

# Evolution de la climatologie des pluies et des températures au Bénin : que sait-on aujourd'hui ?

RÉSULTATS DU MASTER DE RECHERCHE DE ROLAND KIKI  
WEBINAIRE DU 16 DÉCEMBRE 2020, LMI REZOC

## Axe 1 du LMI REZOC

### Analyse de la variabilité des pluies et des variables climatiques

## Intérêt

#### ❖ Enjeux globaux

Question de réchauffement climatique et d'intensification du cycle hydrologique global

#### ❖ Enjeux locaux

Déclinaison régionale du changement climatique

Impact des extrêmes sur l'humain

Aide à la prise de décision pour stratégies d'adaptations



# Travaux antérieurs sur la variabilité des températures et des pluies

3

## Auteurs ayant abordé la thématique :

- Hountondji et al. en 2011
- N'Tcha M'Po et al. en 2017
- Attogouinon et al. en 2017
- Hounguè et al. en 2019
- ...

## Constat :

- ❖ Tendances des indices de **températures** témoignant d'un réchauffement depuis 1950 ;
- ❖ Tendances des indices de **précipitations** pas claires, non détectées de façon significative.

# Travaux antérieurs sur la variabilité des températures et des pluies

4

**Problème** : difficulté de comparer les résultats obtenus par les auteurs précédents sur la pluviométrie au Bénin.

Différence au niveau des :

- Zones d'étude,
- périodes
- outils d'analyse
- Indices
- Types de données (observation in-situ, modèles régionaux du climat, ...)



# Objectif de l'étude

5

Détecter le signal des tendances des températures et des précipitations au Bénin sur la période de 1955 à 2016.

## Approche:

Analyse des indices de caractérisation de températures et de précipitations suggérés par l'ETCCDI

Expert Team on Climate Change Detection and Indices (Zhang et Wang, (2004))

- Stations synoptiques
- Stations pluviométriques



Système de projection  
WGS 84, UTM 31 N

## Données (agence météo-Bénin) :

- ❖ Températures maximales et minimales journalières (06 stations synoptiques : Cotonou, Bohicon, Savè, Parakou, Natitingou et Kandi)
- ❖ Précipitations journalières (45 stations pluviométriques)

Période d'étude : 1955-2016



# Outil d'analyse de cette étude : programme RClimDex

7

**RClimDex** (exécutable sous le logiciel R)

Programme contenant des **indices d'extrêmes** de températures et de précipitations

**Tâches exécutées par RClimDex :**

**Calcul de :**

- 11 indices d'extrêmes de précipitations
- 13 indices d'extrêmes de températures

**Analyse des tendances** des indices par la méthode de test non-paramétrique de **Mann-Kendall**.

# Treize indices d'extrêmes de températures du RClimDex

N°	ID	Appellation	Unité	Définition
1	SU25	Nombre annuel de jours chauds	Jours	Nombre annuel de jours où la température TX > 25°C
2	TR20	Nombre annuel de nuits chaudes	Jours	Nombre annuel de nuits où la température TN > 20°C
3	TXx	Maximum des températures diurnes	°C	Maximum des températures TX, dans une période (mois, saison, année)
4	TNx	Maximum des températures nocturnes	°C	Maximum des températures TN, dans une période (mois, saison, année)
6	TXn	Minimum des températures diurnes	°C	Minimum des températures TX, dans une période (mois, saison, année)
6	TNn	Minimum des températures nocturnes	°C	Minimum des températures TN, dans une période (mois, saison, année)
7	TN10p	Occurrence de nuits fraîches	%	Pourcentage de jours dont les températures minimales TN sont inférieures au 10 <sup>e</sup> centile des TN
8	TX10p	Occurrence de jours frais	%	Pourcentage de jours dont les températures maximales TX sont inférieures au 10 <sup>e</sup> centile des TX
9	TN90p	Occurrence de nuits chaudes	%	Pourcentage de jours dont les températures minimales TN sont supérieures au 90 <sup>e</sup> centile des TN
10	TX90p	Occurrence de jours chauds	%	Pourcentage de jours dont les températures maximales TX sont supérieures au 90 <sup>e</sup> centile des TX
11	WSDI	Indicateur de durée des séquences chaudes	Jours	Nombre annuel de jours avec au moins 6 jours consécutifs où les températures diurnes sont supérieures au 90 <sup>e</sup> centile des TX
12	CSDI	Indicateur de durée des séquences fraîches	Jours	Nombre annuel de nuits avec au moins 6 nuits consécutives où les températures nocturnes sont inférieures au 10 <sup>e</sup> centile des TN
13	DTR	Amplitude thermique diurne	°C	Moyenne sur une période (mois, saison, année) de la différence entre TX et TN



# Onze indices d'extrêmes de précipitations du RClimDex

N°	ID	Appellation	Unité	Définition
1	RX1day	Cumul maximum de précipitations journalières	mm	Maximum du cumul journalier de précipitations sur une période (mois, saison, année)
2	RX5day	Cumul maximum de précipitations de 5 jours	mm	Maximum du cumul 5 jours de précipitations sur une période (mois, saison, année)
3	SDII	Intensité journalière de précipitation	mm/jour	Total des cumuls des jours pluvieux sur le nombre de jours pluvieux.
4	R10mm	Nombre de jours de précipitations d'au moins 10mm	Jours	Nombre de jours pluvieux ayant un cumul supérieur ou égal 10mm
5	R20mm	Nombre de jours de précipitations d'au moins 20mm	Jours	Nombre de jours pluvieux ayant un cumul supérieur ou égal 20mm
6	R25mm	Nombre de jours de précipitations d'au moins 25mm	Jours	Nombre de jours pluvieux ayant un cumul supérieur ou égal 25mm
7	CDD	<b>Nombre de jours secs consécutifs</b>	<b>Jours</b>	<b>Nombre maximum de jours consécutifs ayant un cumul inférieur à 1mm</b>
8	CWD	<b>Nombre de jours pluvieux consécutifs</b>	<b>Jours</b>	<b>Nombre maximum de jours consécutifs ayant un cumul supérieur ou égal à 1mm</b>
9	R95p	Occurrence de jours très pluvieux	mm	Précipitation totale annuelle avec précipitation supérieure au 95 <sup>e</sup> centile
10	R99p	Occurrence de jours extrêmement pluvieux	mm	Précipitation totale annuelle avec précipitation supérieure au 99 <sup>e</sup> centile
11	PRCPTOT	Cumul annuel	mm	Total de cumul de l'année, considérant uniquement les jours dont les cumuls sont supérieurs ou égal à 1mm

# Indicateurs clés du réchauffement

10

N°	ID	Définition	Unité
1	SU25	Nombre annuel de jours où la température est supérieure à 25°C	Jours
2	TR20	Nombre annuel de nuits où la température est supérieure à 20°C	Jours
3	TXx	Maximum des températures diurnes	°C
4	TNn	Minimum des températures nocturnes	°C



## Coefficients de Mann-Kendall obtenus à l'issue de l'analyse du RClimDex

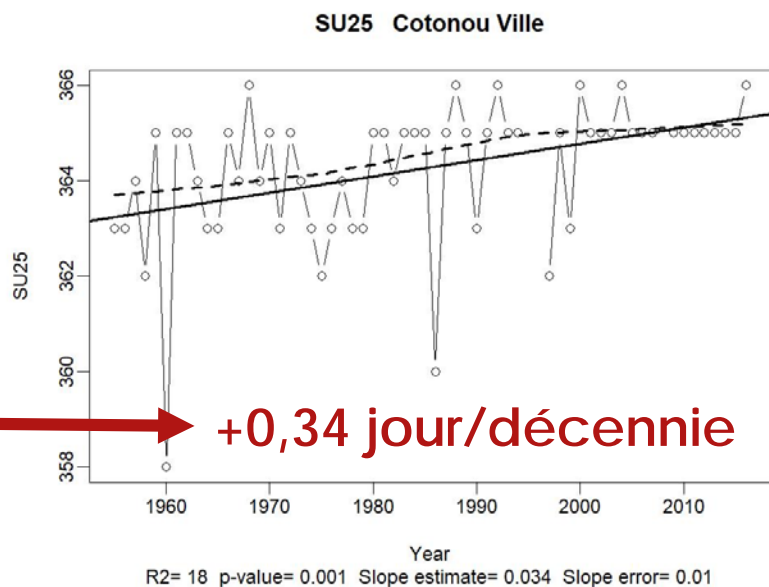
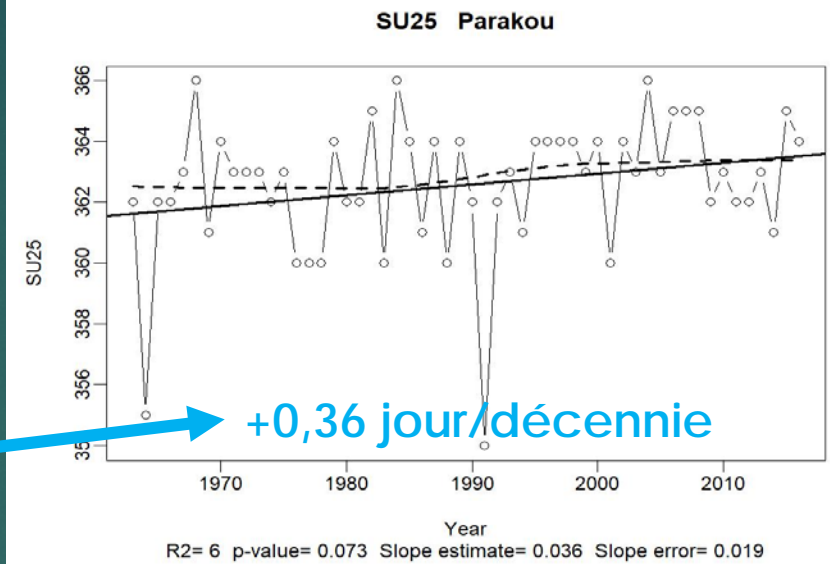
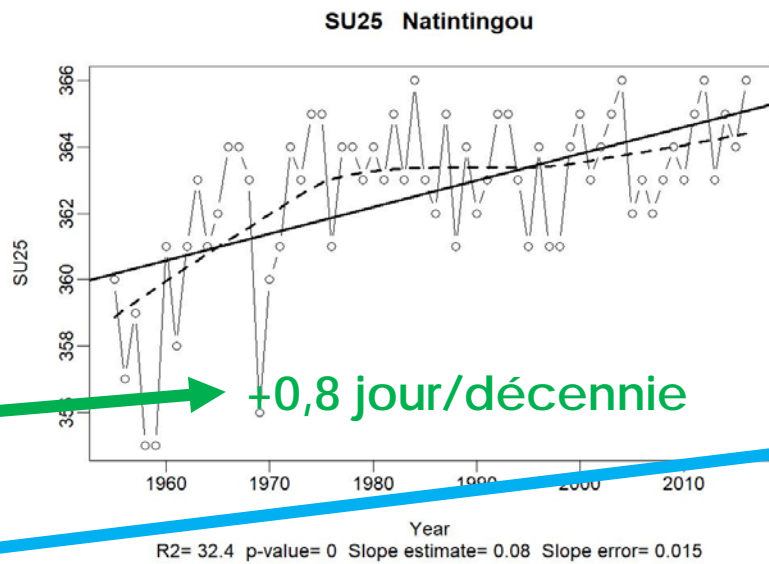
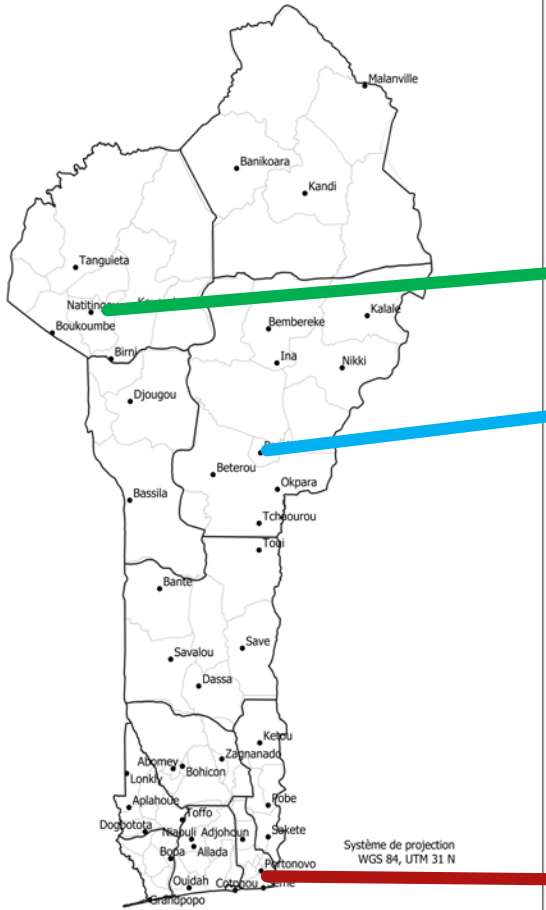
Indices	Kandi	Natitingou	Parakou	Savè	Bohicon	Cotonou
SU25	0.044 <sup>***</sup>	0.080 <sup>***</sup>	0.036 <sup>*</sup>	0.049 <sup>***</sup>	0.044 <sup>***</sup>	0.036 <sup>***</sup>
TR20	0.779 <sup>***</sup>	0.994 <sup>***</sup>	2.072 <sup>***</sup>	0.590 <sup>**</sup>	0.381 <sup>***</sup>	0.023
TXx	0.031 <sup>***</sup>	0.046 <sup>***</sup>	0.033 <sup>***</sup>	0.031 <sup>***</sup>	0.016 <sup>***</sup>	0.026 <sup>***</sup>
TNn	0.044 <sup>***</sup>	-0.027 <sup>***</sup>	0.044 <sup>***</sup>	0.025 <sup>***</sup>	0.058 <sup>***</sup>	0.020 <sup>**</sup>

## Appréciation du niveau de significativité des coefficients de Mann-Kendall

Identifiant	Intervalle de la p-value	Appréciation
***	$p \leq 0.01$	Très forte présomption contre l'hypothèse nulle
**	$0.01 < p \leq 0.05$	Forte présomption contre l'hypothèse nulle
*	$0.05 < p \leq 0.1$	Faible présomption contre l'hypothèse nulle
	$p > 0.1$	Pas de présomption contre l'hypothèse nulle

# Tendances des indices de températures

## SU25 : Le nombre annuel de jours dont la température diurne supérieure à 25°C

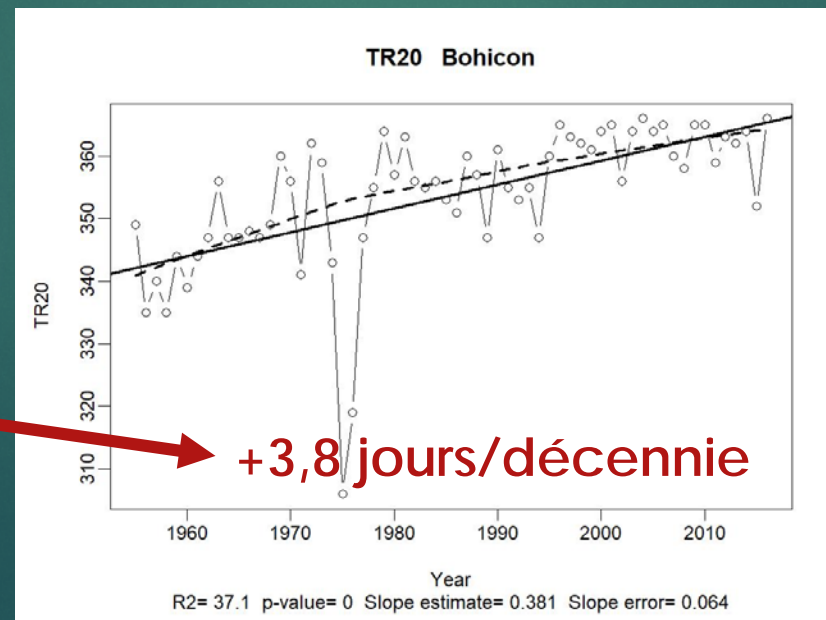
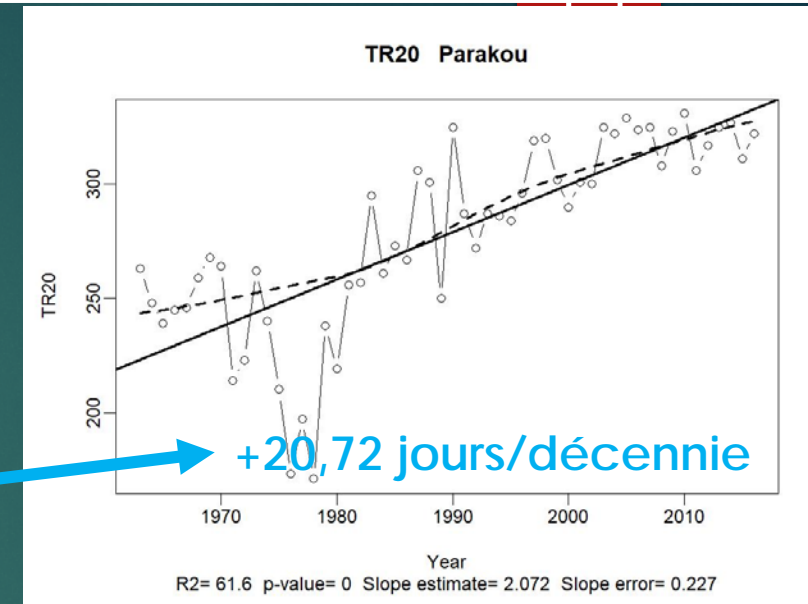
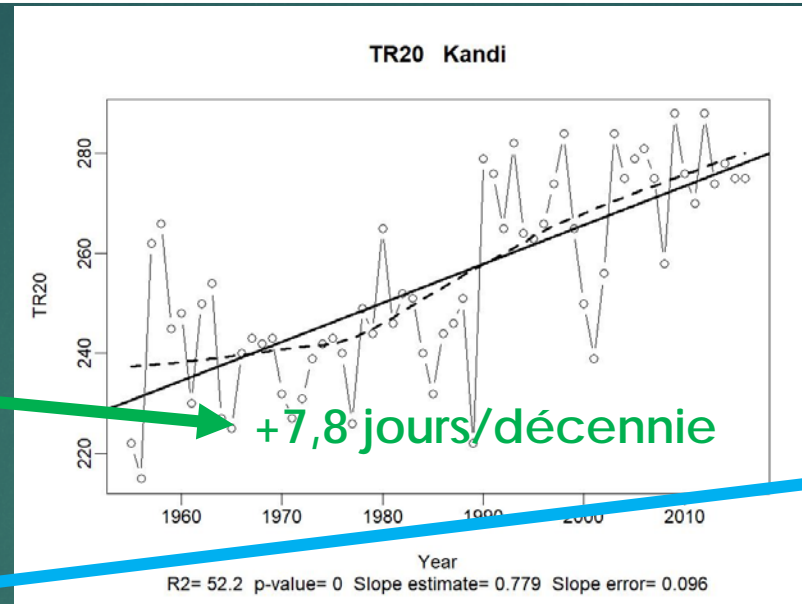
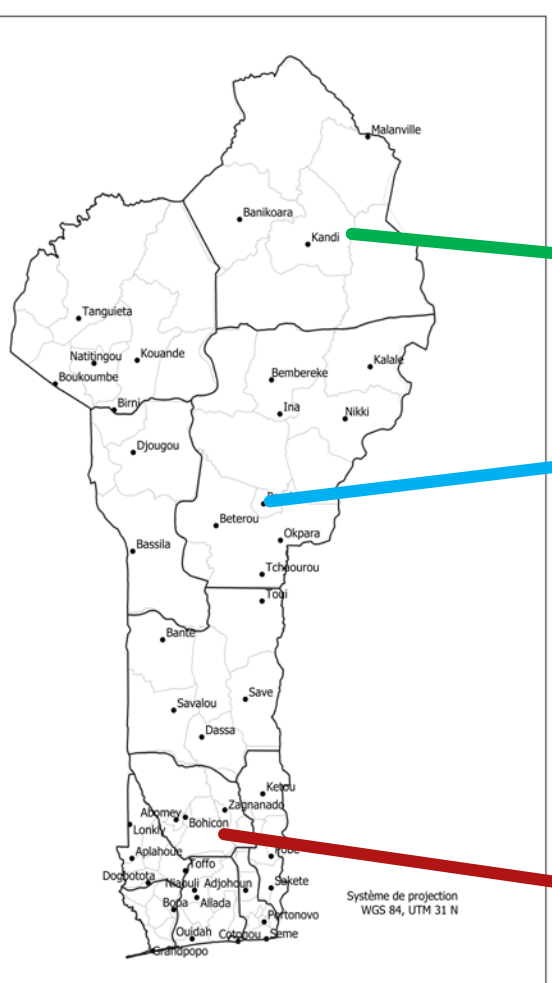


Le nombre de jours où la température est supérieure à 25 °C augmente sur l'ensemble des six stations synoptiques.



# Tendances des températures

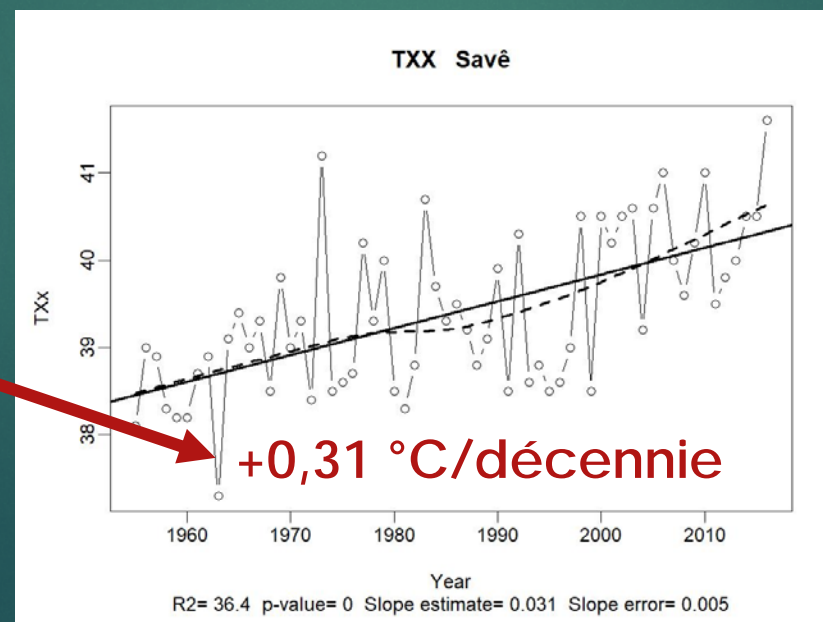
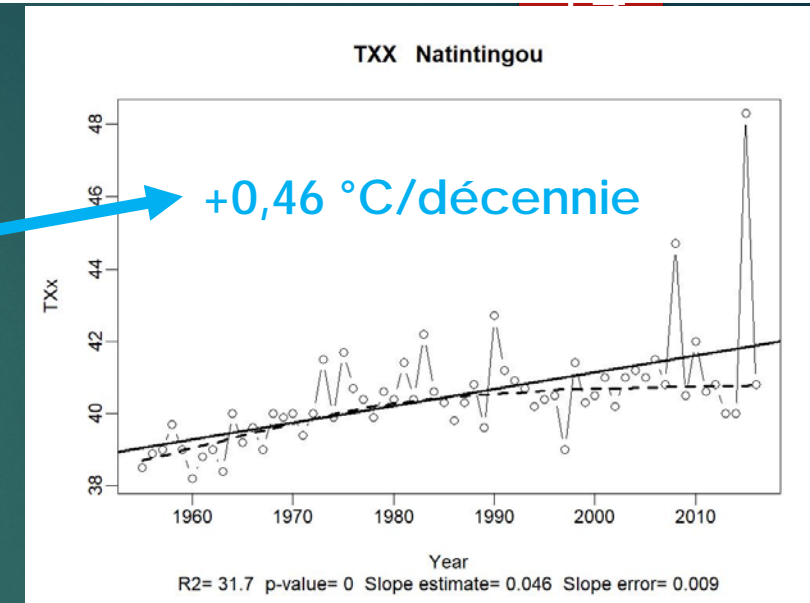
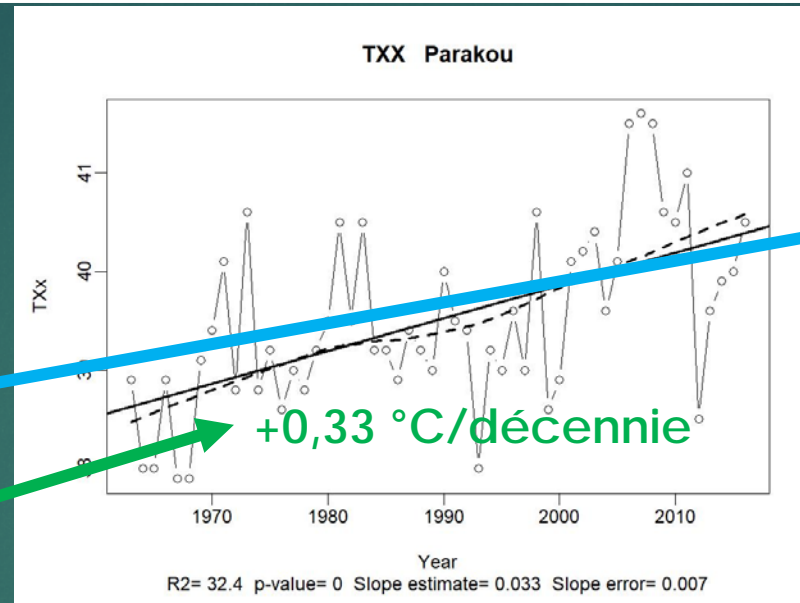
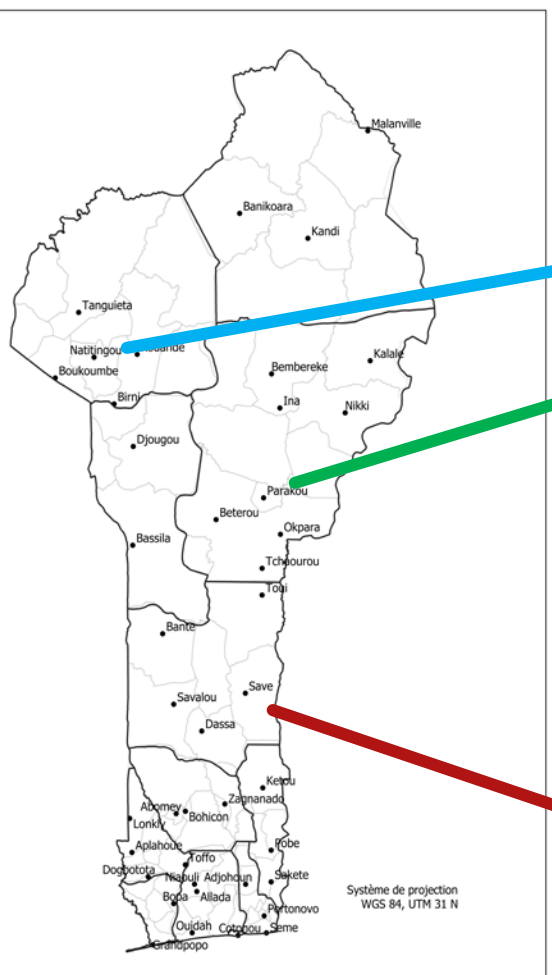
TR20 : Le nombre annuel de nuits avec une température supérieure à 20°C



Le nombre de nuits au cours desquelles la température est supérieure à 20 °C augmente sur l'ensemble des six stations synoptiques.

# Tendances des températures

## TXx : Maximum des températures diurnes

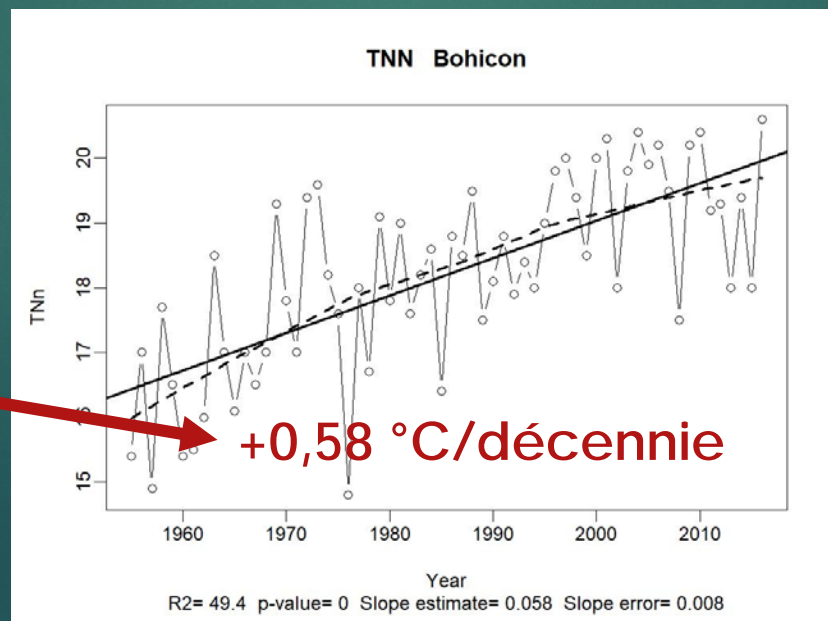
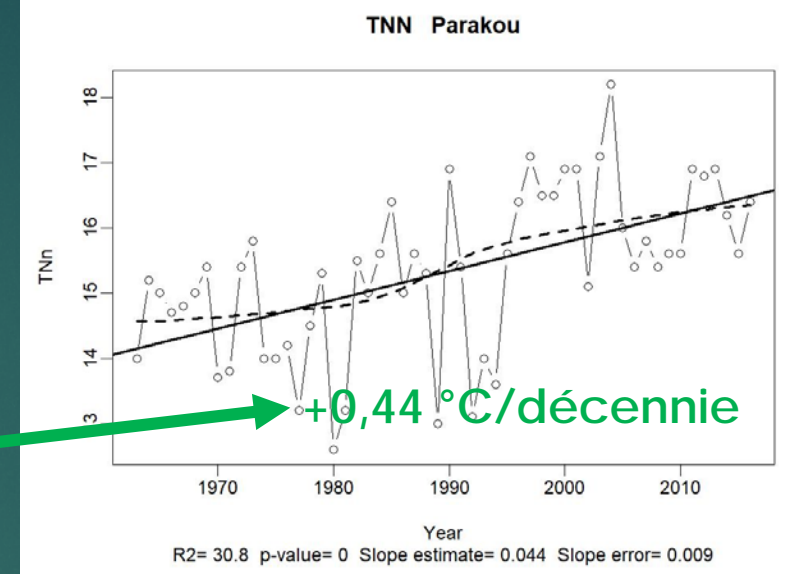
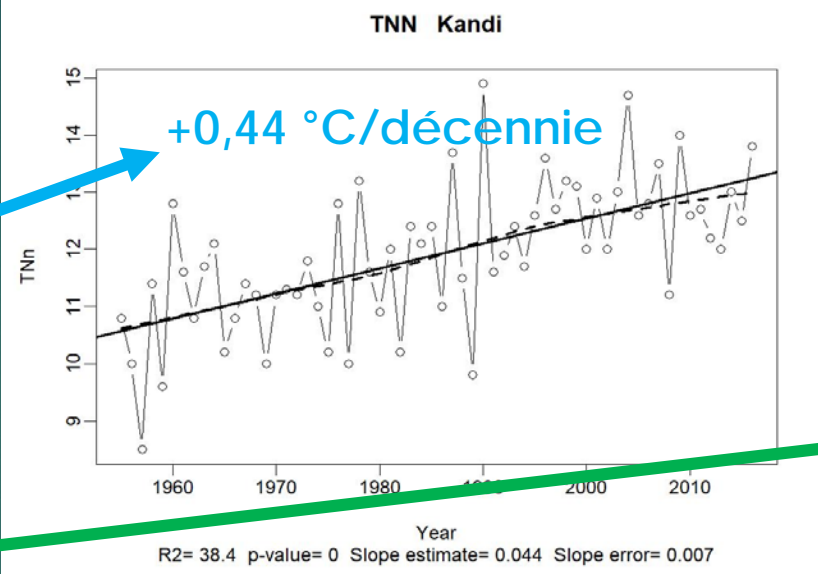
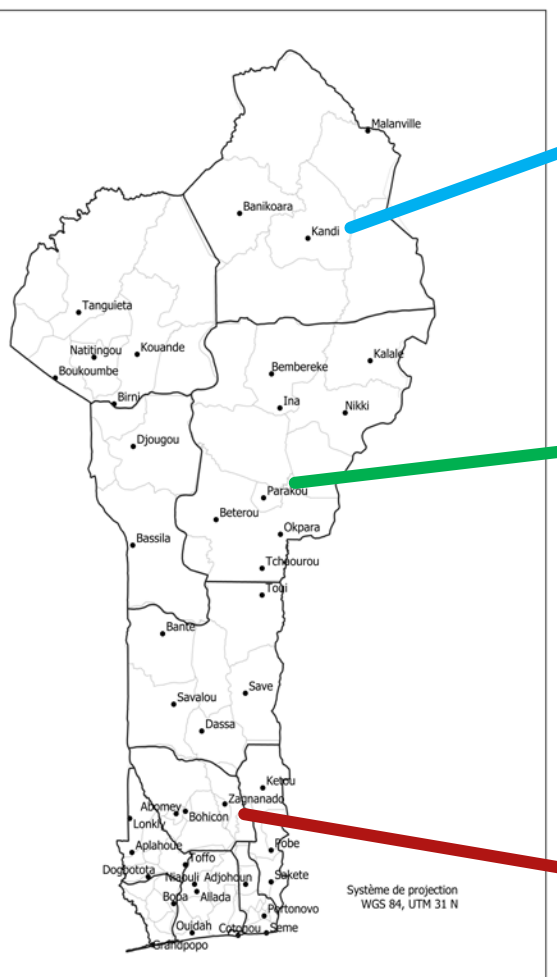


La vitesse d'augmentation du maximum des températures diurnes est supérieure à  $0,13 \pm 0,03$  °C (vitesse d'augmentation de la température à l'échelle du globe renseignée par le Giec (2007))



# Tendances des températures

## TNn : Minimum des températures nocturnes



Le minimum des températures nocturnes montre que durant les nuits, la température est de plus en plus élevée sur l'ensemble des stations.

# Synthèse sur les tendances des températures

16

Le Bénin connaît un réchauffement accéléré de jour comme de nuit sur ces six dernières décennies !

- ▶ Les tendances globales des 13 indices témoignent d'un réchauffement effectif sur l'ensemble des six stations synoptiques ;
- ▶ Confirmation des résultats fournis par les auteurs précédents.

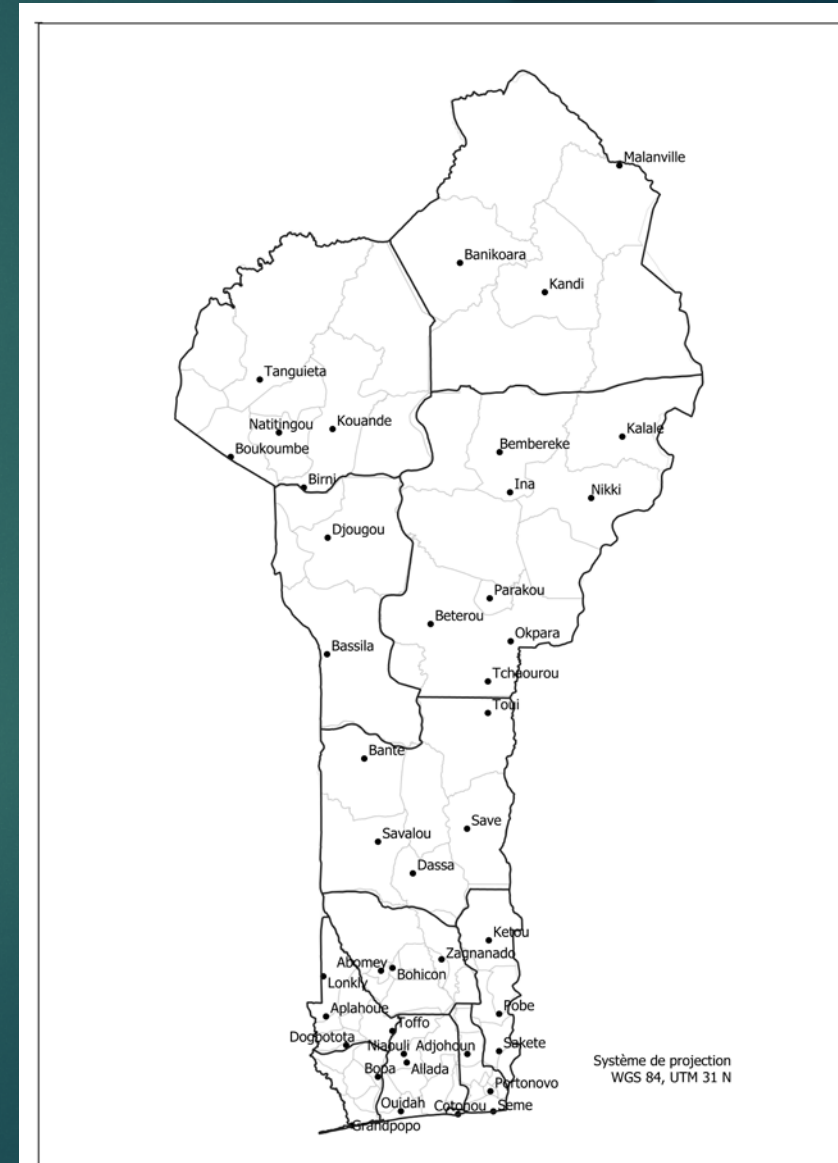


# Tendances des indices des extrêmes de précipitations par station

17

## Pré-analyse station par station:

- Divergence des tendances d'une station à une autre, même pour des stations très proches.
- Analyse par zone

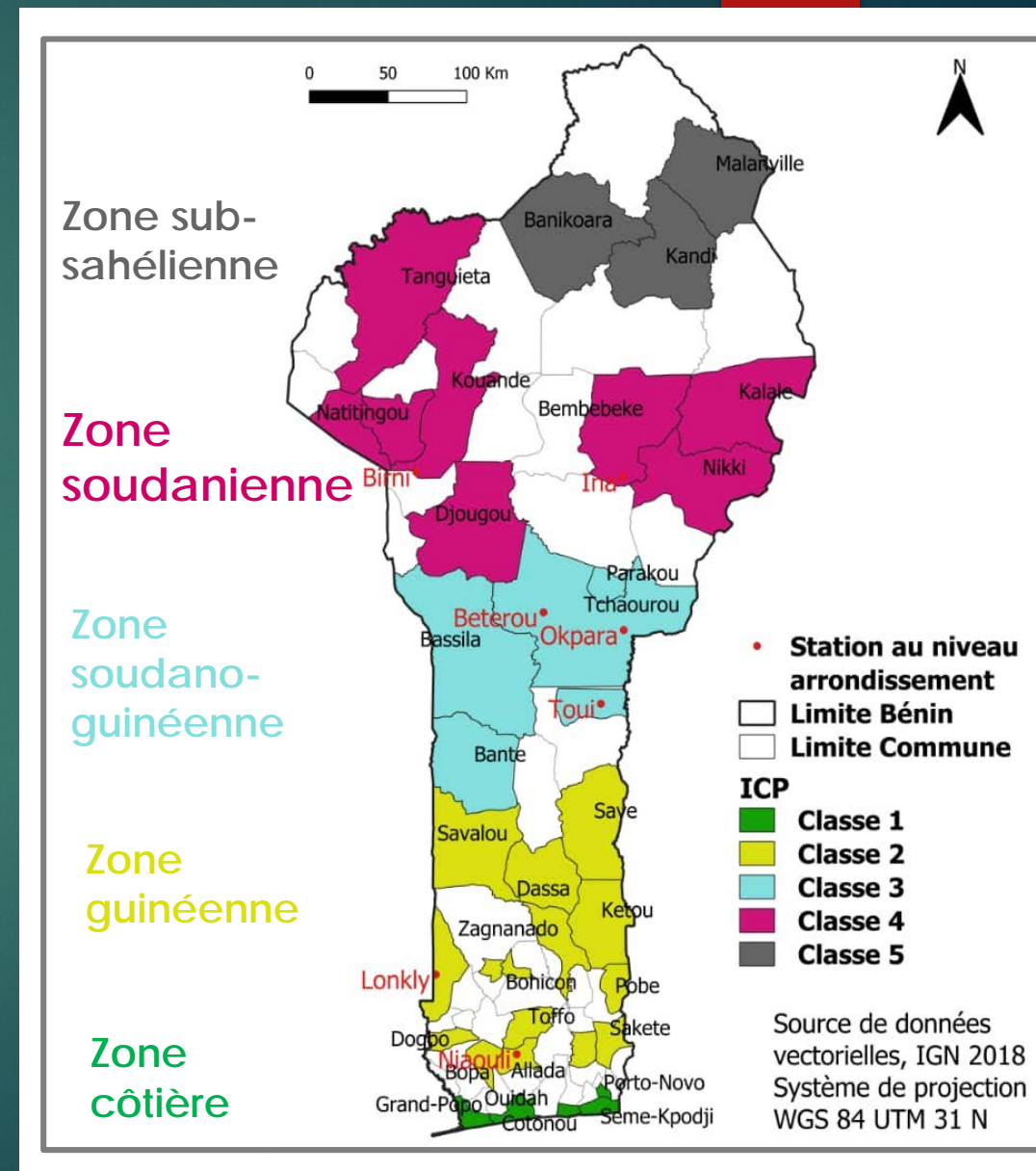


# Découpage du Bénin en 05 Zones climatiques à partir de l'indice de concentration des précipitations (ICP), (Oliver, (1980))

ACP et CAH des données annuelles de l'ICP

Valeurs annuelles de l'ICP	1955	...	2016
Abomey			
...			
Zagnanado			

Classe = Zone climatique





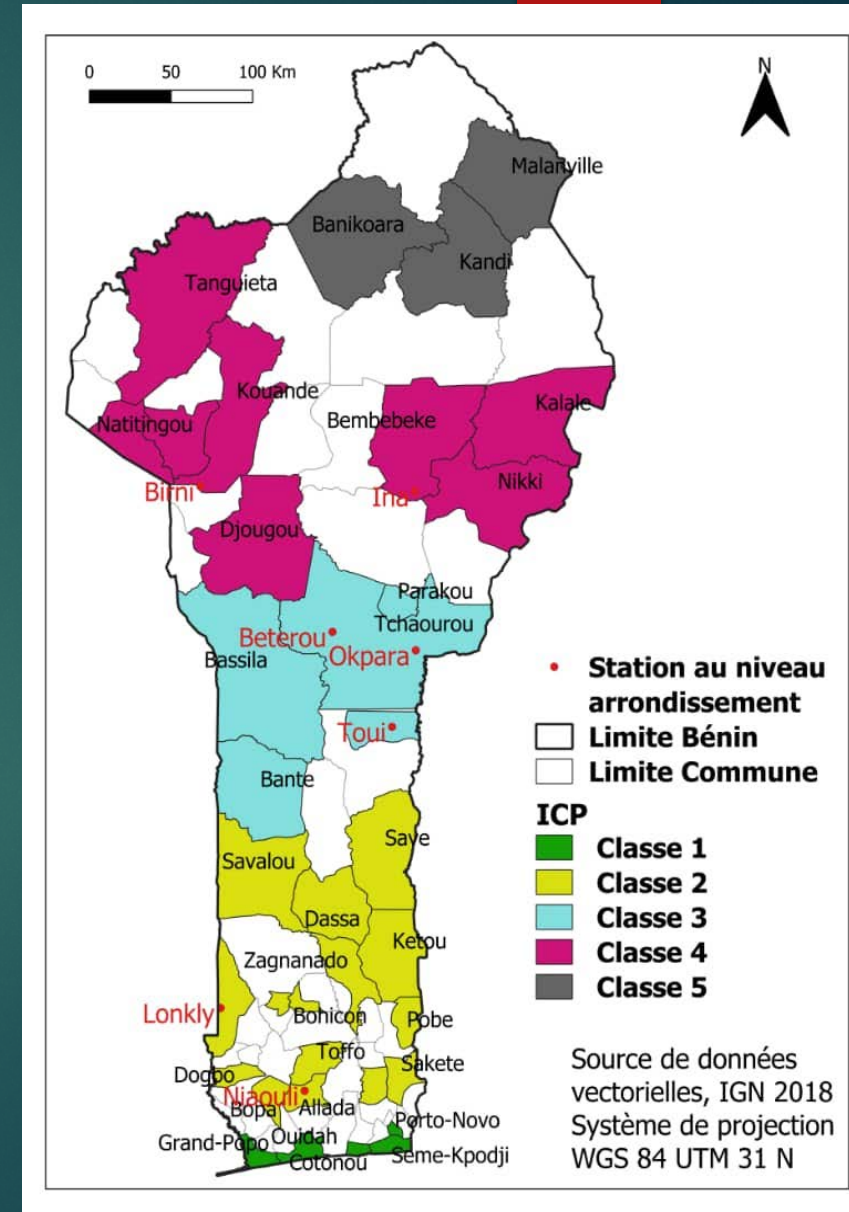
# Tendances des pluies sur la période 1955-2016

Les moyennes de pluies journalières ont été calculées par zone et ont fait l'objet de l'analyse de tendance du RClimDex

Pour chaque zone, on dispose d'un jeu de données comme suit :

Jours	1955	...	...	2016
1				
...				
...				
...				
366				

11 Indices d'extrêmes de précipitations ont été analysés à partir des pluies moyennes par zone



# Indicateurs clés de la récurrence des périodes sèches

N°	ID	Unité	Définition
1	CDD	Jours	Nombre maximum de jours secs consécutifs
2	CWD	Jours	Nombre maximum de jours pluvieux consécutifs
3	R99p	%	Précipitation totale annuelle avec précipitation supérieure au 99 <sup>e</sup> centile
4	PRCPTOT	mm	Cumul annuel



# Tendances des précipitations : résumé des coefficients des indices par zone climatique

21

Coefficients de Mann-Kendall obtenus à l'issue de l'analyse du RClimDex

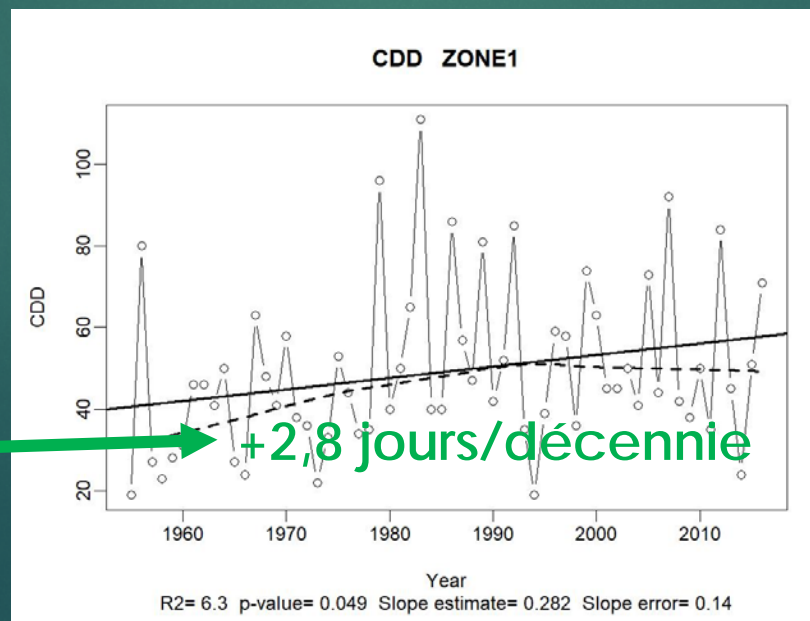
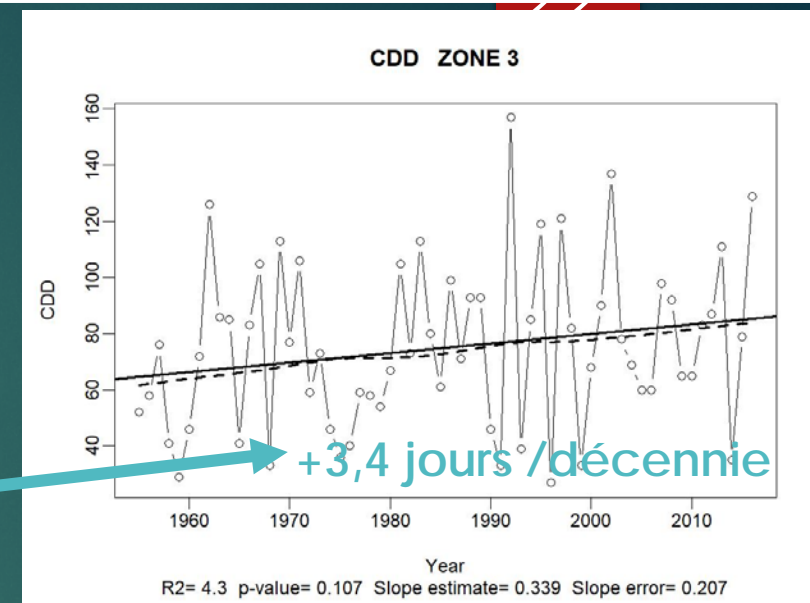
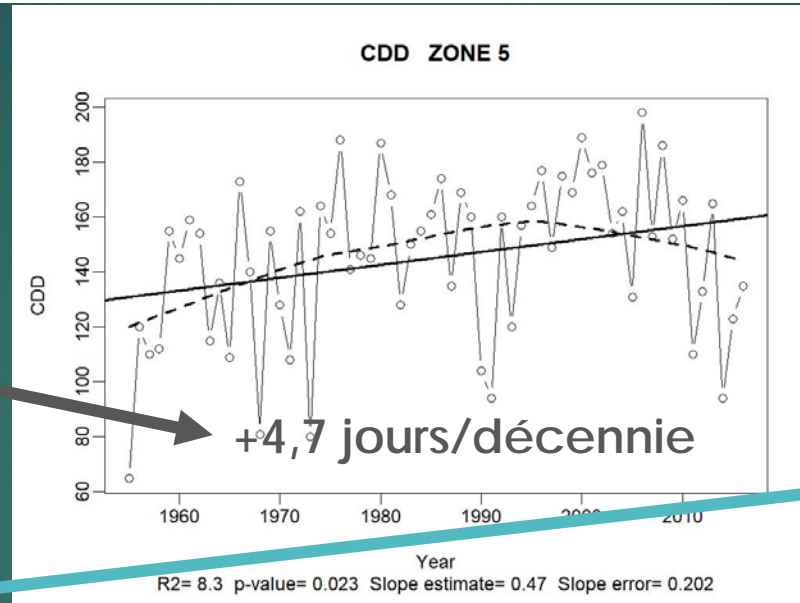
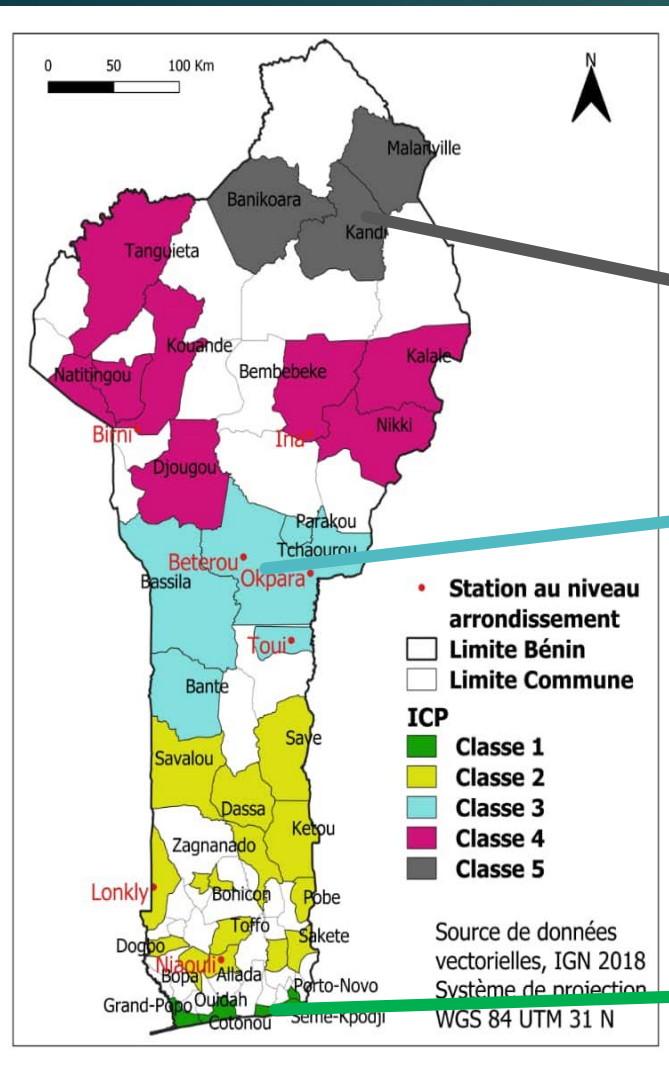
Indices	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
CDD	0,282**	0,181	0,339	0,443**	0,47**
CWD	-0,02	-0,026	-0,099**	-0,001	-0,052**
R99p	-1,39**	-0,203	-0,18	-0,445	1,122**
PRCPTOT	-3,81*	-0,877	-1,293	-1,572	-0,481

Significativité des coefficients

Identifiant	Intervalle de la p-value	Appréciation
***	$p \leq 0.01$	Très forte présomption contre l'hypothèse nulle
**	$0.01 < p \leq 0.05$	Forte présomption contre l'hypothèse nulle
*	$0.05 < p \leq 0.1$	Faible présomption contre l'hypothèse nulle
	$p > 0.1$	Pas de présomption contre l'hypothèse nulle

# Tendances des extrêmes de précipitations

## CDD : nombre annuel de jours secs consécutifs

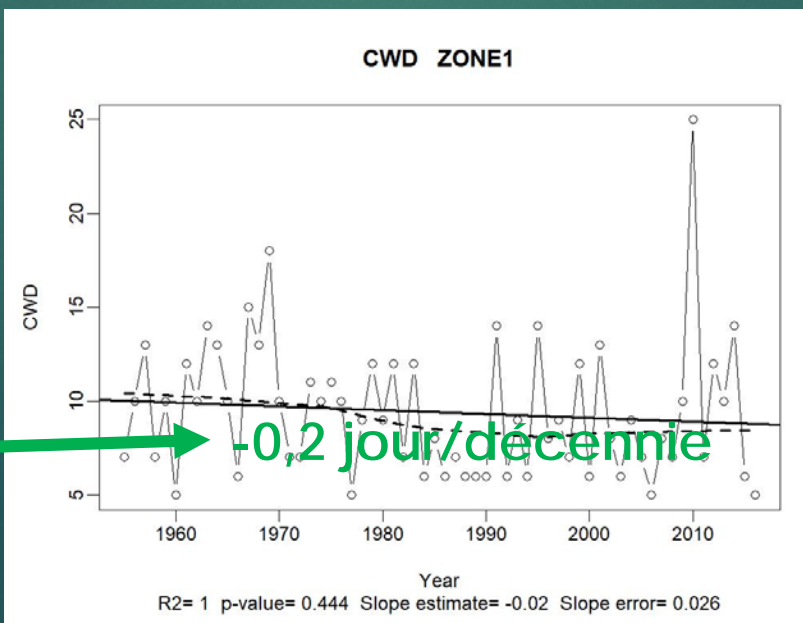
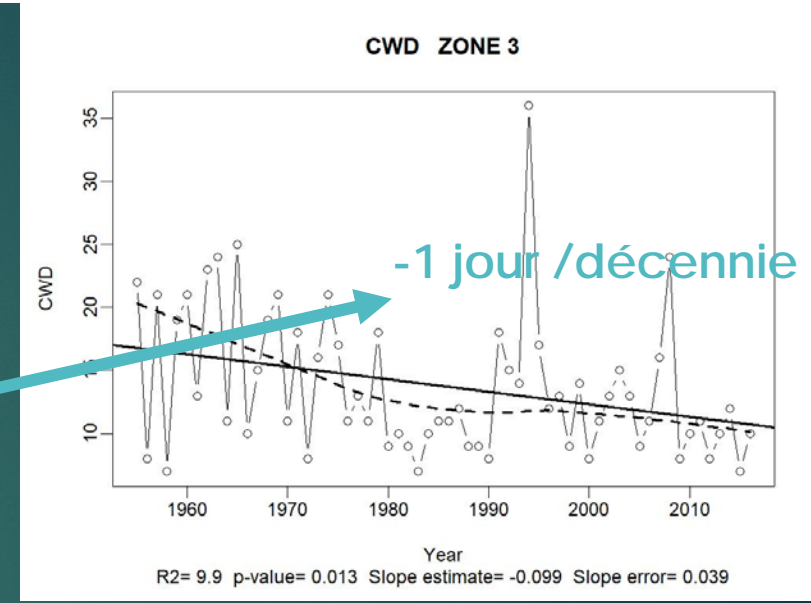
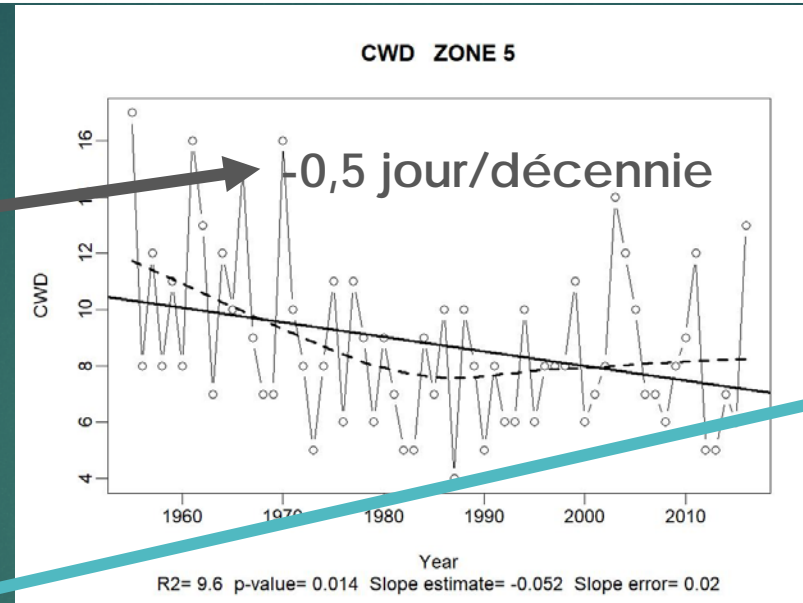
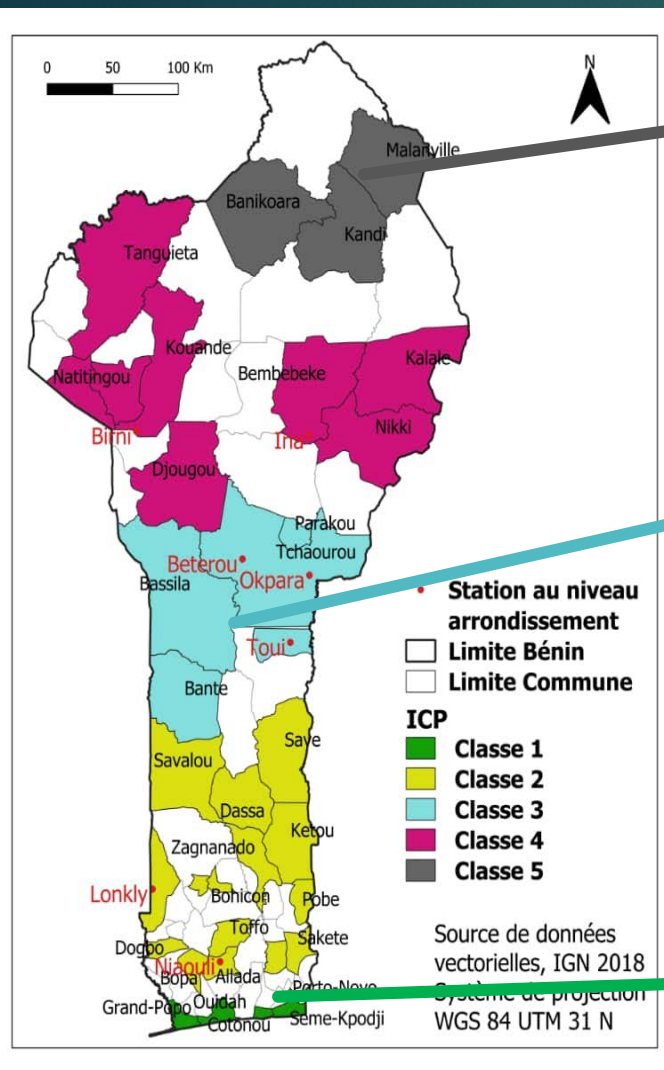


Le nombre annuel de jours secs consécutifs augmente dans toutes les 05 zones. Au fur et à mesure qu'on monte en latitude cet indice augmente.



# Tendances des extrêmes de précipitations

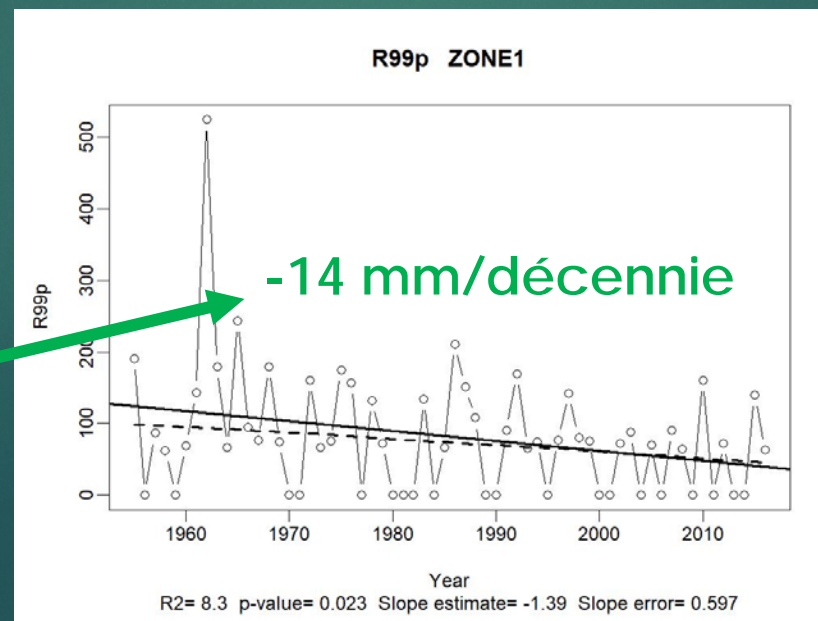
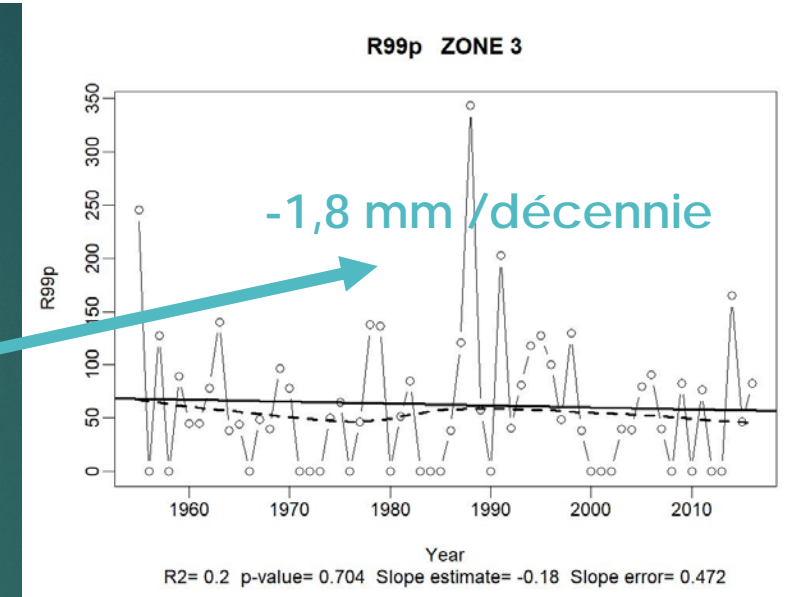
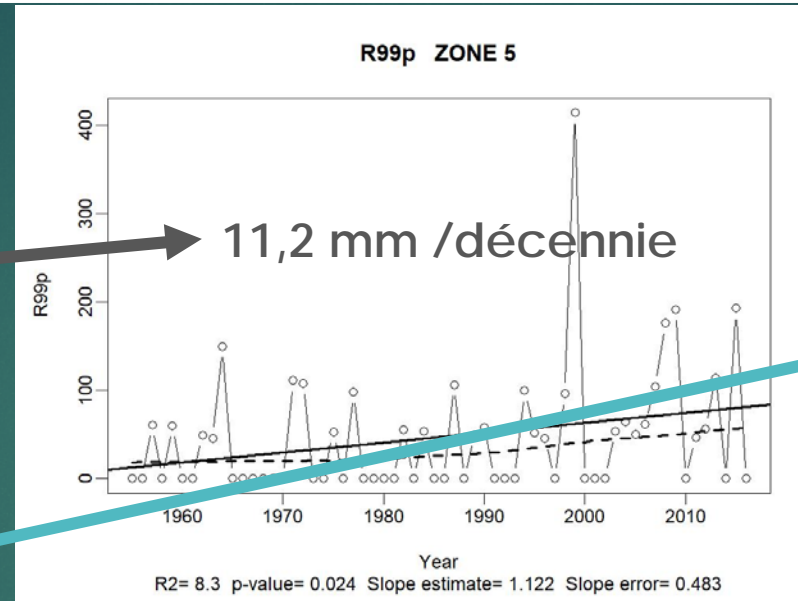
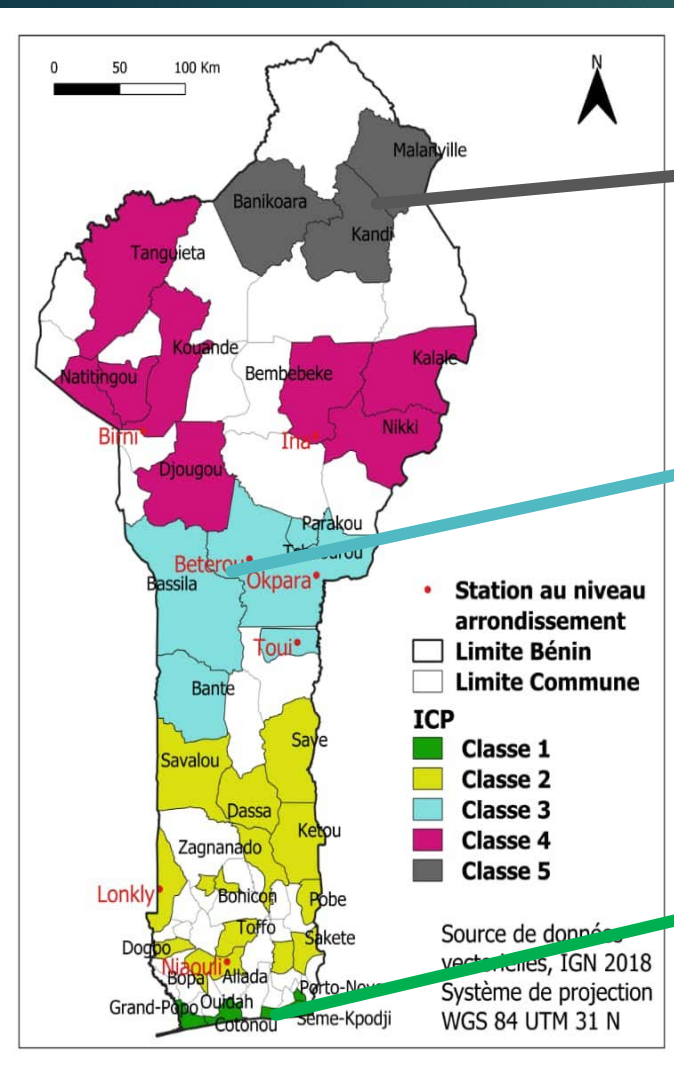
## CWD : nombre annuel de jours pluvieux consécutifs



Le nombre annuel de jours pluvieux consécutifs est en pleine diminution dans toutes les zones climatiques.

# Tendances des extrêmes de précipitations

## R99p : occurrence des jours extrêmement pluvieux

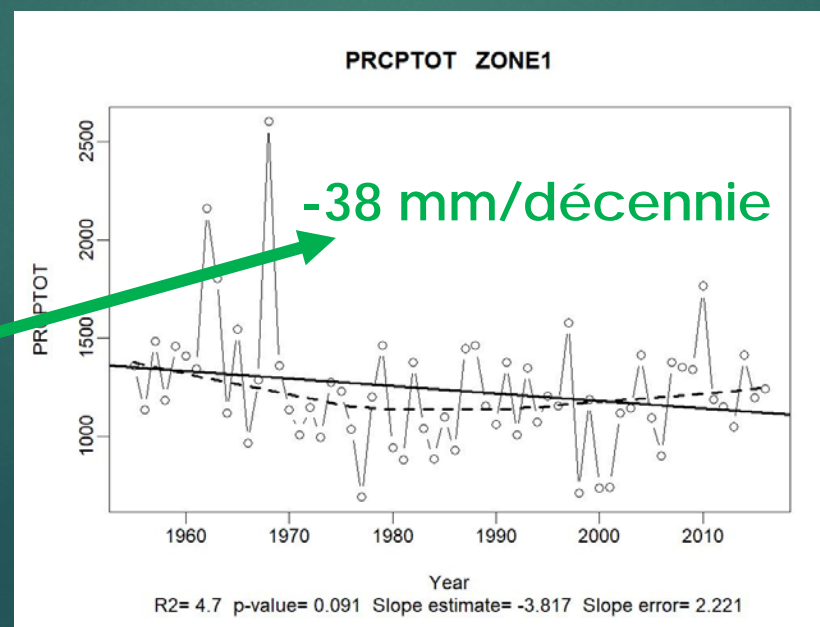
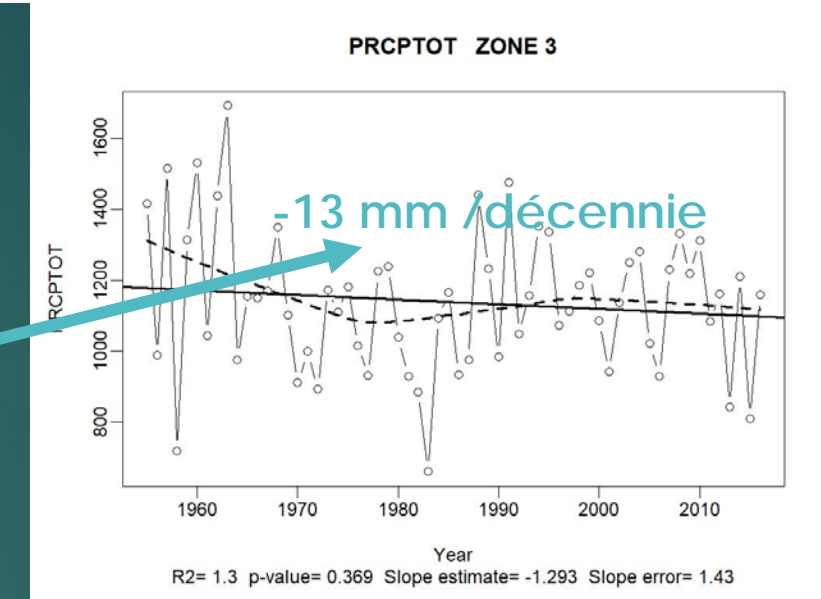
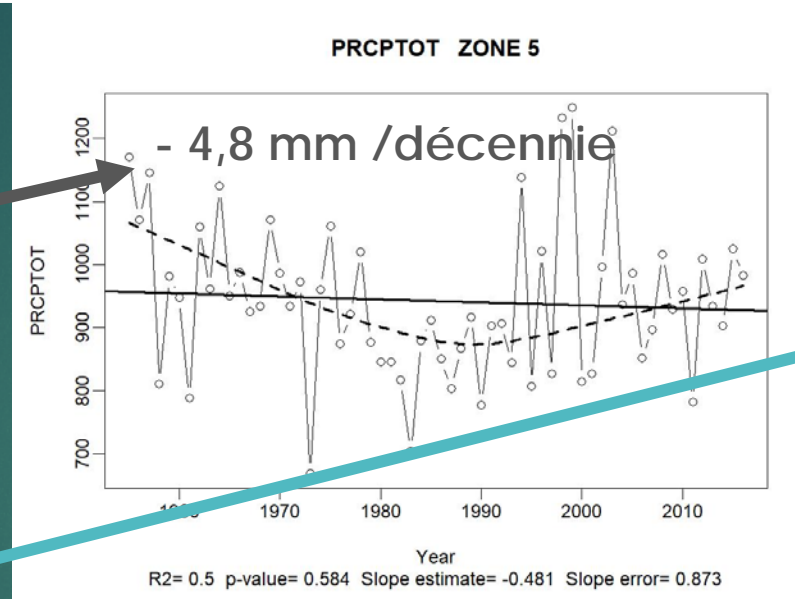
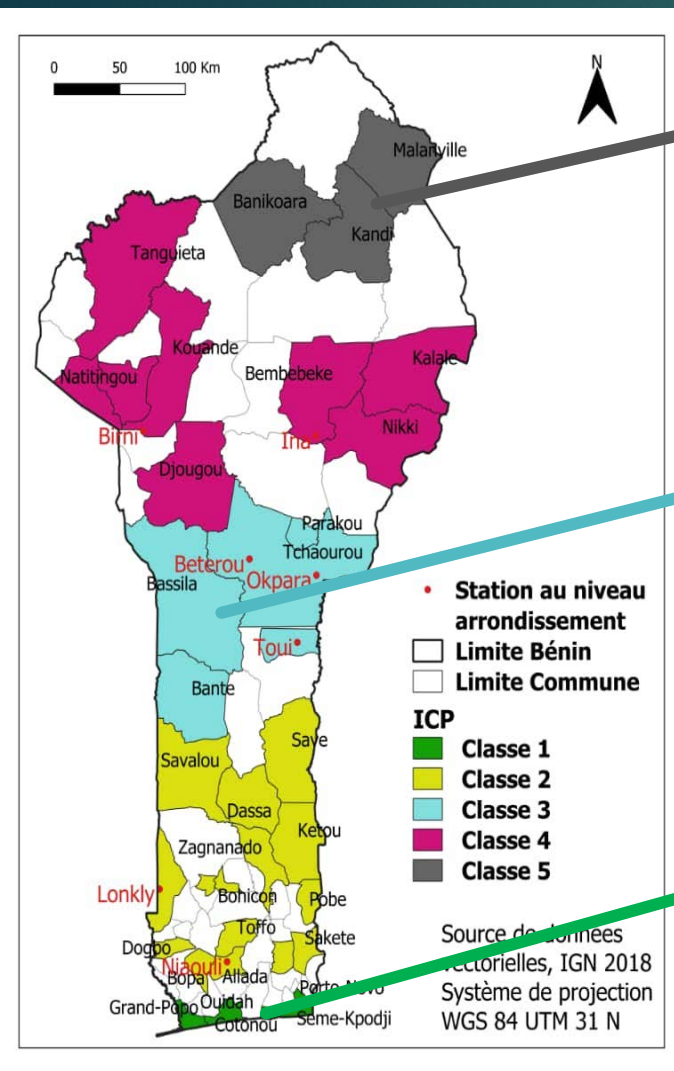


Les jours extrêmement pluvieux diminuent sur l'ensemble des zones à l'exception de la zone 5 (sub-sahélienne) où on remarque une augmentation des événements fortement pluvieux.



# Tendances des extrêmes de précipitations

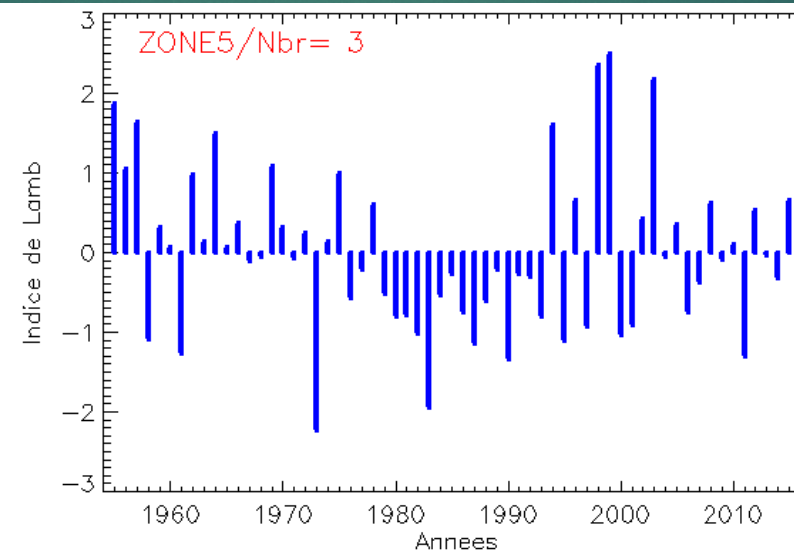
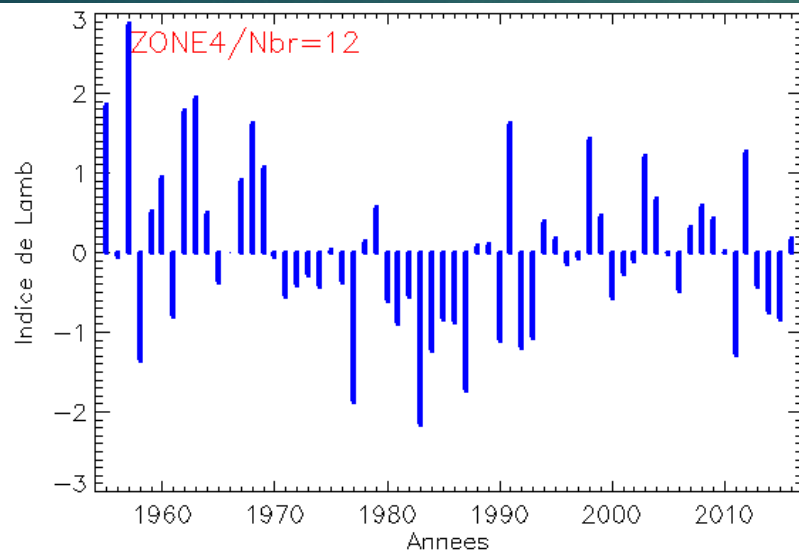
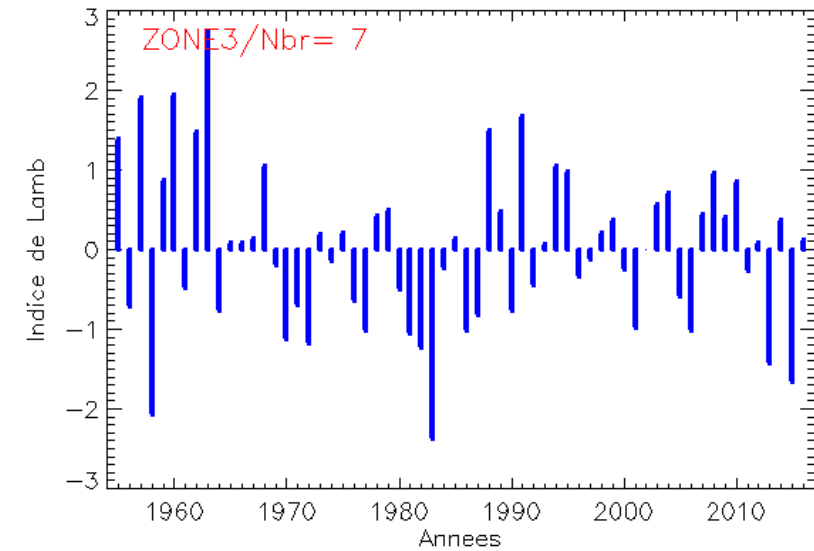
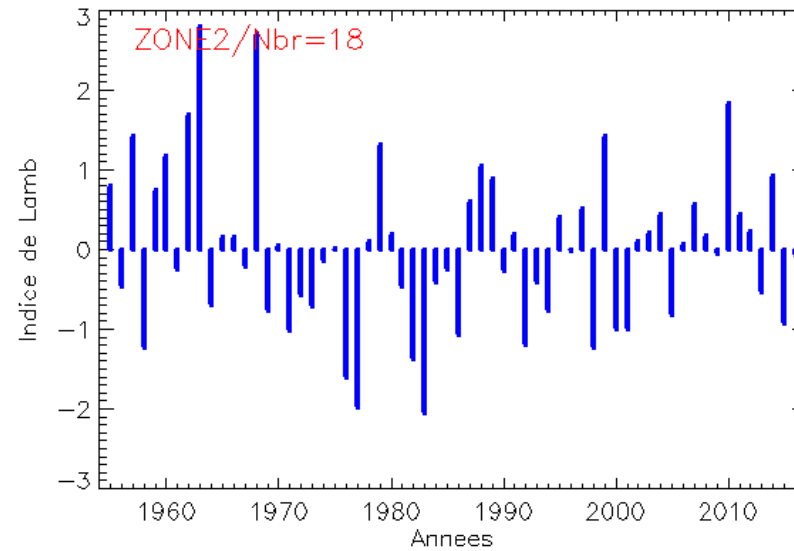
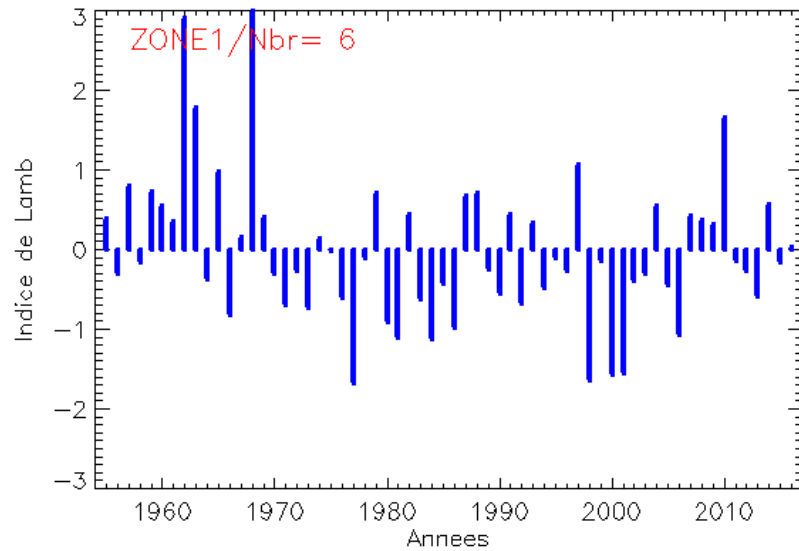
## PRCPTOT : Cumul annuel de précipitations



Diminution généralisée des précipitations annuelles sur l'ensemble des 05 zones.

# Analyse de la variabilité interannuelle des régimes pluviométriques : calcul de l'indice pluviométrique de Lamb pour chaque zone climatique

26



La variabilité interannuelle observée sur la **zone 5** est semblable à celle observée sur la **zone sahélienne** lors d'études récentes.



## Analyse des tendances des indices par zone en utilisant les moyennes de pluies journalières sur la période 1955-1985

27

Indice	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
CDD	0,815**	0,909***	0,401	1,734***	1,465**
CWD	-0,038	-0,15	-0,266**	-0,363**	-0,184***
R99p	-3,088	-2,277**	-1,88	1,871**	0,414
PPCPTOT	-16,62**	-11,011**	-10,724**	-11,358***	-6,624***

## Analyse des tendances des indices par zone en utilisant les moyennes de pluies journalières sur la période 1986-2016

Indice	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
CDD	0,008	-0,417	0,51	-0,498	0,033
CWD	0,098	0,126	-0,117	0,22	0,033
R99p	-128	-1,729*	-2,58*	-1,092	2,329*
PPCDTOT	2,934	1,657	-2,867	1,971	2,792

- ❖ Sur la période 1955-1985, les coefficients globalement significatifs montrent une diminution des événements pluvieux.
- ❖ De 1986 à 2016, on n'observe presque pas de tendances significatives.

- ▶ Sur les précipitations:
  - ▶ L'absence de tendances détectée est-elle liée à la méthodologie?
    - ▶ Autre approche régionale issue de la théorie des valeurs extrêmes régionales (Panthou et al. 2014)
    - ▶ Analyse saisonnière:
      - ▶ Dissociation période sèches et période de mousson
      - ▶ Dissociation des deux saisons sur zones guinéennes et soudano-guinéennes



- ▶ Extension à l'analyse des tendances sur d'autres variables:
  - ▶ Cycle de l'eau:
    - ▶ Evapotranspiration
    - ▶ Débits
    - ▶ Eau souterraine
  - ▶ Variables atmosphériques comme éléments de compréhension supplémentaires
    - ▶ Humidité de l'air,
    - ▶ rayonnement,
    - ▶ Nébulosité
    - ▶ vitesse du vent

**MERCI DE VOTRE ATTENTION**