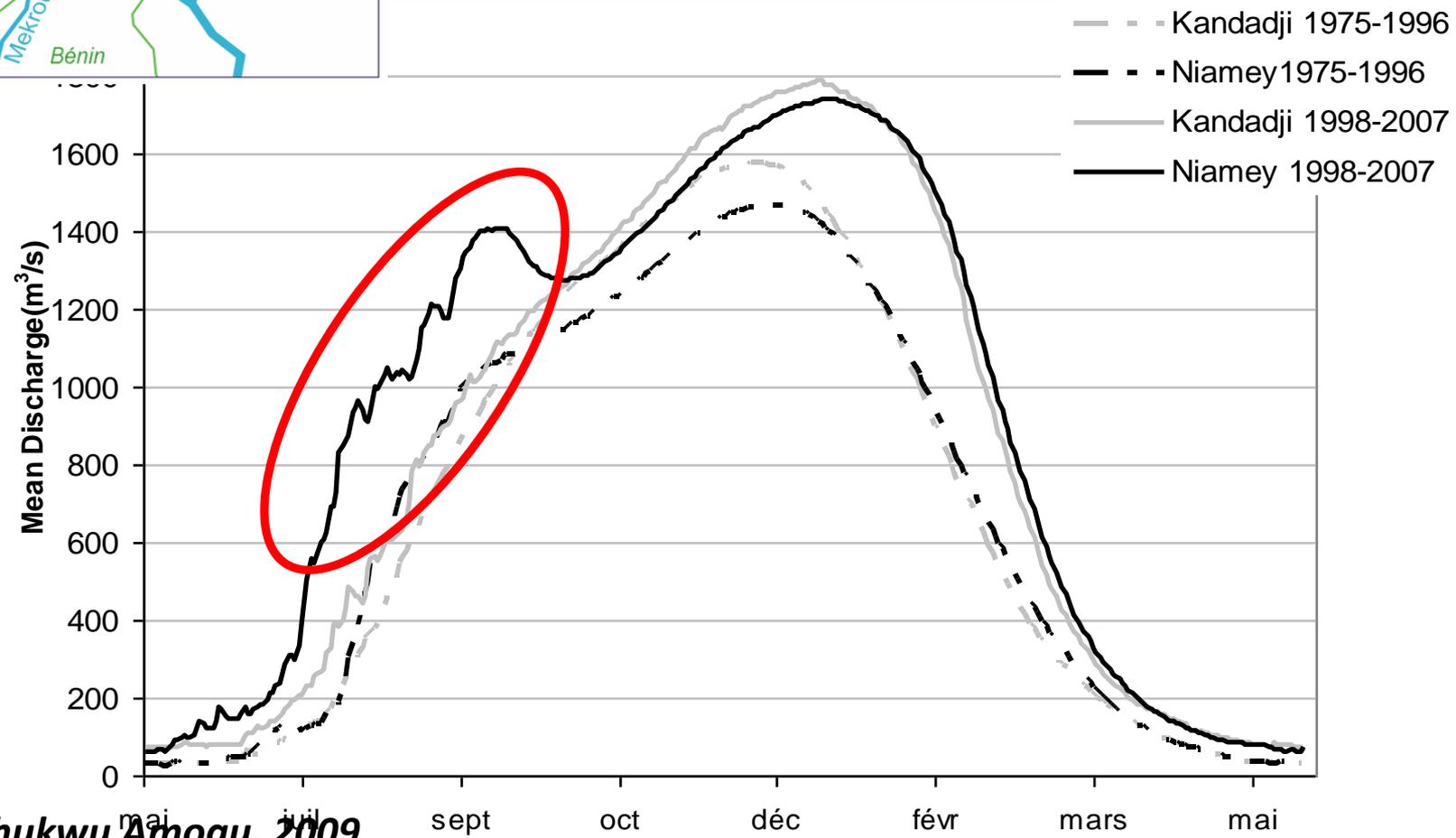
*Olivry, 2002,*  
*Lebel et Ali, 2007*  
*Amogu et al, 2010*  
*Descroix et al, 2012*

# Les débits augmentent très sensiblement après 1968



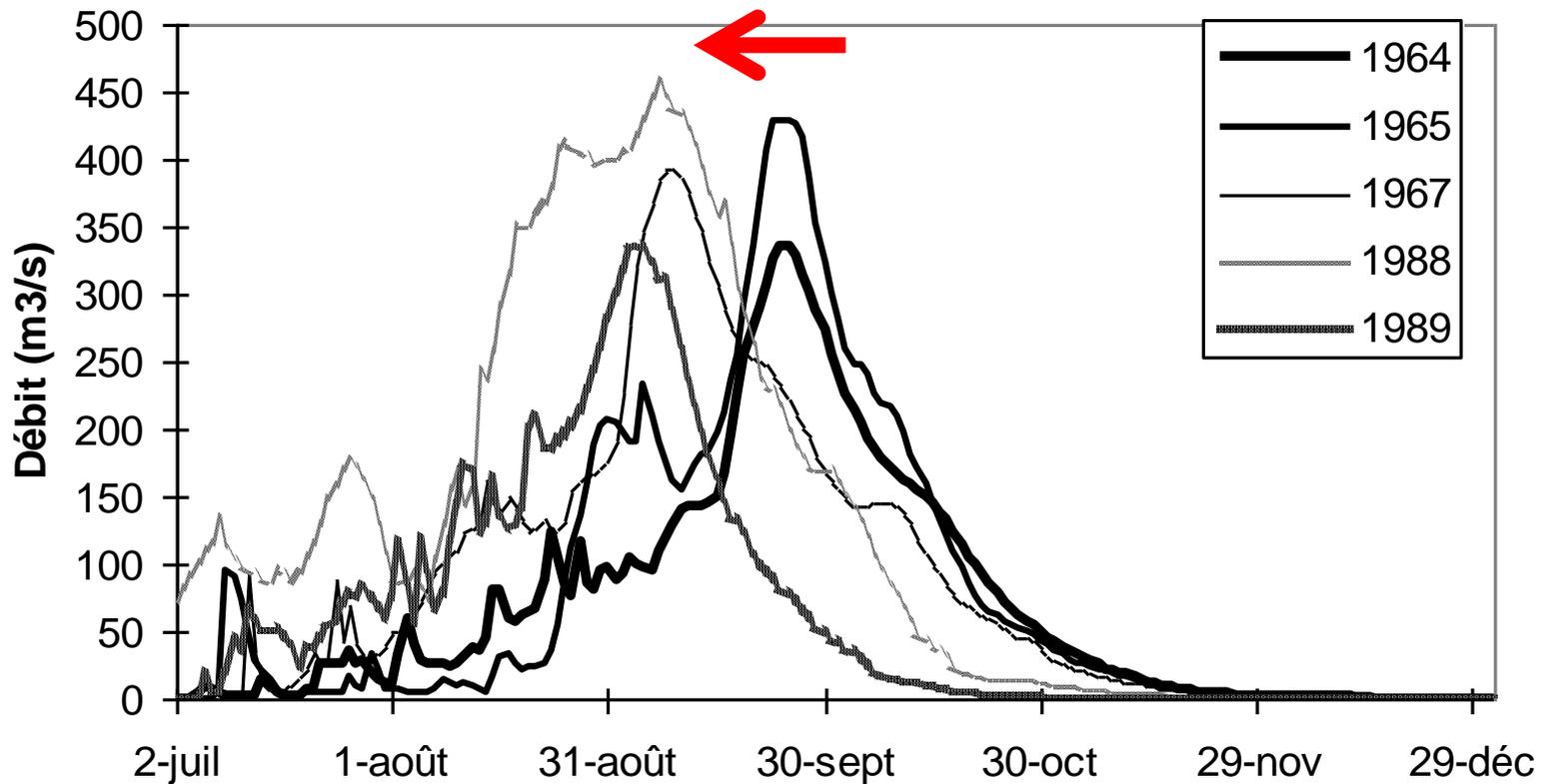


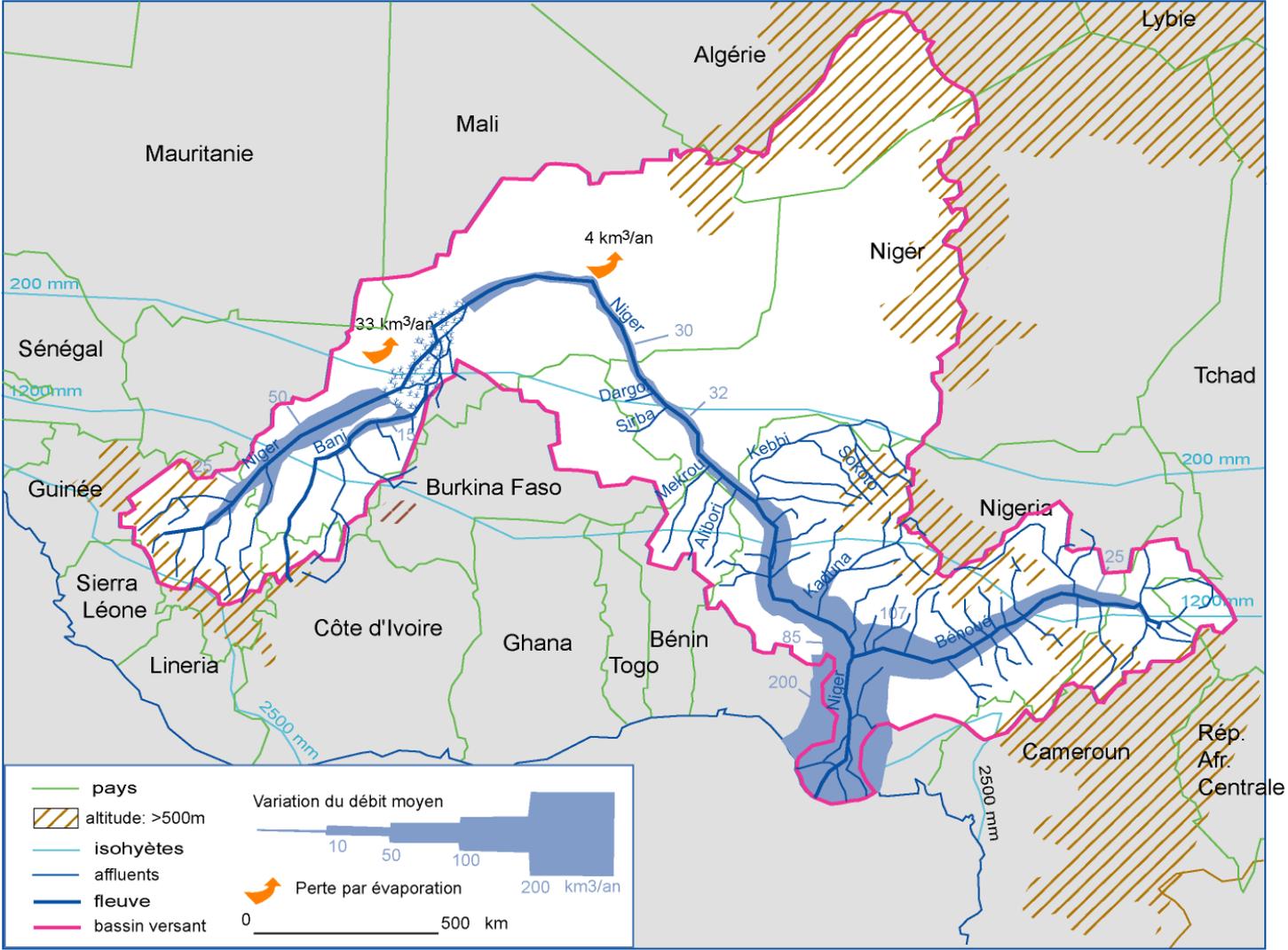
La crue locale ou « rouge » est bien plus prononcée depuis 1998



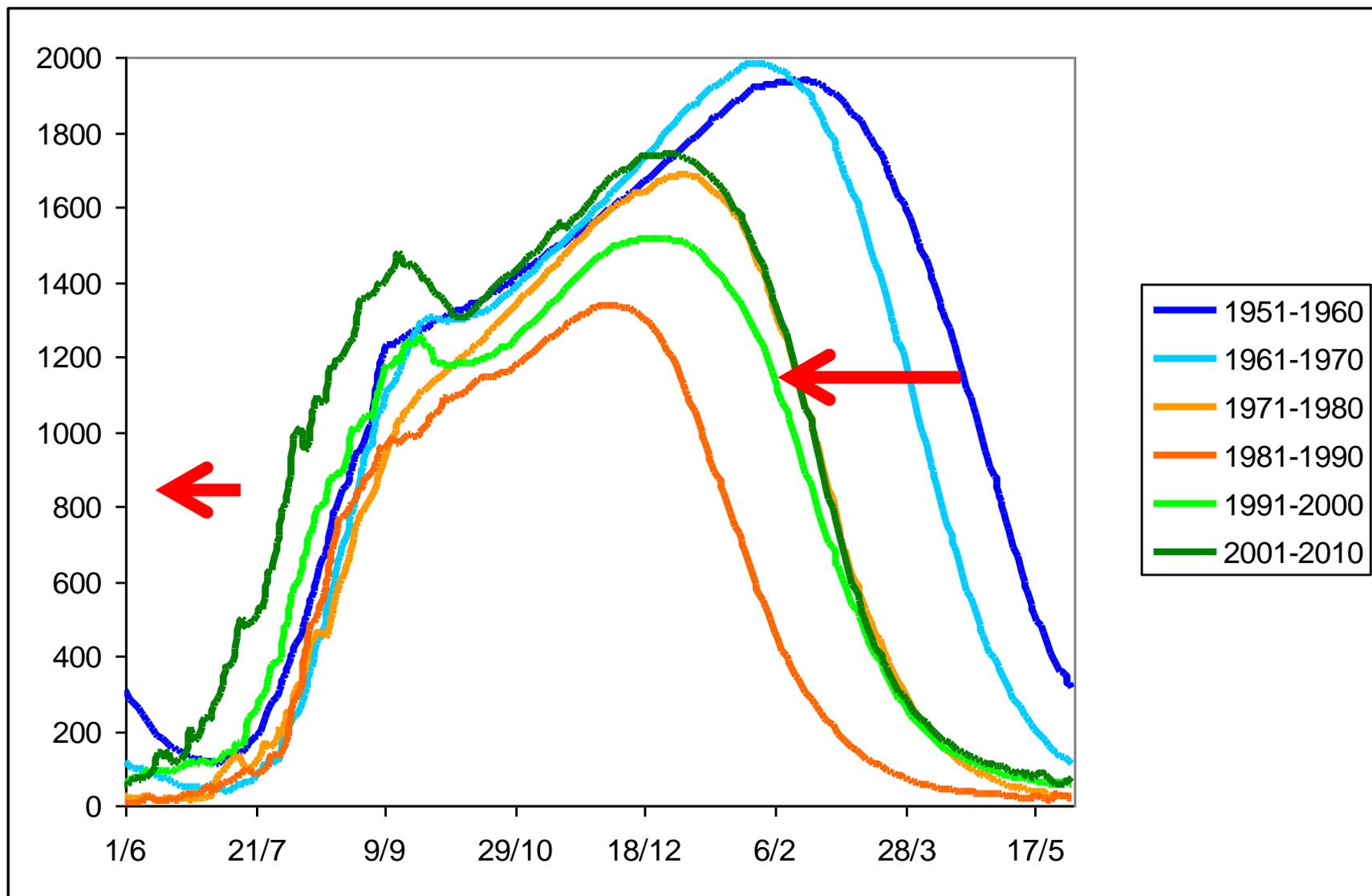
La crue est bien plus précoce, sur les affluents.....

### Débits journaliers à Garbe sur la Sirba





.....comme sur le fleuve Niger à Niamey

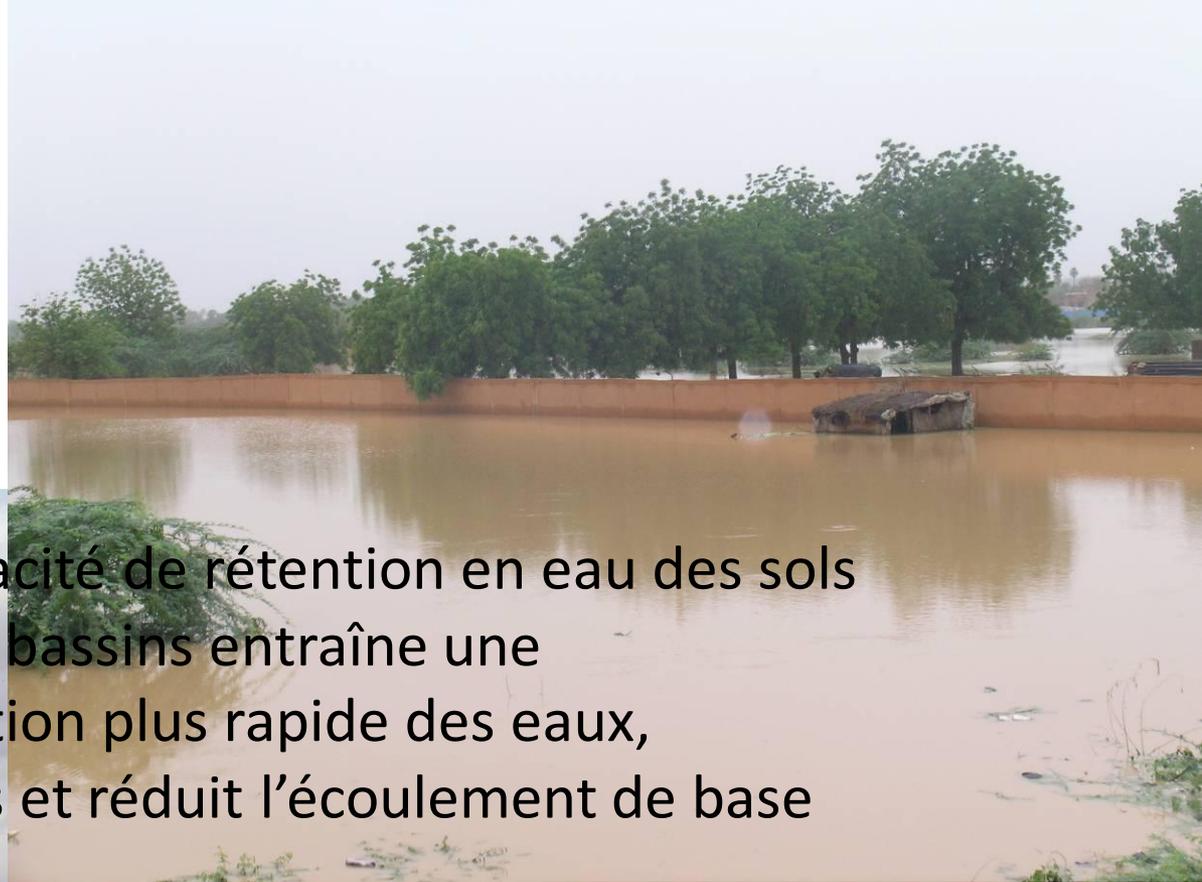


Evolution de l'hydrogramme moyen du Niger à Niamey par décennie

*Descroix et al, 2012*



La baisse de la capacité de rétention en eau des sols  
et des bassins entraîne une  
concentration plus rapide des eaux,  
aggrave les crues et réduit l'écoulement de base



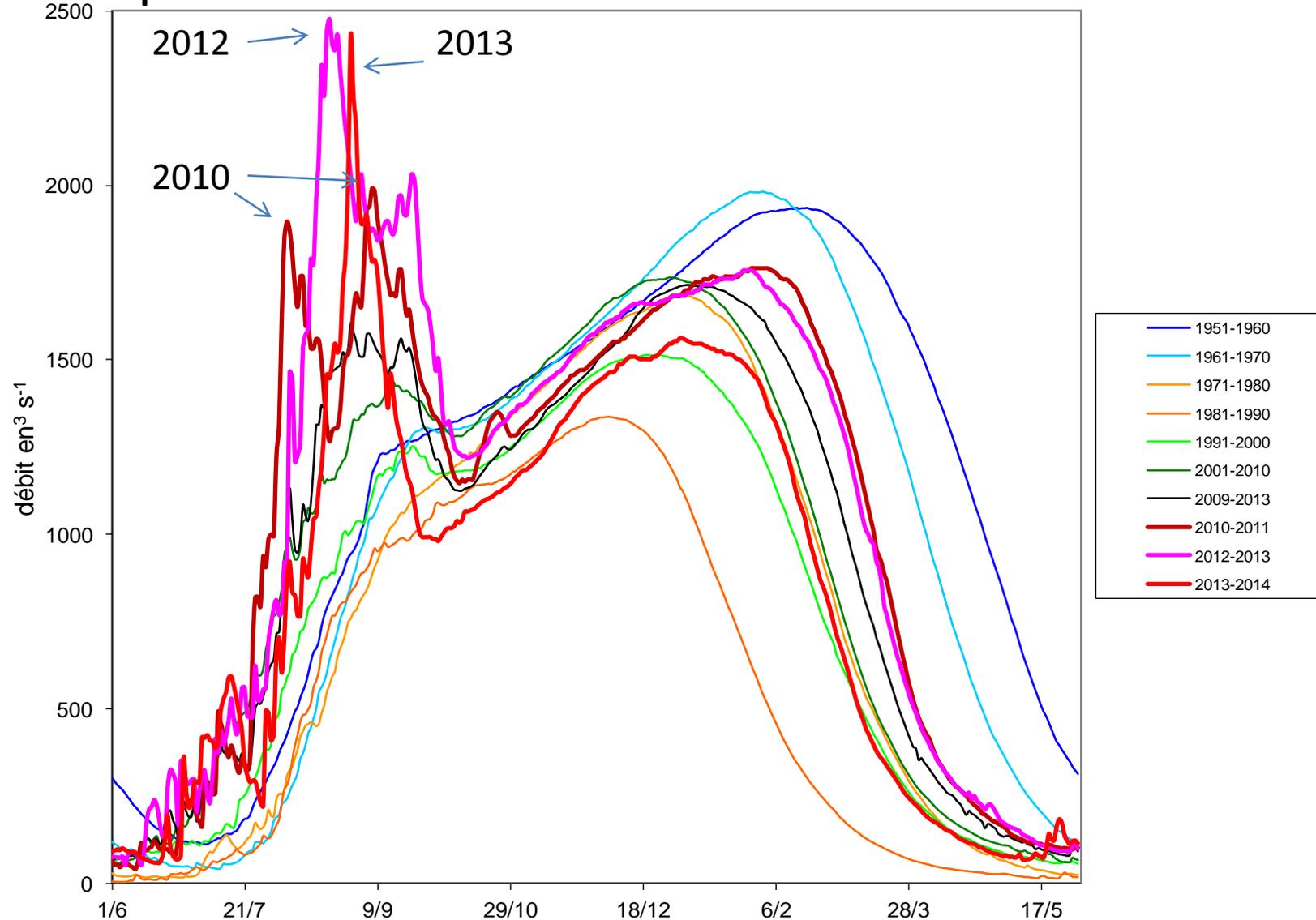
*Photos Ibrahim Mamadou*

*Crue « locale » du Niger  
à Niamey le 7 août 2010*

**2010: la crue locale (la première, celle due aux pluies de mousson tombées en zone sahélienne) atteint deux fois son plus haut niveau jamais observé depuis 1929**

**2012: records battus, la plus forte crue jamais observée depuis 1929**

**2013: le pic de crue est à 2 cm sous le record de 2012**





*Courtoisie Ibrahim Mamadou*

**Et les villes inondées en aval !! Niamey en 2010 et 2012**



...ou Agadès le 1<sup>er</sup> sept 2009.....

*Courtoisie Akly et Eve Janodet*

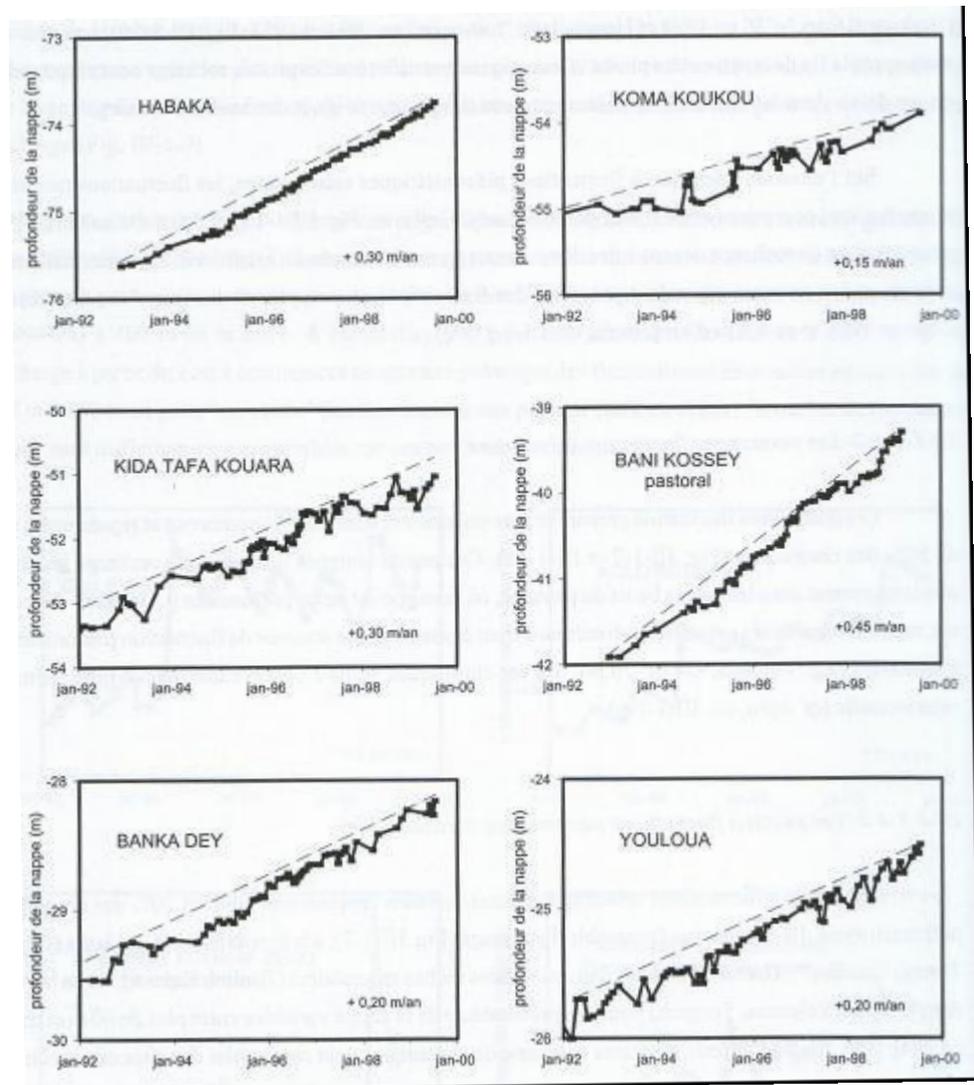


En zone endoréique..

16.06.2004

# Exemples de remontée de la nappe du Continental Terminal dans le degré carré de Niamey

*d'après Favreau 2000 (thèse)  
Et Leduc et al., 2001  
(J . of Hydrology)*



Une remontée du niveau de la nappe phréatique

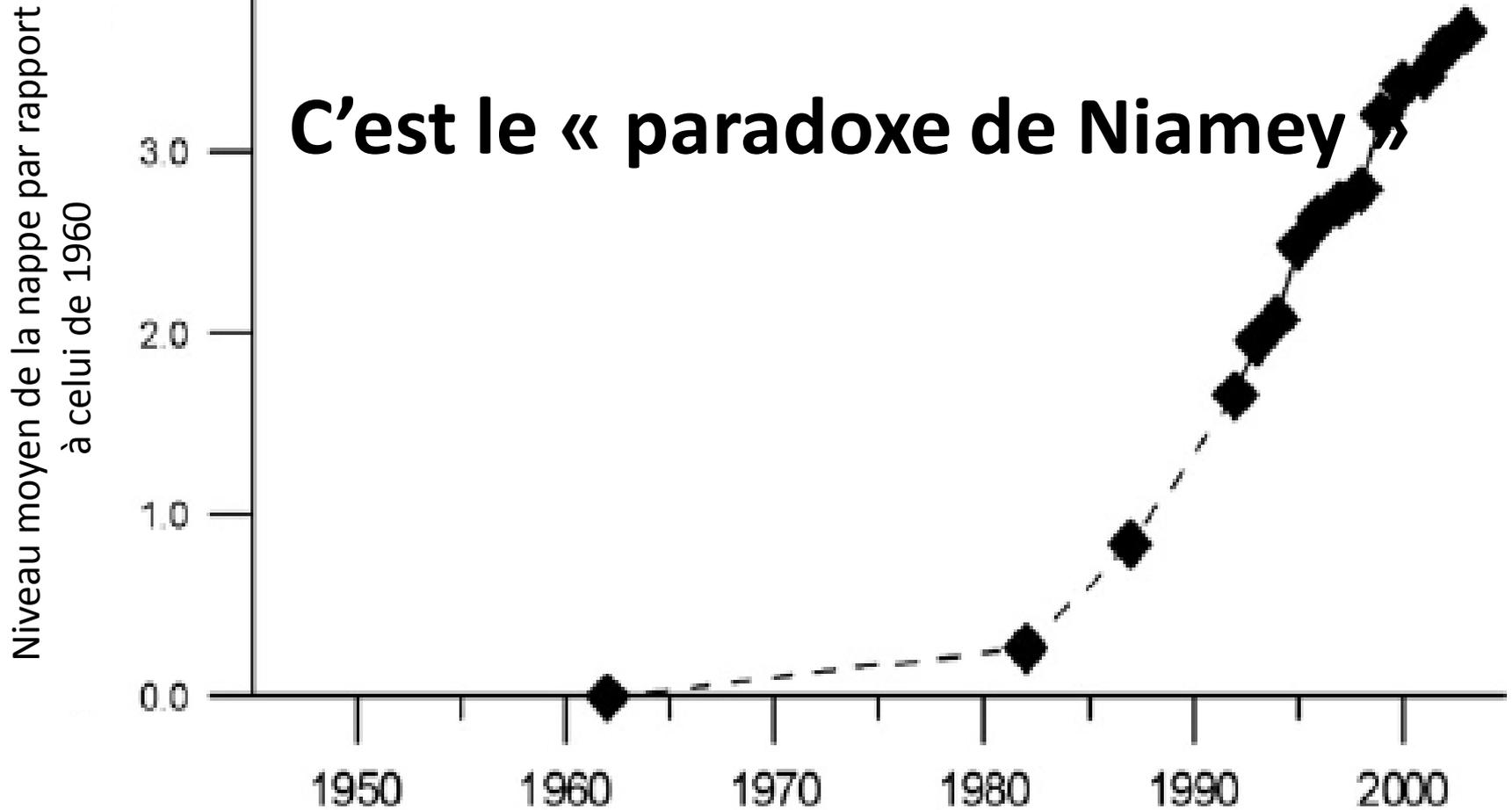
L'explication: dans tout le Sahel,  
Le ruissellement augmente ;  
En zone endoréique, ça accroît  
le nombre  
le volume et  
la durée en eau des mares,  
qui sont les principales  
zones de recharge de la nappe



**Moins de pluie**

**Plus d'eau dans les nappes**

**C'est le « paradoxe de Niamey »**



D'où une remontée générale de la nappe du CT3  
au Niger entre 1950 et 2005

*Thèse Massuel, 2005*

D'où localement affleurement de la nappe,  
comme ici dans le fond du Dallol Bosso

Encore des zones inondées....



Et dans les vallées adjacentes

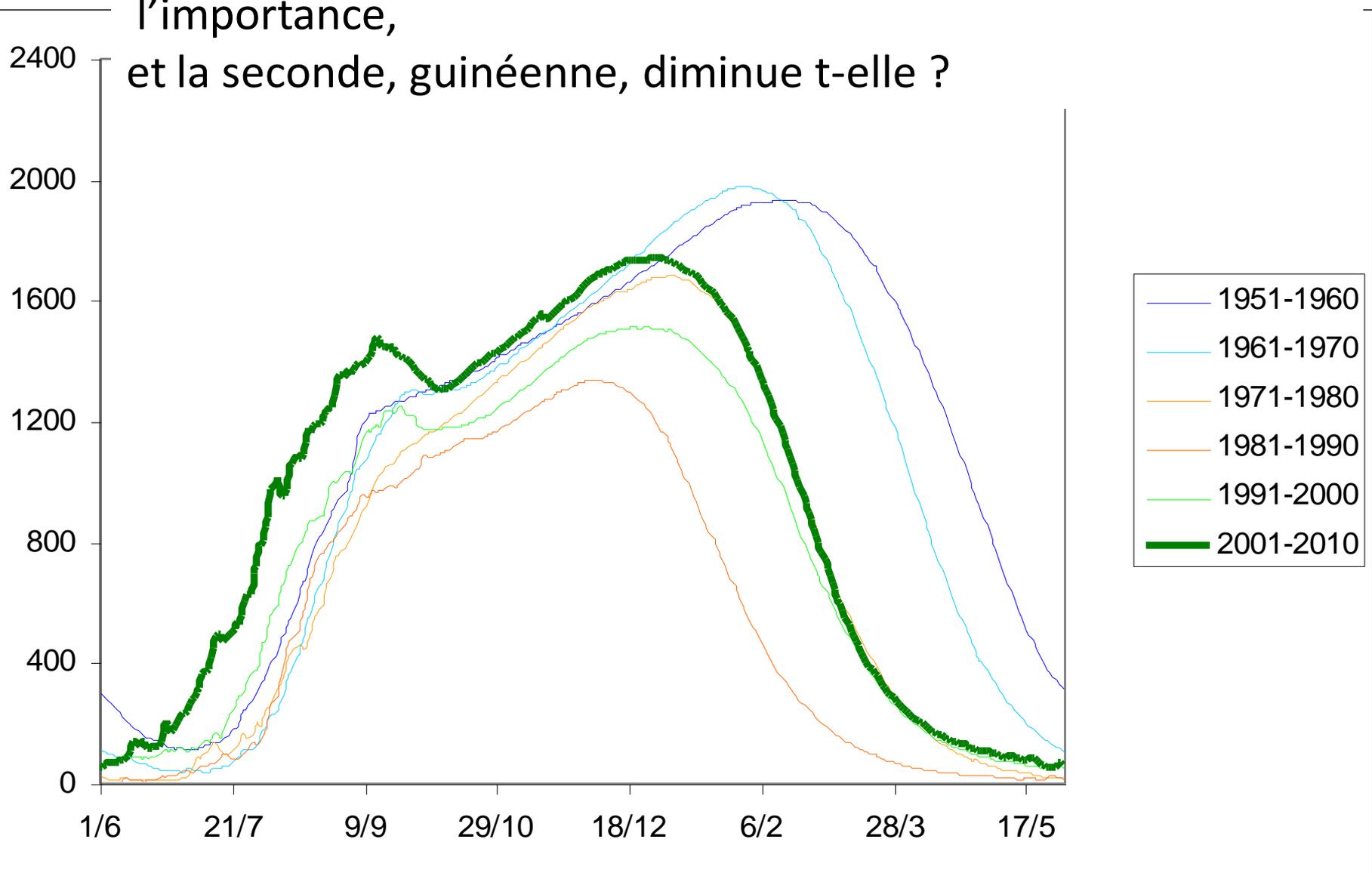


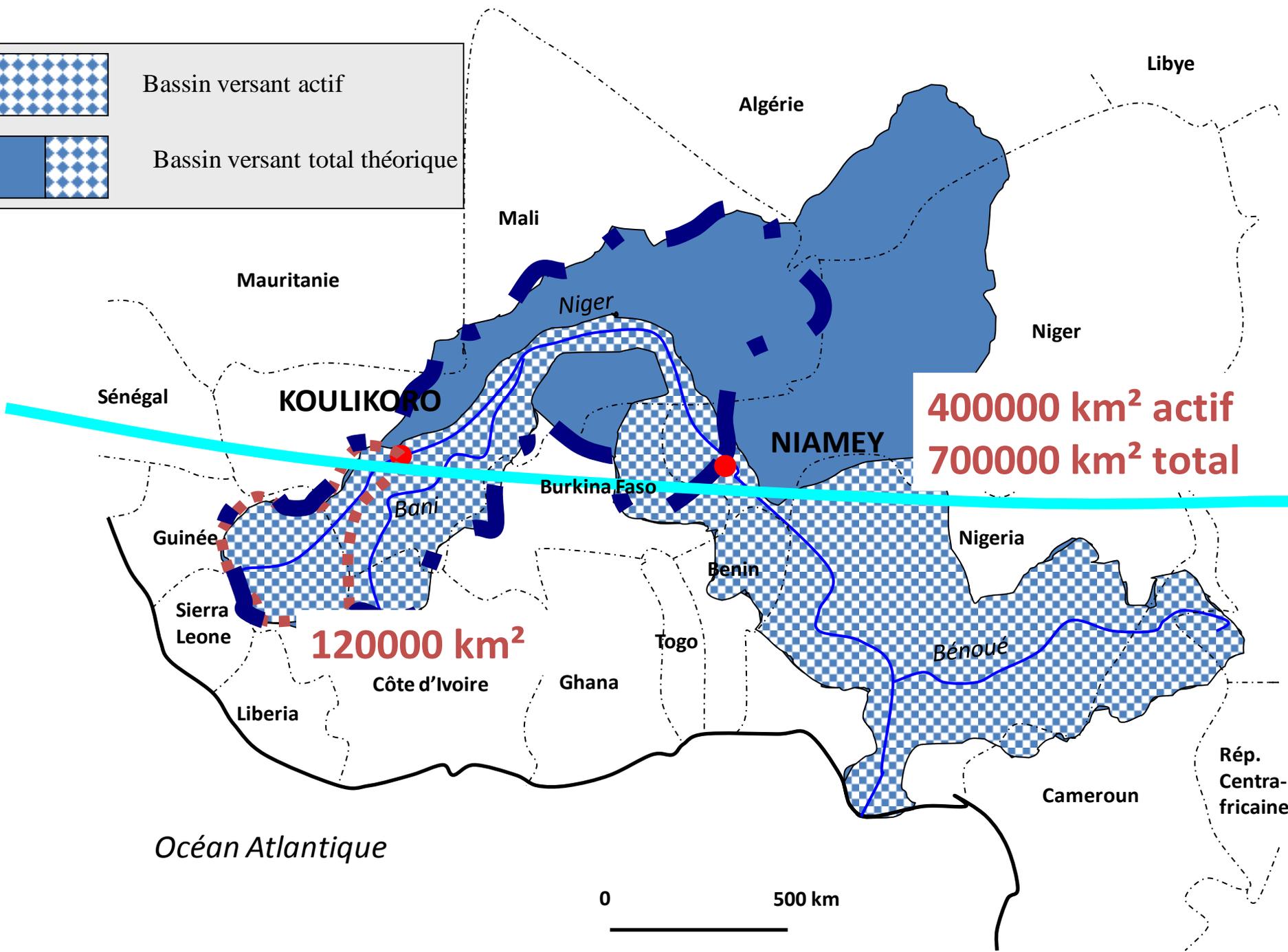
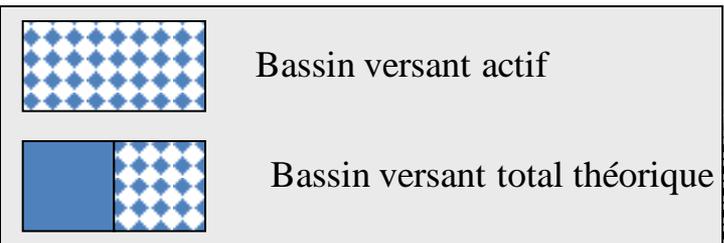
Pourquoi ce paradoxe est-il purement Sahélien ?

Pourquoi la première crue du Niger, sahélienne, prend-elle de

l'importance,

et la seconde, guinéenne, diminue-t-elle ?

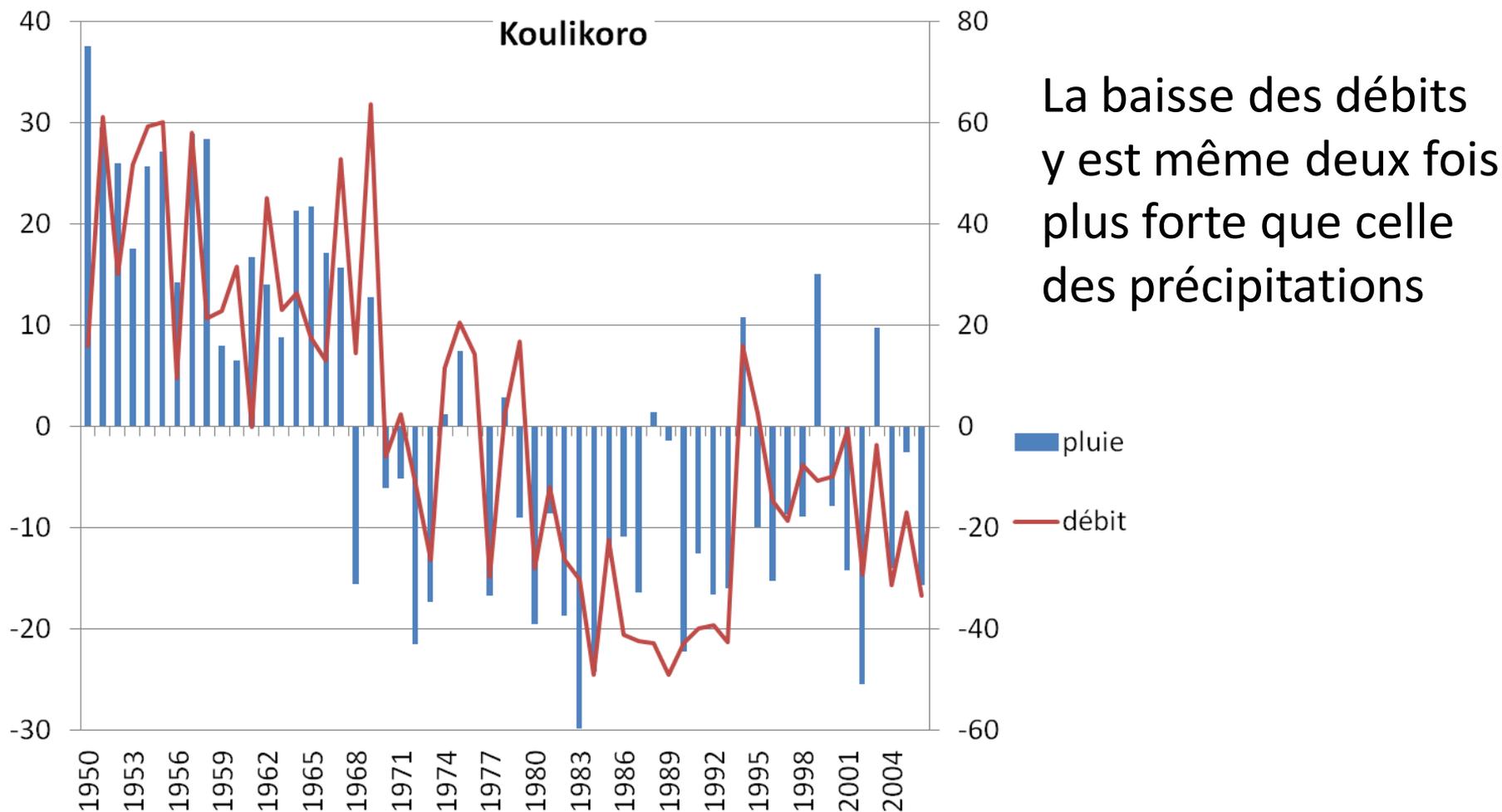




**400000 km<sup>2</sup> actif**  
**700000 km<sup>2</sup> total**

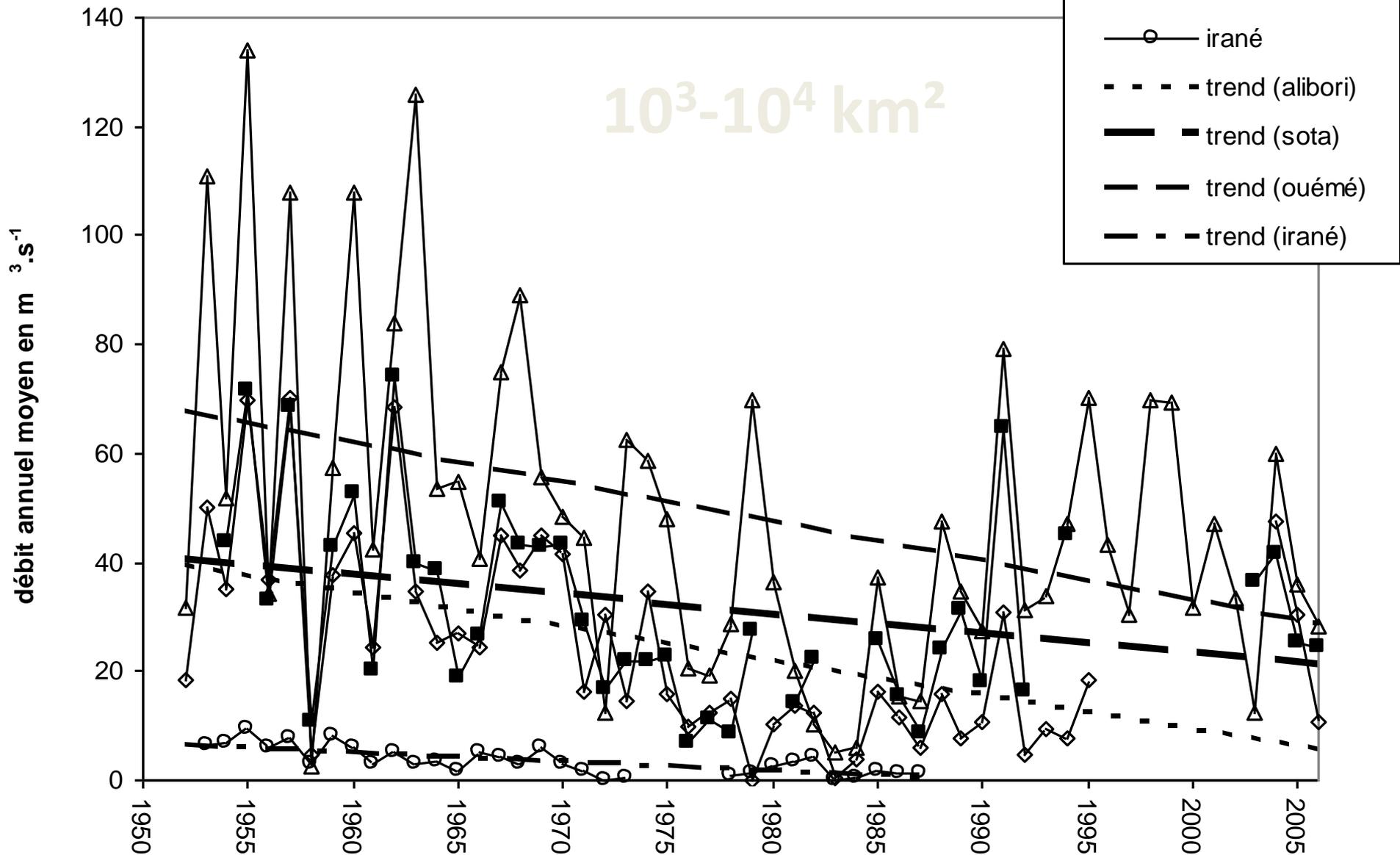
**120000 km<sup>2</sup>**

# Dans les hauts bassins, une très forte baisse des débits, signe de « bon état » des terroirs des bassins versants

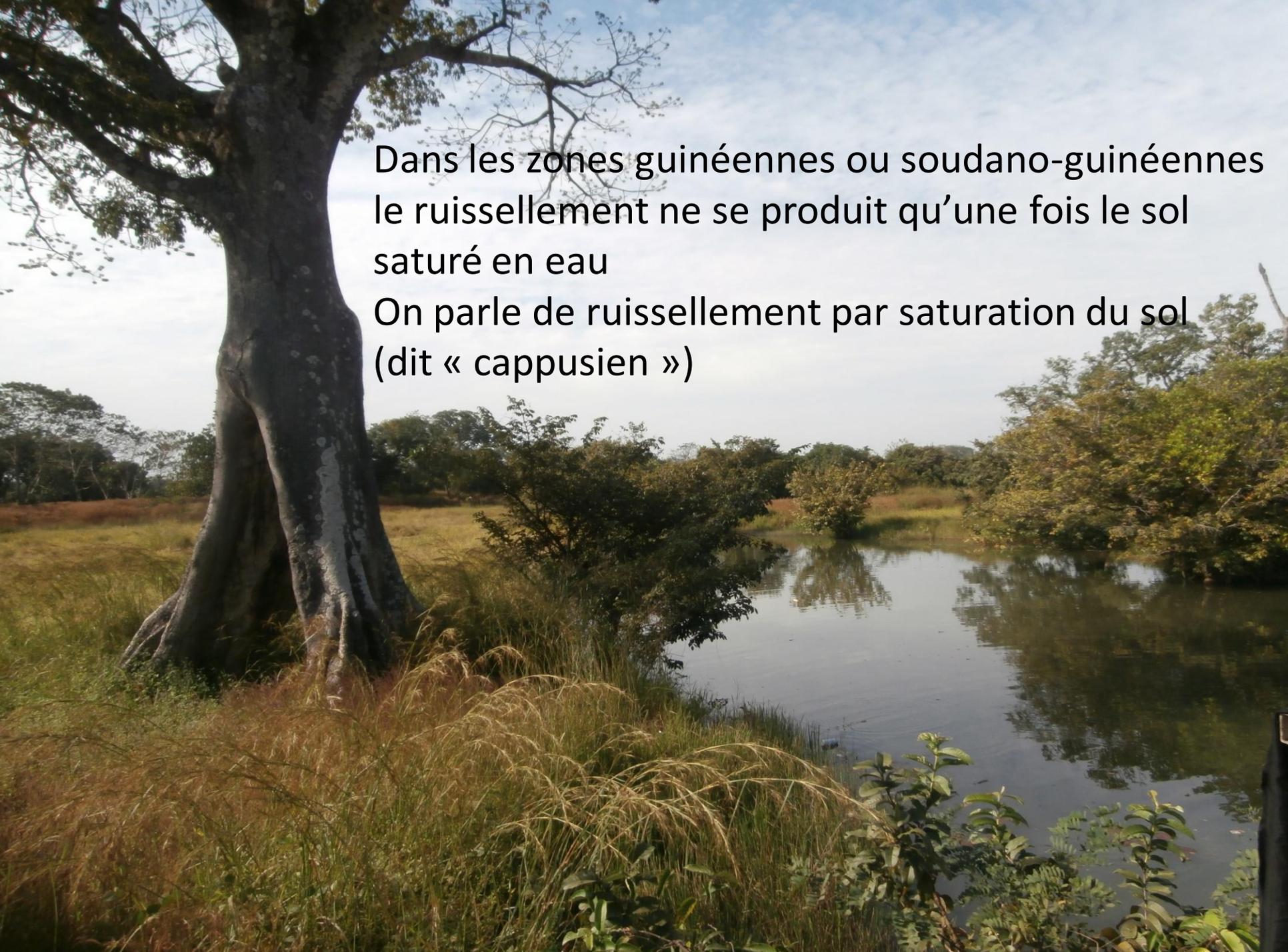


Comparaison des écarts à la moyenne des pluies et des débits (Niger à Koulikoro) annuels

# Evolution des débits de cours d'eau soudaniens

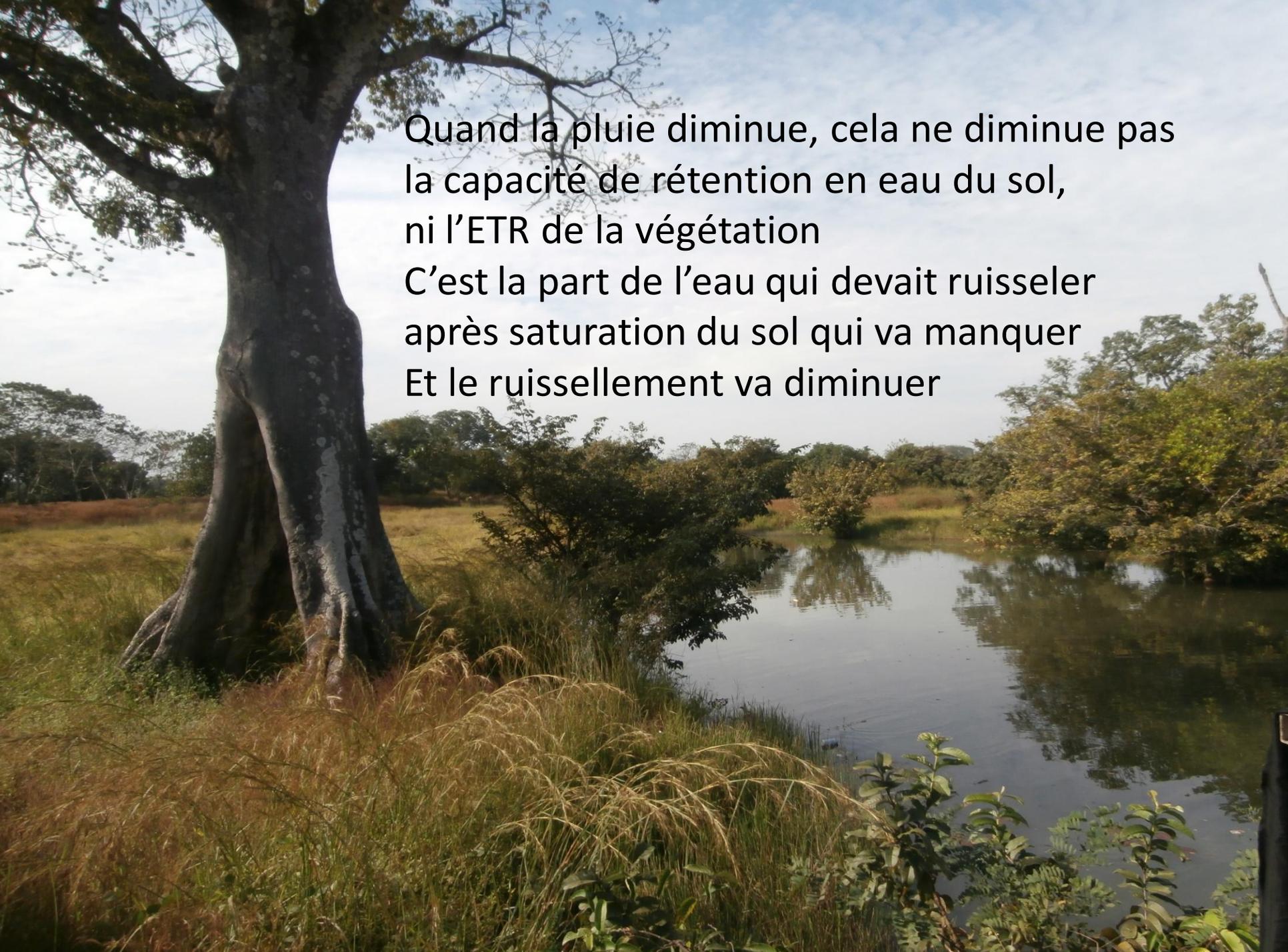


Amogu et al, 2010



Dans les zones guinéennes ou soudano-guinéennes  
le ruissellement ne se produit qu'une fois le sol  
saturé en eau

On parle de ruissellement par saturation du sol  
(dit « cappusien »)



Quand la pluie diminue, cela ne diminue pas  
la capacité de rétention en eau du sol,  
ni l'ETR de la végétation  
C'est la part de l'eau qui devait ruisseler  
après saturation du sol qui va manquer  
Et le ruissellement va diminuer

Alors qu'en zone sahélienne, on assiste à l'extension des zones où domine le ruissellement ou par dépassement de l'infiltrabilité ou par refus d'infiltration (dit « hortonien » )



## Causes de la hausse des débits

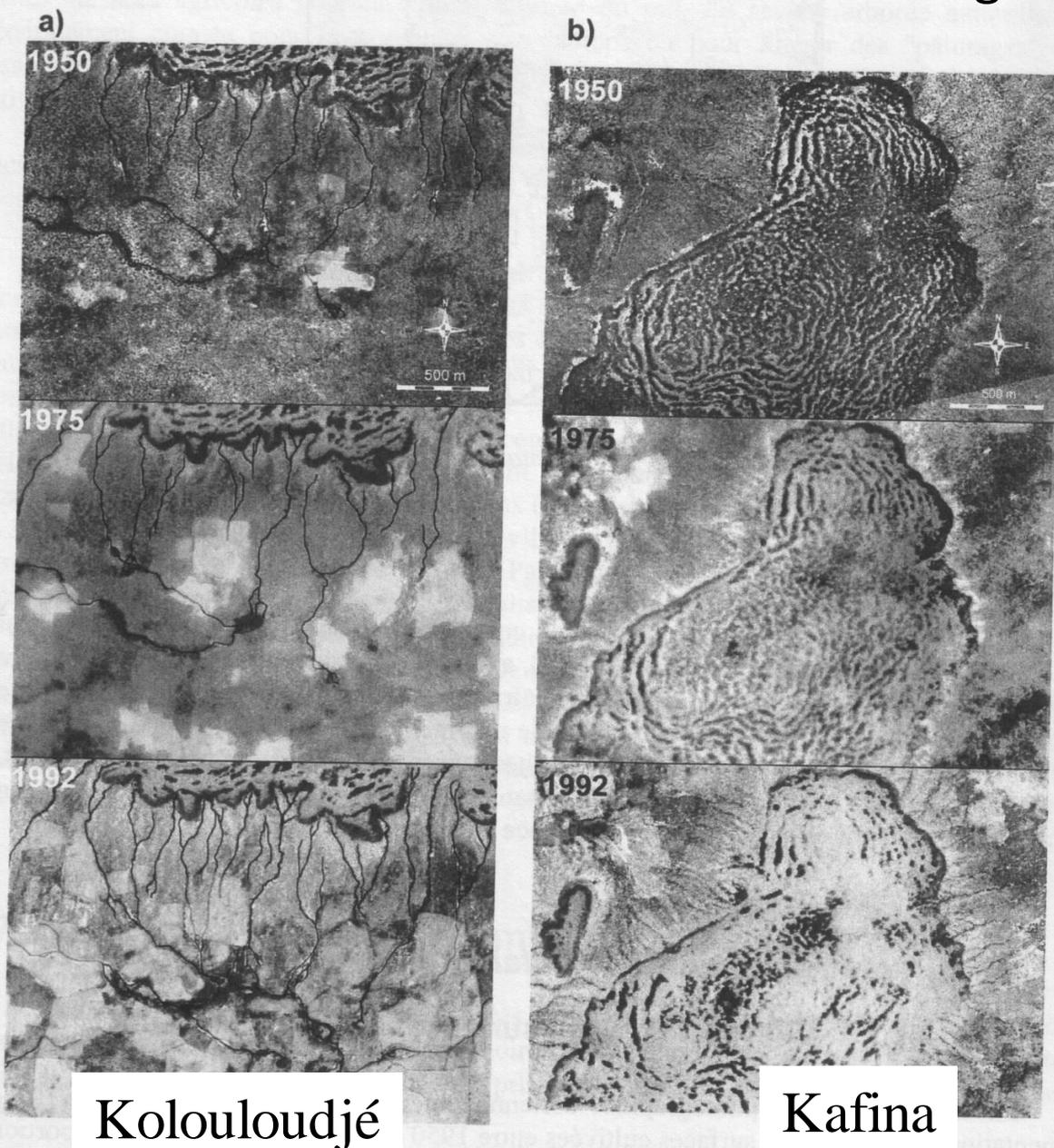
- 1- LULCC et encroûtement
- 2- intensification des pluies ?
- 3- ruptures d'endoréisme
- 4- urbanisation

## Causes de la hausse des inondations et de leur impact

- 1- ensablement
- 2- urbanisation

18.05.2004

# 1- qu'elle soit naturelle ou anthropique, une modification de la couverture végétale



↓  
Diminution de la  
couverture  
végétale

Augmentation des  
surfaces cultivées  
et densification  
du réseau de  
drainage

↓ (thèse Massuel, 2005)

1950



1992



Diminution de la couverture végétale et densification du réseau de drainage  
Apparition de la mare de Kafina à la place du bas fond défriché



1°30'0"E

1975

1°30'0"E

1999

13°30'0"N

13°30'0"N

Sol nu, bassin de la Sirba

0 10 Kilometers

Sol nu

1°30'0"E

1°30'0"E

# Défrichement vers Tillabéry

*Courtoisie Maurice Ascani*



Ce que l'on a appris sur les eaux de surface

## Une problématique multi scalaire



À l'échelle ponctuelle  
Perméabilité du sol  
(par infiltromètre à disque)

Mil:  $K_s = 162 \text{ mm/h}$

Jachère  $K_s = 108 \text{ mm/h}$

Sol encroûté  $K_s = 18 \text{ mm/h}$

$K_s =$  conductivité hydraulique à saturation

**Une forte diminution de l'infiltrabilité des sols**

# Ce que l'on a appris sur les eaux de surface

## Une problématique multi scalaire



À l'échelle ponctuelle  
Perméabilité du sol  
(par infiltromètre à disque)

Mil  $K_s = 162 \text{ mm/h}$

Jachère  $K_s = 108 \text{ mm/h}$

Sol encroûté  $K_s = 18 \text{ mm/h}$

$K_s$  = conductivité hydraulique à saturation



**10 m<sup>2</sup>**

À l'échelle parcelle  
Coef de ruissellement

Mil : 4 %

Jachère : 10%

Sol encroûté 60%



# Ce que l'on a appris sur les eaux de surface

## Une problématique multi scalaire



À l'échelle ponctuelle  
Perméabilité du sol  
(par infiltromètre à disque)

Mil  $K_s = 162 \text{ mm/h}$

Jachère  $K_s = 108 \text{ mm/h}$

Sol encroûté  $K_s = 18 \text{ mm/h}$

$K_s$  = conductivité hydraulique à saturation



**10 m<sup>2</sup>**

À l'échelle parcelle  
Coef de ruissellement

Mil : 4 %

Jachère : 10%

Sol encroûté 60%



Or

85% des événements pluvieux ont une intensité maximale instantanée  $> 50 \text{ mm/h}$

75,1% des précipitations sont tombées avec une intensité supérieure à  $30 \text{ mm/h}$  ;

42,9% des précipitations sont, elles, tombées avec une intensité supérieure à  $60 \text{ mm/h}$

**D'où une forte augmentation du ruissellement**

*Descroix et al., 2011*

*Thèse Le Breton, 2012*

*Thèse Malam Abdou, 2014*

# Une problématique multi scalaire

Bassins de Tondi Kiboro

Bassins de 10 ha

+ 100 % de sols encroûtés

+ 50 % de ruissellement

en

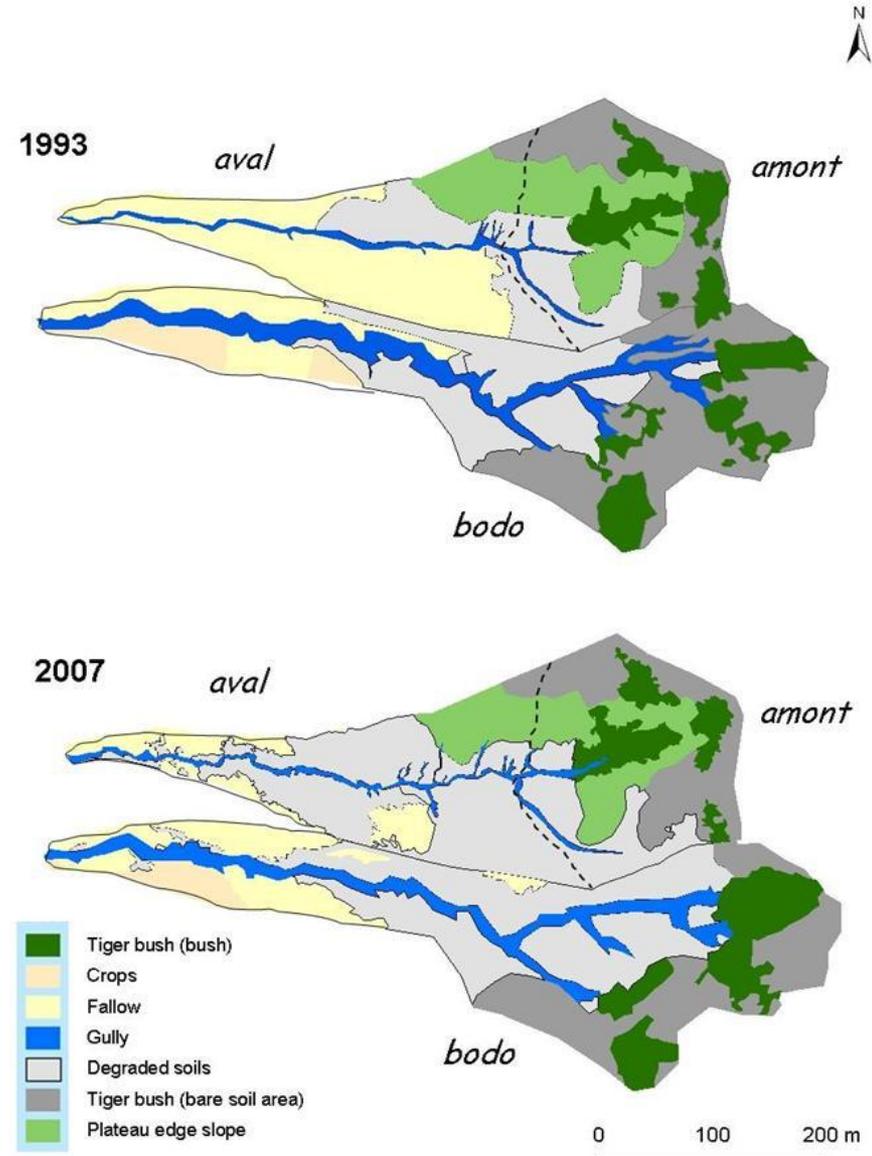
- 30 % de temps

*Descroix et al., 2011*

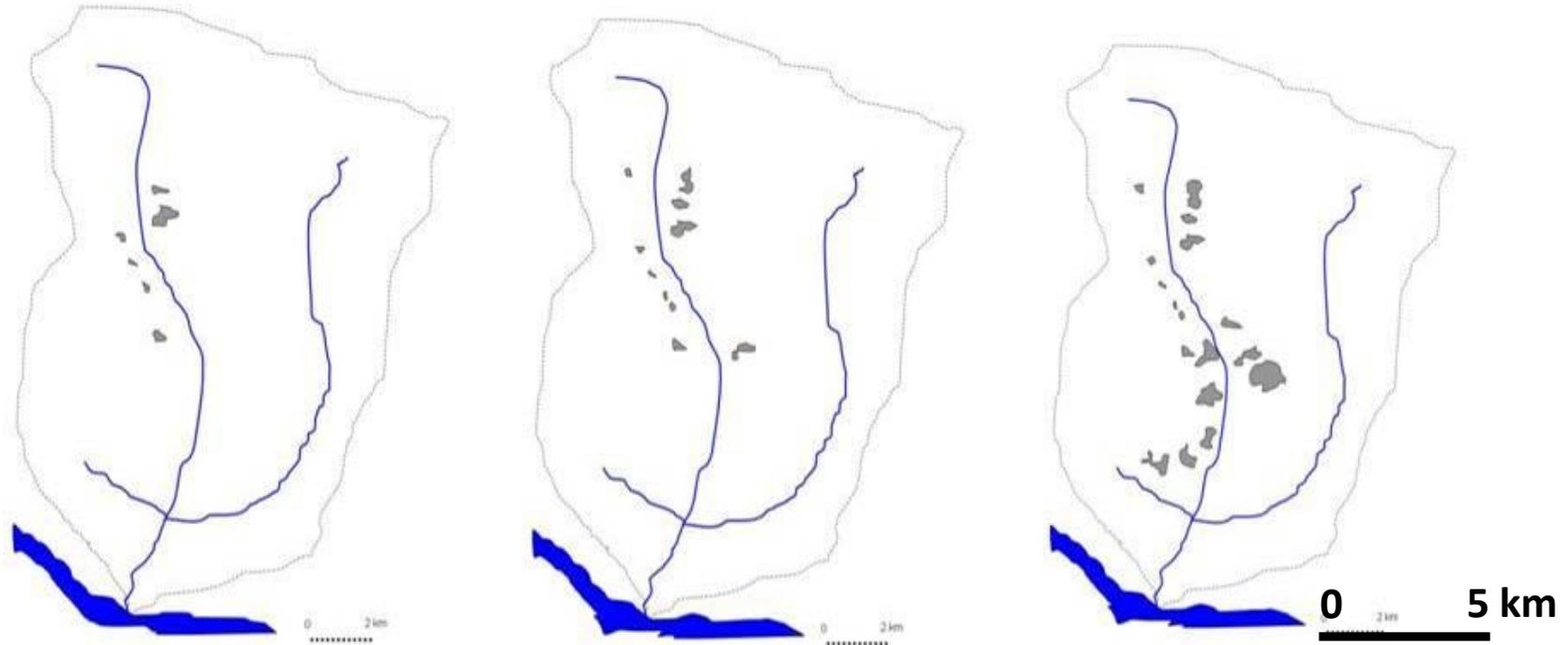
*Thèse Souley Yéro, 2012*

*Thèse Le Breton, 2012*

*Amogu et al. 2013*



## Une problématique multi scalaire



Bassin de Boubon

1975

1989

2005

*Souley Yéro, 2008*  
*Thèse Mamadou*  
*2012*

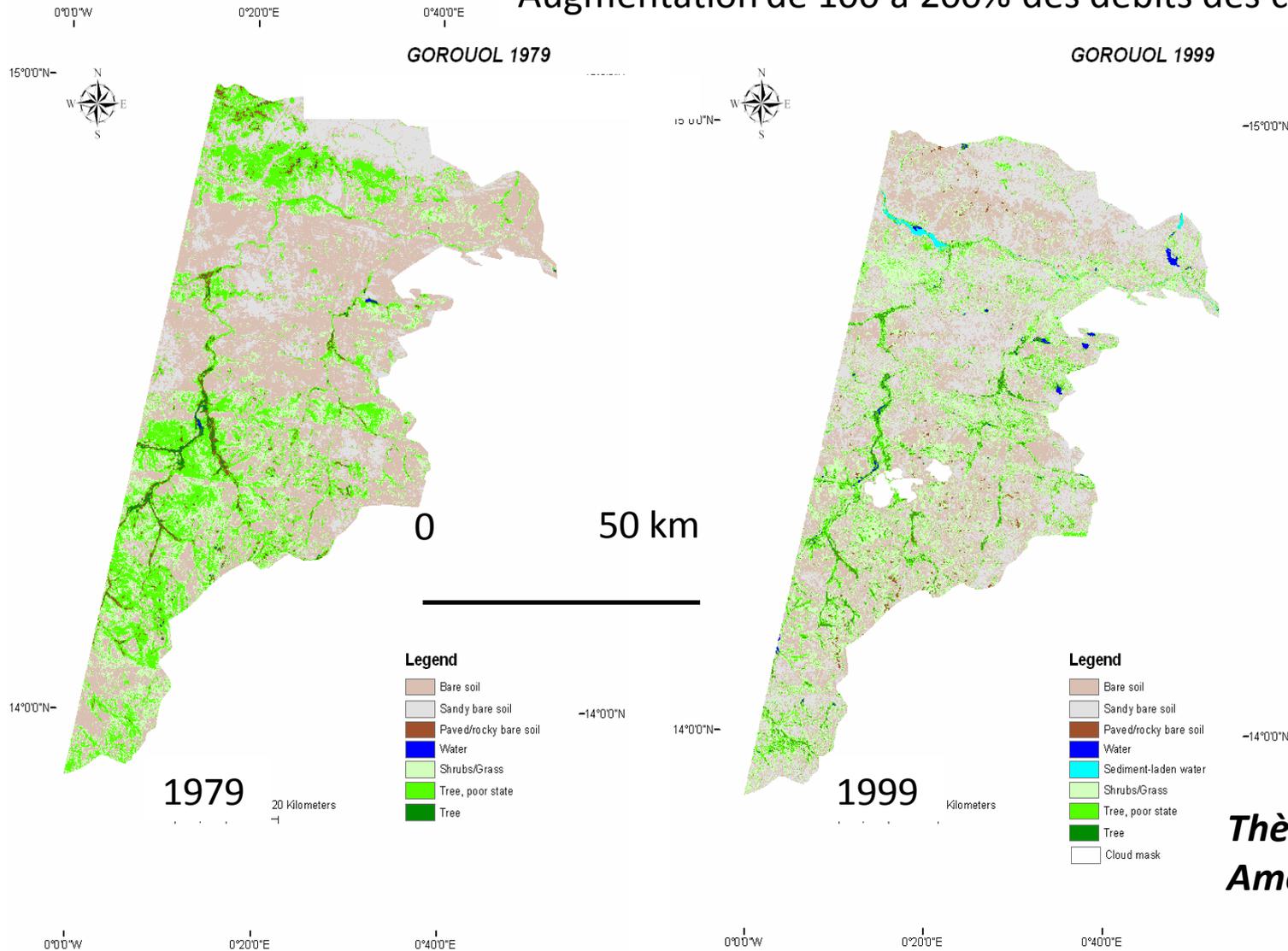
Quelques dizaines de bassins de **50 à 500 km<sup>2</sup>**:  
Augmentation de 20 à 200 % de la surface de sols encroûtés:  
Augmentation des débits d'un ordre de grandeur

# Bassin du Gorouol

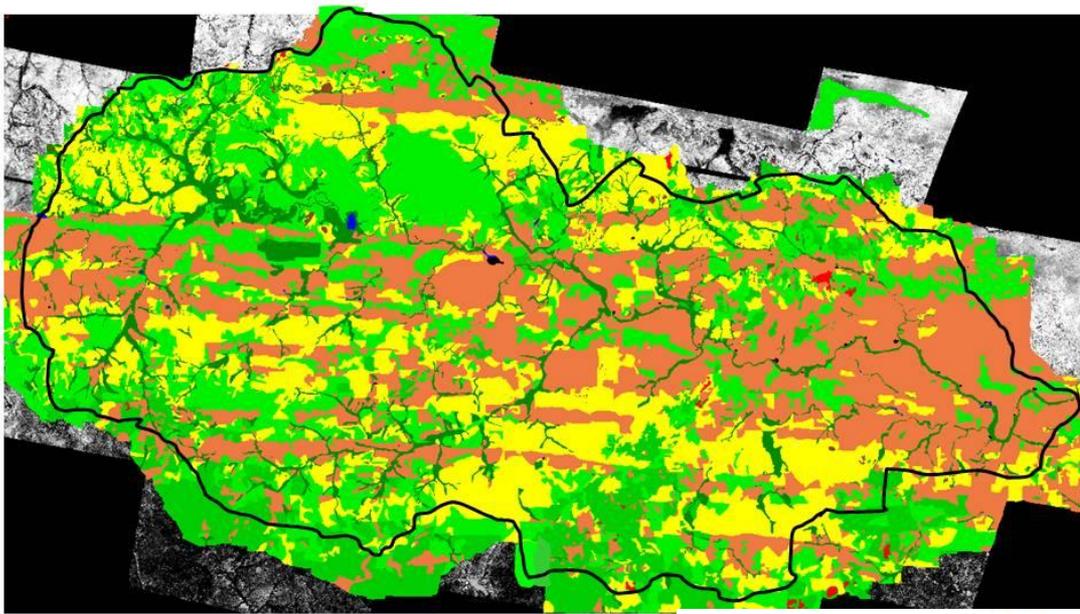
Grands bassins de **5000 à 50000 km<sup>2</sup>**

Diminution de 20 à 50% de la biomasse

Augmentation de 100 à 200% des débits des cours d'eau



*Thèse Amogu, 2009*  
*Amogu et al, 2010*



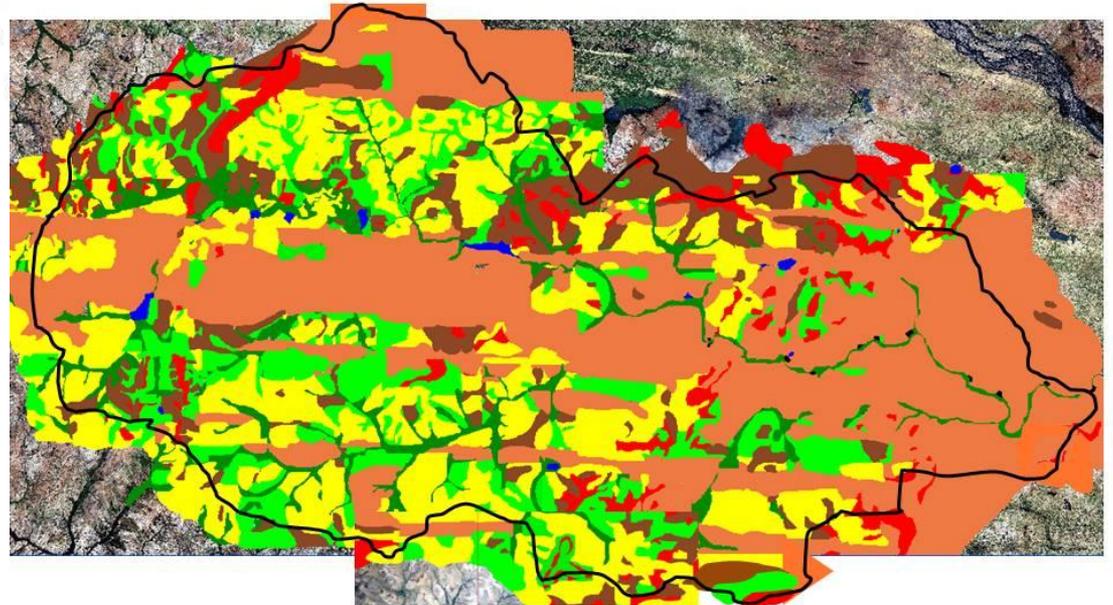
# 1965

(photo interprétation  
d'après image CORONA)

## BV du Dargol (7000 km<sup>2</sup>)

### LEGENDE

- |                                                                                   |                       |                                                                                   |                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
|  | Végétation ripicole   |  | Cultures et jachères |
|  | Forêt, brousse tigrée |  | Surface dégradée     |
|  | Brousse               |  | Eau libre            |
|  | Pâturages, steppe     |  | Rochers              |
|                                                                                   |                       |  | Villages             |

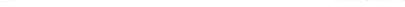


# 2010

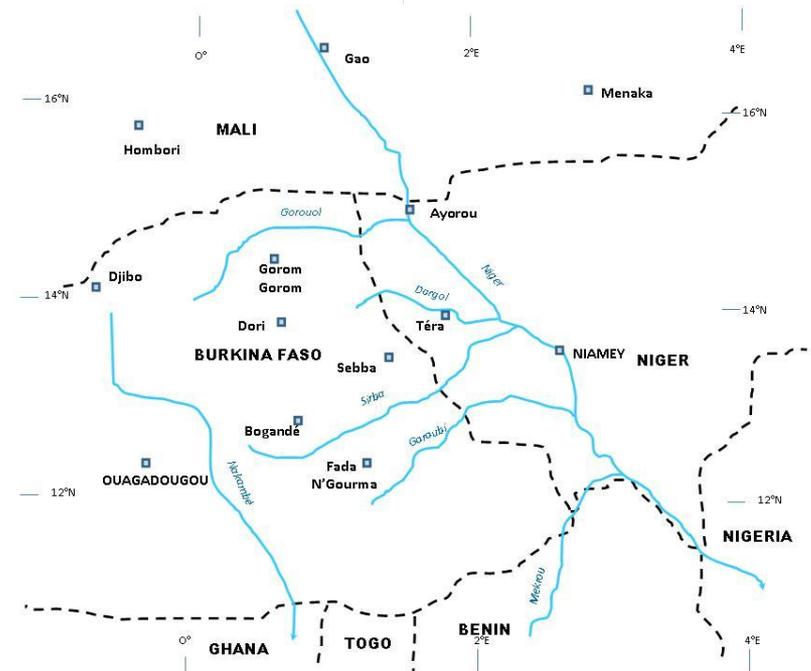
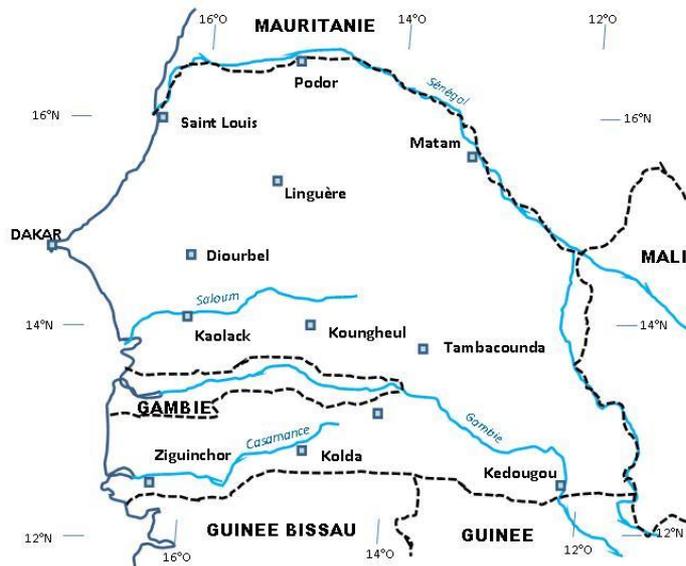
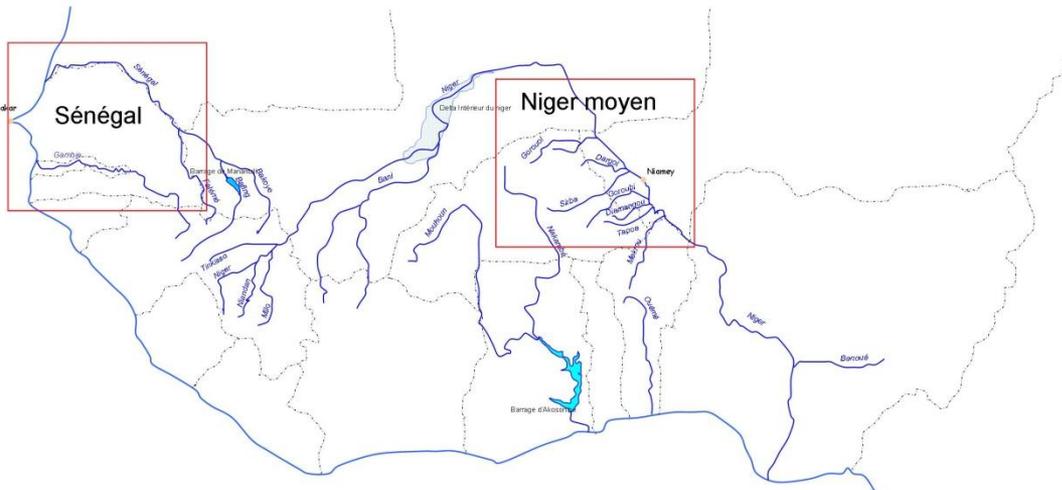
(photo interprétation  
d'après scène Google Earth)

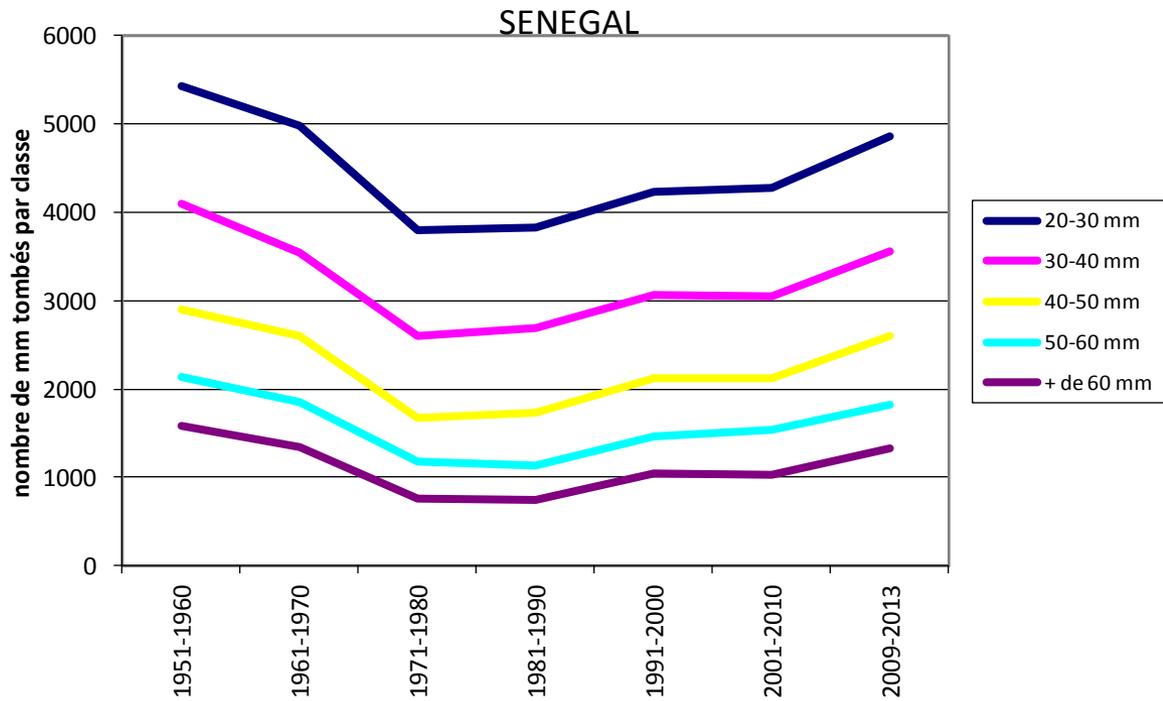
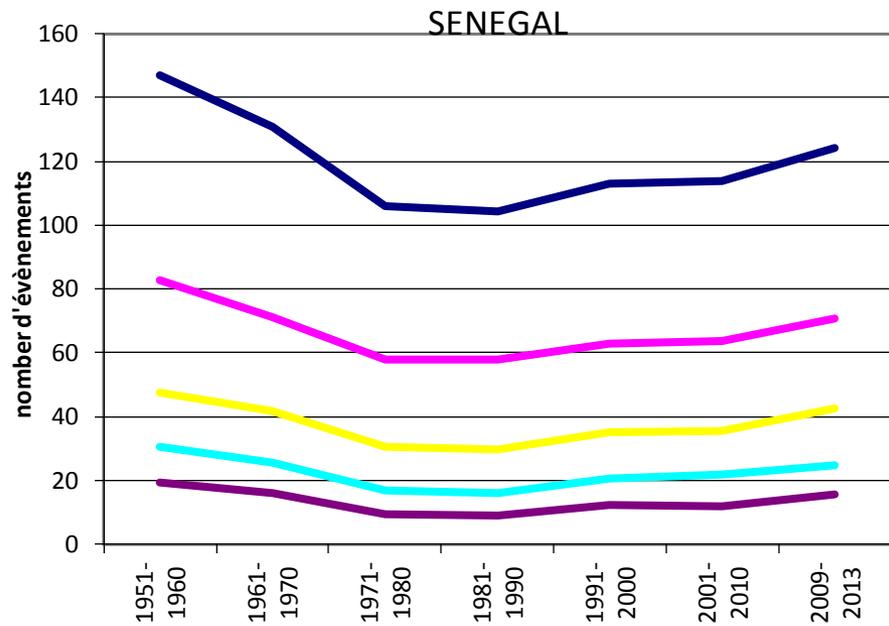
### LEGENDE

- |                                                                                     |                       |                                                                                       |                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
|  | Végétation ripicole   |  | Cultures et jachères |
|  | Forêt, brousse tigrée |  | Surface dégradée     |
|  | Brousse               |  | Eau libre            |
|  | Pâturages, steppe     |  | Rochers              |
|                                                                                     |                       |  | Villages             |

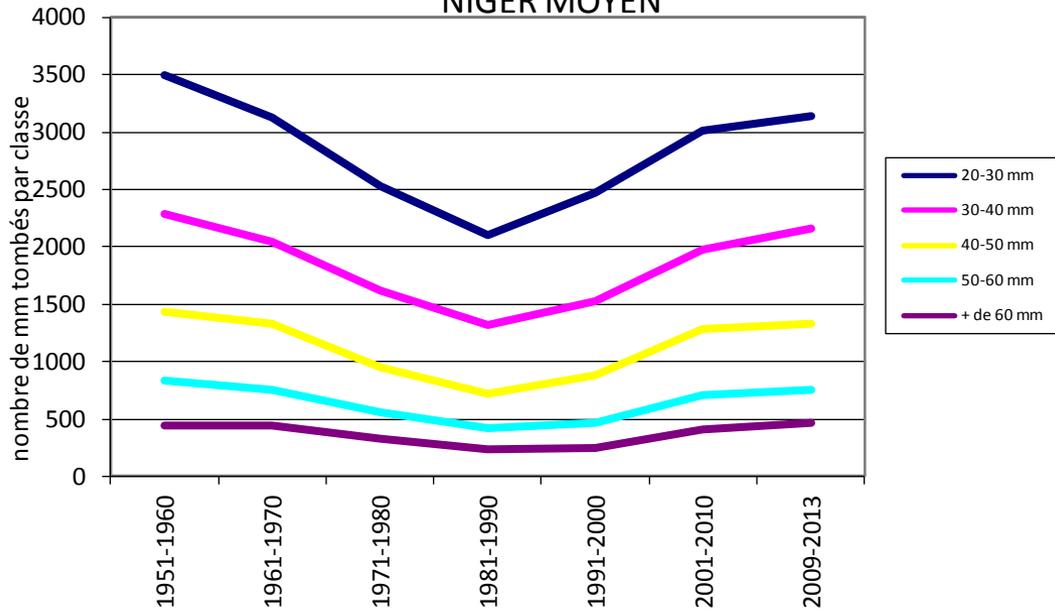
0  50 km

# 2- une intensification des précipitations ?

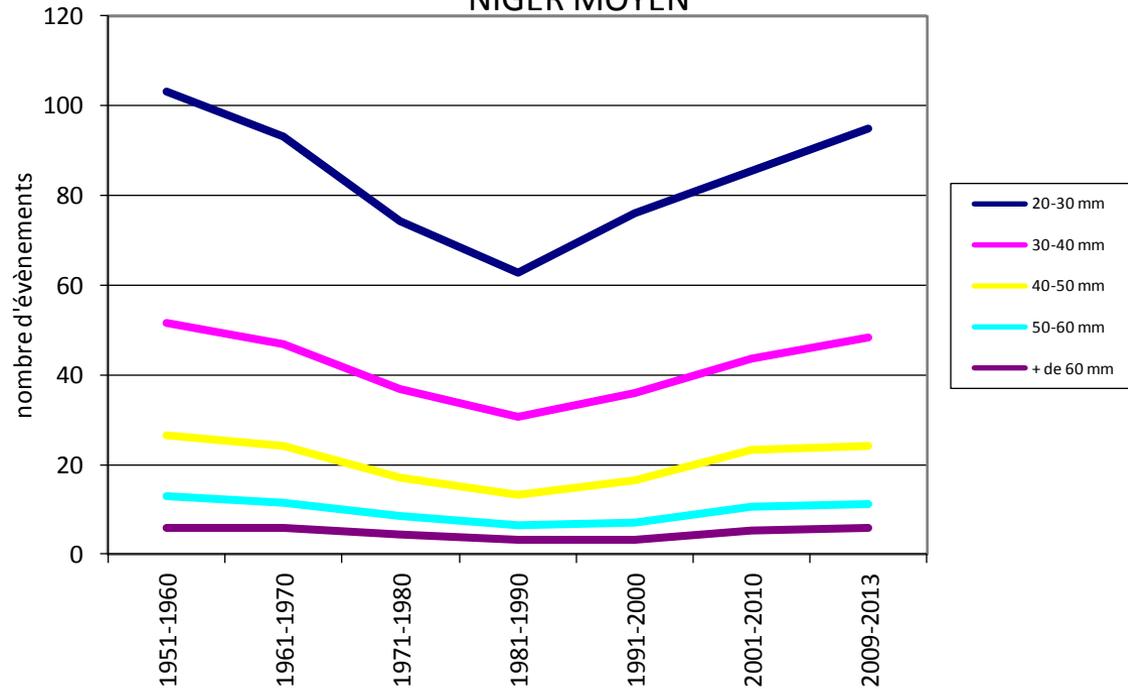




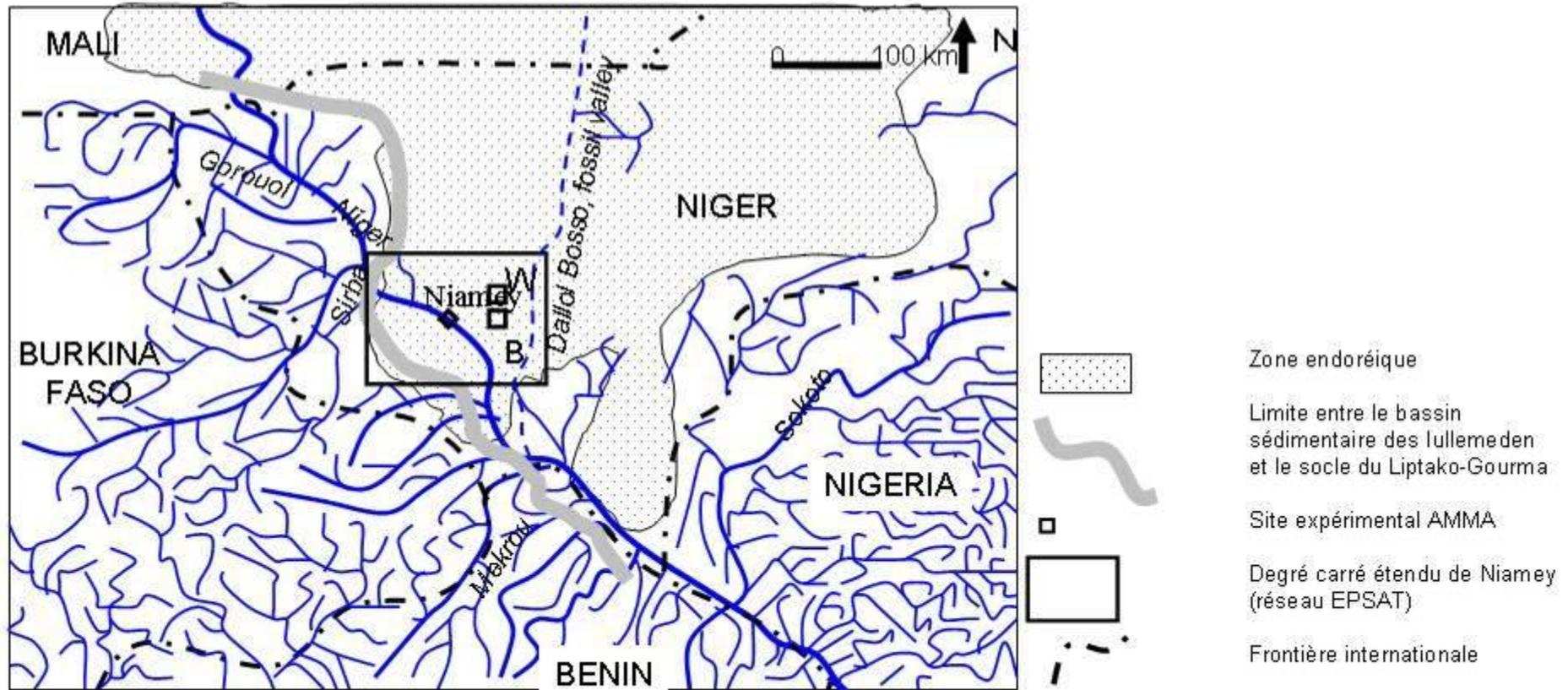
### NIGER MOYEN

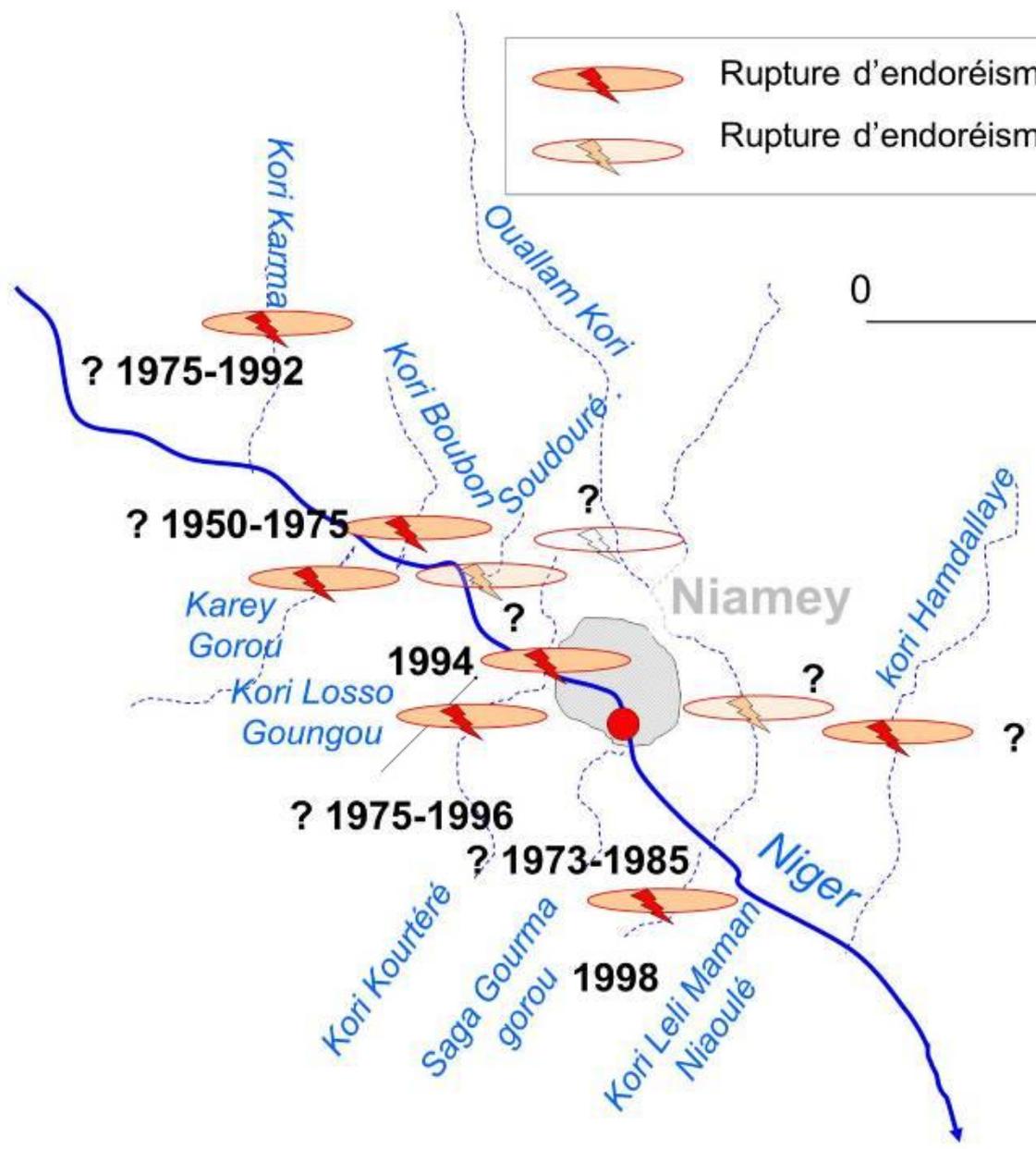
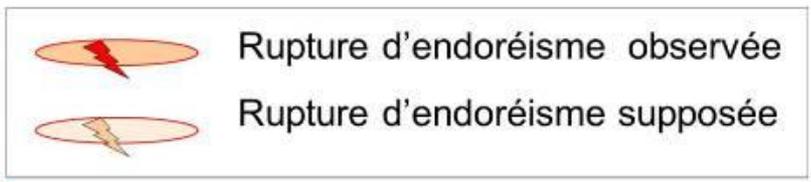


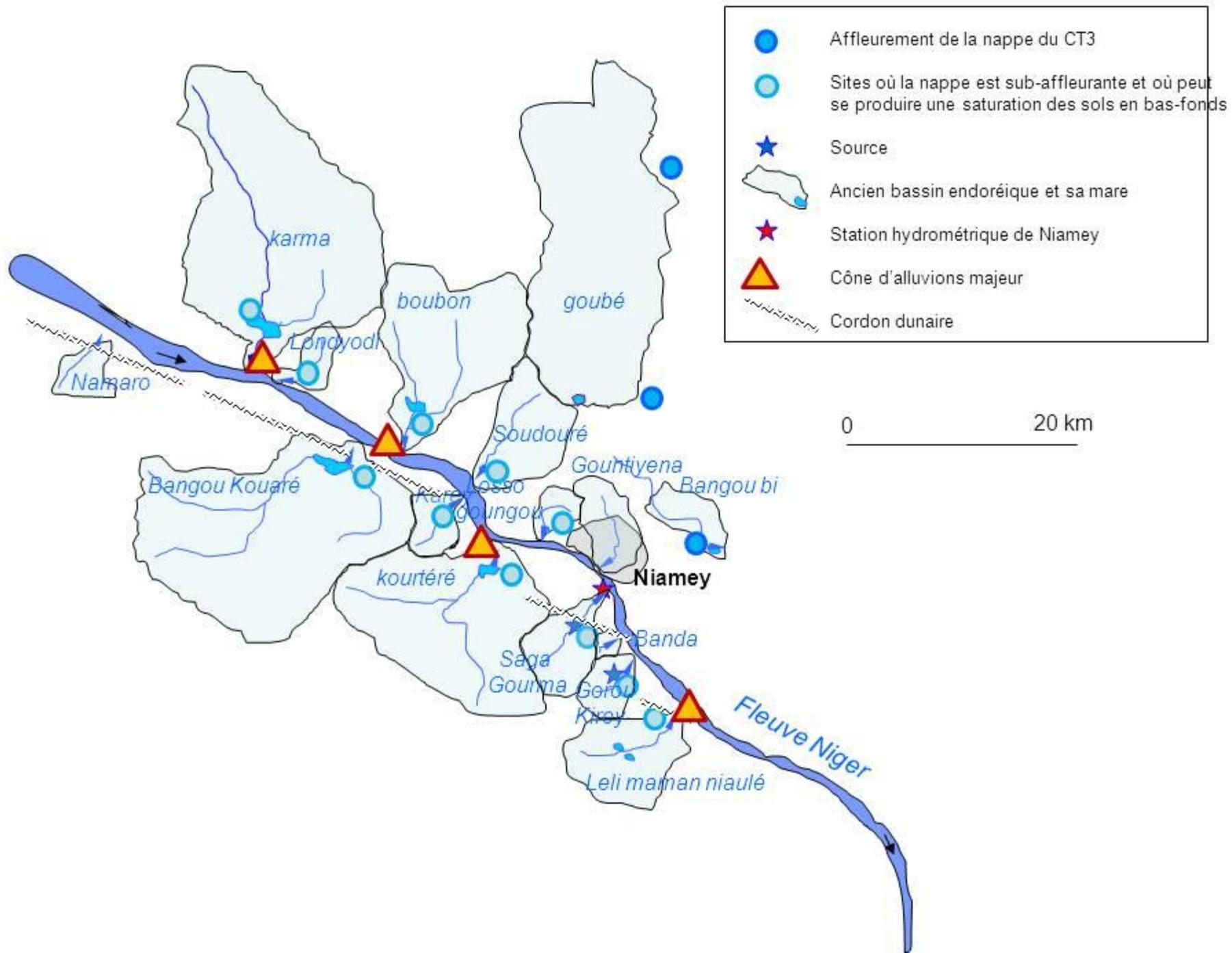
### NIGER MOYEN



### 3- des ruptures d'endoréisme, un accroissement de la surface des bassins versants







Rupture d'endoréisme, Leli Maman Niaoulé, rte de Say, 01/09/98

Néo kori vu vers l'aval, route de Say coupée





1998

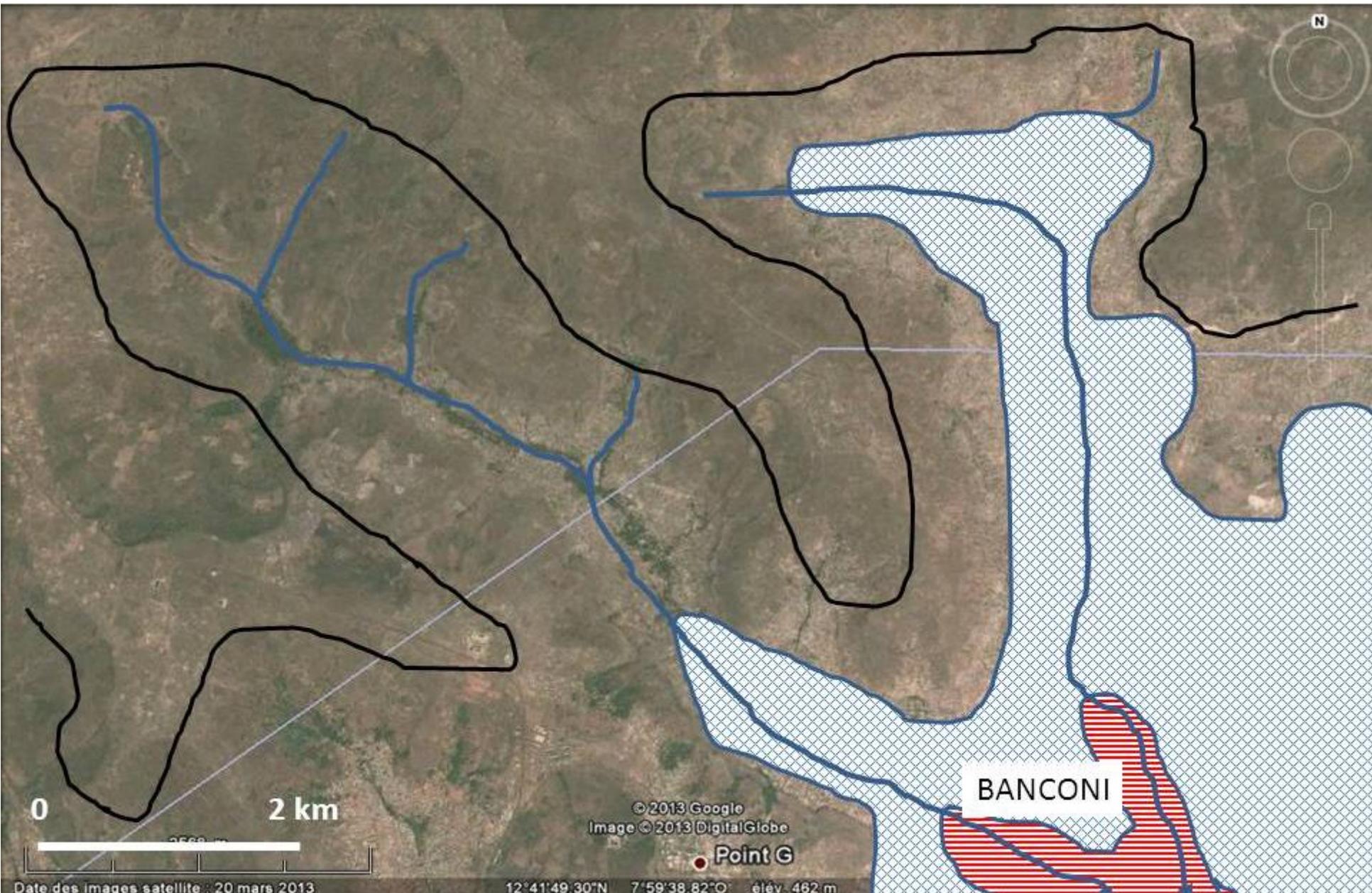


2007

Fig D1

0 250m

#### 4- l'urbanisation et l'augmentation des coefficients de ruissellement liée à l'imperméabilisation de certains espaces





Des drains mal entretenus







Des drains mal entretenus

Des espaces imperméabilisés  
devenant ruisselants

Des inondations purement  
urbaines,  
loin de toute rivière

(Ouaga, 1/9/2009  
Dakar, 26/8/2012  
Bamako, 30/8/2013.....)



## Causes de la hausse des débits

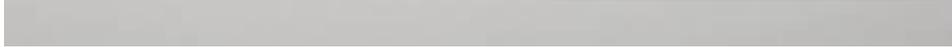
- 1- LULCC et encroûtement
- 2- intensification des pluies ?
- 3- ruptures d'endoréisme
- 4- urbanisation

## Causes de la hausse des inondations et de leur impact

- 1- ensablement
- 2- urbanisation

18.05.2004

# 1- l'ensablement des lits des cours d'eau



On observe une phase d'érosion active et récente au Sahel



Ouest du Niger



Elle cause l'exhaussement et l'élargissement  
des lits des koris (oueds) et des fleuves

Les arbres étaient là avant le lit du kori;  
ils ne peuvent pas pousser dans l'eau;  
c'est le lit qui s'est élargi et a  
rattrapé les arbres





Ainsi que l'ensablement du fleuve Niger





Ainsi que l'ensablement du fleuve Niger

Mais attention, l'impression d'ensablement vient aussi du fait qu'il y a moins d'eau, du fait de la baisse des débits donc le sable apparaît plus tôt (*Luc Ferry et al., 2011*)

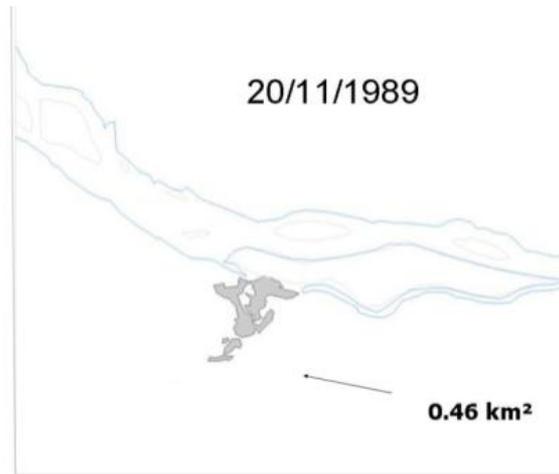
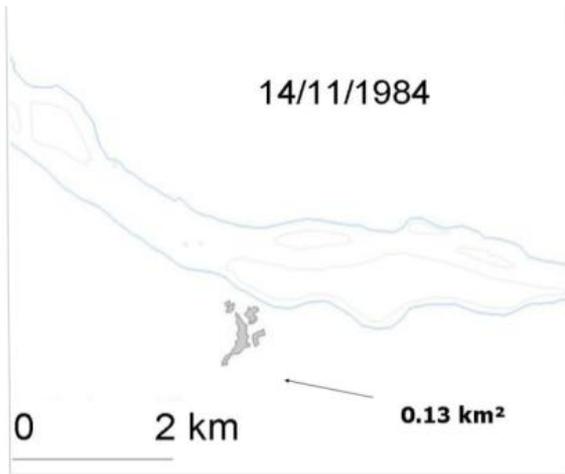


Ce qui réduit d'autant la section utile du cours d'eau: un même débit débordera donc plus facilement qu'avant, du fait d'une section réduite



(photo Emmanuèle Gautier)

C'est une des causes de l'excédent sédimentaire



## Le cône de déjection du Kourtéré

L'ensablement du lit aggrave le risque d'inondation à cause de la diminution de la section d'eau

*(Amogu et al., 2010)*

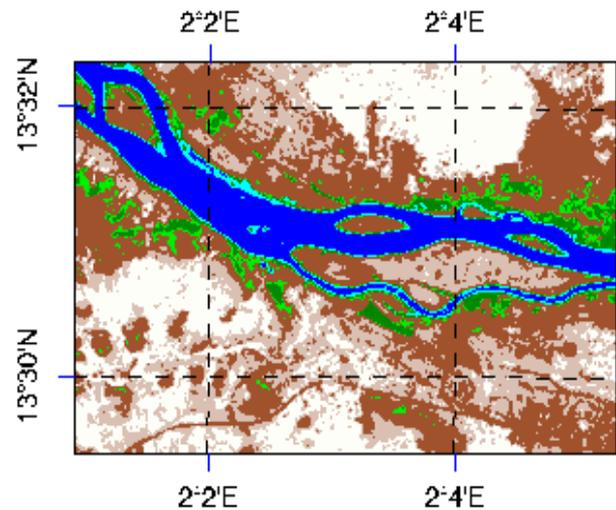
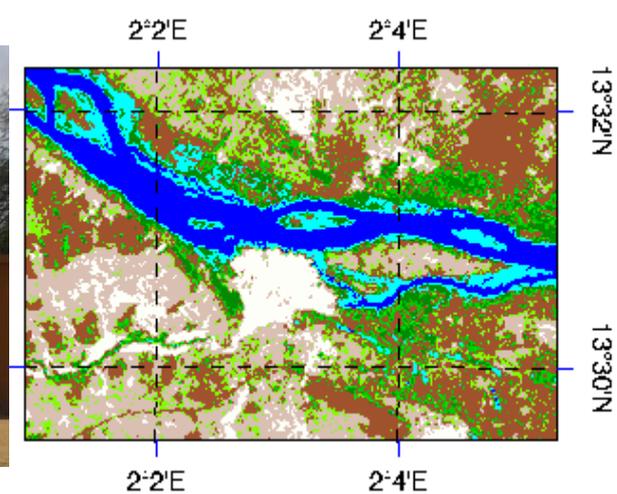


Photo Ibrahim Noma, 20 août 2012





*Ferry, Mietton et  
Coulibaly, 2011*

« Pêcheurs de sable »

**TOUT LECONTRAIRE A BAMAKO !!!!!**

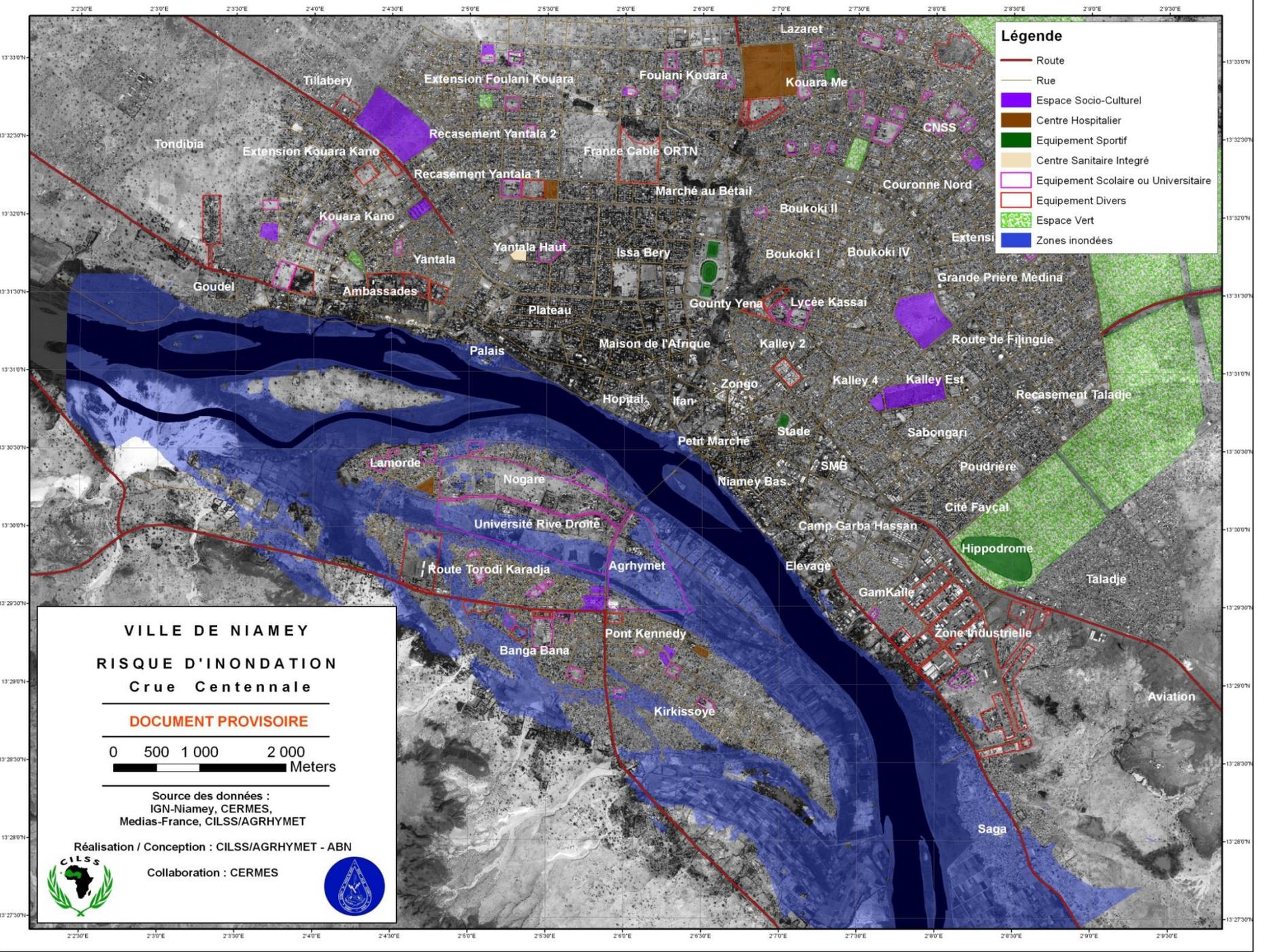
Un effet secondaire de l'urbanisation :  
La croissance de la ville de Bamako (130 000 hab en 1960,  
1 800 000 en 2010) fait exploser la demande en sable



## 2- l'urbanisation des zones inondables



*Courtoisie Maurice Ascani*



- Légende**
- Route
  - Rue
  - Espace Socio-Culturel
  - Centre Hospitalier
  - Equipement Sportif
  - Centre Sanitaire Intégré
  - Equipement Scolaire ou Universitaire
  - Equipement Divers
  - Espace Vert
  - Zones inondées

**VILLE DE NIAMEY**

**RISQUE D'INONDATION**

**Crue Centennale**

---

**DOCUMENT PROVISOIRE**

---

0 500 1 000 2 000  
Meters

---

Source des données :  
IGN-Niamey, CERMES,  
Medias-France, CILSS/AGRHYMET

Réalisation / Conception : CILSS/AGRHYMET - ABN

Collaboration : CERMES








*Courtoisie Maurice Ascani*

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

- Un paradoxe
- des facteurs aggravants, « naturels » ou « anthropiques »
- la nécessité de promouvoir des activités et pratiques favorisant l'infiltration de l'eau dans les sols, les champs, les terroirs, les bassins versants; afin de :
  - améliorer la productivité primaire nette de la végétation naturelle comme des cultures et des arbres et arbustes « cultivés »
  - améliorer la rétention en eau naturelle des sols pour écrêter les crues et soutenir les étiages en aval

Et comme recommandations :

- contrôler l'urbanisation
  
- favoriser donc les pratiques « infiltrantes », souvent issues des savoirs locaux et qui pallient le manque de fertilité par l'utilisation de la main d'œuvre abondante
  - jardinage, maraichage,
  - petite irrigation
  - permaculture
  - agroforesterie
  - reboisement des secteurs déjà dégradés
  - haies, arbres dans les champs (légumineuses)
  - demi lunes, zai, banquettes sur pentes, etc...