



Programme d'Appui  
au Programme National d'Investissement  
de l'Agriculture du Sénégal

## CLIMAT CASAMANCE

### Caractérisation des risques climatiques pour la riziculture de vallée en Moyenne-Haute Casamance



Rapport n 11

Avril

2015

Maurizio Bacci

Cette étude a été réalisée dans le cadre du Programme d'Appui au Programme National d'Investissement en Agriculture du Sénégal (PAPSEN).

L'étude a été cofinancée par la Direction Générale pour la Coopération au Développement du Ministère des Affaires Etrangères et le Conseil National des Recherches d'Italie à travers le projet PAPSEN-CNR.



Consiglio Nazionale  
delle Ricerche

## Sommaire

---

Préambule .....	4
Introduction.....	4
Le jeu de données CHIRPS .....	7
Juin-juillet – L’installation du riz .....	8
Analyse des conditions de sécheresse .....	10
Probabilité de sécheresse pour les mois de Juin et Juillet .....	12
Juillet – La phase de l’émergence du riz.....	17
Probabilité de pluies intenses pour le mois de juillet .....	19
Septembre – Risque de submersion du riz de bas-fond.....	23
Pluies intenses dans le mois de septembre.....	23
Probabilité de pluies intenses pour le mois de septembre .....	26
Octobre – La phase sensible de la floraison .....	29
Evaluation des conditions de sécheresse pour le mois d’octobre .....	32
Les pluies intenses dans le mois d’octobre .....	35
Saison agricole.....	36
Début de la saison agricole.....	36
Fin de la saison agricole.....	38
Longueur de la saison agricole .....	39
Conclusion et perspectives.....	41
Bibliographie.....	42

## Acronymes

---

**CHIRPS** – Climate Hazards group InfraRed Precipitation with Stations;

**CDO** – Climate Data Operators;

**NetCDF** – Network Common Data Format;

**PAPSEN** – Programme d'Appui ou Programme National d'Investissements de l'Agriculture du Sénégal;

**MAE/DGCS** – Coopération Italienne au Développement Ministère des Affaires Etrangères;

## Préambule

---

Le document propose l'analyse des conditions climatiques qui influencent la riziculture des vallées de la Région de Sédhiou pour identifier les mécanismes le plus appropriés pour la gestion intégrée et durable de la production du riz en Casamance.

Le document est centré sur les quatre aspects fondamentales qui déterminent les résultats de la production annuelle du riz notamment: (i) la disponibilité d'eau dans les phases d'installations et germination des plantes et (ii) dans la phase de floraison, (iii) le risque de submersion du riz des bas-fonds et enfin (iv) le début, la fin et la longueur de la saison des pluies.

Les limites existantes pour arriver à définir un encadrement climatique exhaustif de la région sont liées surtout à la disponibilité d'information des précipitations sur une longue série historique représentatives de l'entier domaine d'étude.

Actuellement la disponibilité des produits qui intègrent les informations de station avec celles de la télédétection permettent de surmonter cette difficulté. Donc on a choisit d'utiliser un jeu de données climatiques qui couvre le domaine de la Casamance, avec une résolution journalière, sur la période 1981-2014 tel que le CHIRPS.

Le présent document va s'insérer dans une série d'études climatiques conduites dans le contexte du programme PAPSÉN. En partant de l'analyse à l'échelle pays et régions (Bacci et al. 2014) pour passer d'une méso échelle d'analyse de détail concentré sur certains thèmes spécifiques, tels que ce rapport, pour arriver aux analyses de détail à niveau parcellaire pour les exigences spécifiques des études du Programme. Donc en intégrant une approche qui couvre tous les échelles macro et micro d'analyse.

Le document veut donc contribuer à une réflexion globale sur le thème du changement climatique et des implications sur la production rizicole dans une région fortement liée à la production agricole.

## Introduction

---

La région de la Moyenne et Haute Casamance est située dans le sud du Sénégal et elle est composée par les régions administratives de Sédhiou et de Kolda. La région de Kolda a été créée en 1984 pendant qu'une réforme administrative en date du 10 juillet 2008, divise Kolda en deux entités avec l'avènement du département de Sédhiou qui devient une région administrative à part entière. Dans la zone vivent 1115449 habitants au dernier recensement général de la population (RGPHAE, 2013).

Du point de vue géomorphologique la Casamance est plat à l'exception de quelques collines résiduelles notamment dans le département de Sédhiou. Dans ce contexte orographique les valles à côté du fleuve représentent un milieu naturel pour la culture du riz. Le principal contrainst à cette activité est la salinité du fleuve, donc l'absence, ou la mauvaise gestion, des ouvrages anti sel est le principal facteur limitant pour la complète exploitation des terres disponibles pour la riziculture de vallée.

La riziculture traditionnelle en moyenne et haute Casamance se place dans ces vallées et la production est destinée exclusivement à l'autoconsommation. L'activité reste à nos jours un domaine féminin dans lequel les labourassions du terrain et les autres pratiques agronomiques sont faites sans l'utilisation de la mécanisation. Cet aspect implique un temps de labeur nécessaire pour unité de superficie cultivé très

élevé. En plus, l'activité représente une intégration à la disponibilité alimentaire du ménage, donc le temps à dédier dans les champs est en compétition avec les autres activités que les femmes conduisent dans le ménage. Cela se traduit dans une implication part time dans les champs et une perte d'intérêt à la riziculture traditionnelle pour la présence d'autres activités plus rentables. Ces aspects déterminent un éloignement des temps de labour nécessaire pour la préparation des parcelles et une non optimale conduction, selon les bonnes pratiques agronomiques, de la culture du riz.

Les activités agricoles restent toujours vulnérables aux risques climatiques, entre autres on peut citer le retard d'installation de la saison des pluies, la distribution des pluies irréguliers et des phénomènes d'érosions avec des pertes de productions plus ou moins importantes selon la magnitude du phénomène et aux stratégies de mitigation mises en place par les agricultrices (Manzelli et al. 2013 et Manzelli et al. 2015).

Le climat de la région est de type soudano guinéen recevant des précipitations qui s'étalent de juin en octobre avec une intensité maximale en août et septembre, et une saison sèche qui couvre la période de novembre à mai. Les précipitations moyennes varient de 700 à 1300 mm. Les températures moyennes mensuelles les plus basses sont enregistrées entre décembre et janvier et varient entre 25 à 30°C, les plus élevées sont notées entre mars et septembre avec des variations de 30 à 40°C.

Pour la Moyenne et Haute Casamance les résultats des analyses climatiques du Sénégal montrent qu'il y a une tendance dans les dernières années à une augmentation de la température, à une augmentation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et une augmentation des précipitations. Dans la région on enregistre aussi une augmentation significative de jours de pluie, par conséquent une diminution de jours secs, et une augmentation du nombre des épisodes de pluie intense.

Dans la région on assiste aussi à un changement de la répartition des phénomènes intenses dans la saison des pluies, passant d'une concentration des épisodes les plus intenses dans la première moitié de la saison vers une distribution qui semble affecter principalement le mois d'Août.

Enfin, on enregistre une tendance du déplacement des pluies vers la fin du mois de novembre. Ce phénomène peut entraîner des problèmes liés au stockage de la production agricole étant donné qu'il n'existe une forte diffusion d'équipements pour le stockage de la récolte.

La tendance à l'augmentation simultanée de la température et des précipitations peut également affecter la multiplication des pathogènes et maladies des plantes dans la région d'étude.

Les processus d'érosion aussi sont favorisés par l'intensification des pluies avec des phénomènes de dégradation environnementale. (Bacci et al. 2013)

Le réseau d'observation météorologique au Sénégal est caractérisé par une couverture hétérogène des paramètres météorologiques avec une distribution des postes pluviométriques très irrégulière. Surtout pour ce qui concerne la température, le réseau des stations météorologiques est lié au réseau d'observation présente dans les principaux aéroports du Sénégal.

Dans la télédétection la mesure d'un paramètre se fait en manière indirecte par l'analyse d'une onde électromagnétique captée par l'instrument.

Les avantages donc qu'on a en utilisant les images télédétectées sont liés à la possibilité d'avoir une couverture complète du domaine d'étude avec une description de la dynamique d'un paramètre météorologique dans l'espace. En plus, on a l'avantage d'avoir une cohérence entre les informations

stockées dans les bases de données et la facilité du traitement d'un grand volume d'information par des logiciels et outils spécifiques.

Le but de l'étude est de fournir un cadre climatique spécifique pour les risques agronomiques liées à la culture du riz de vallée donc, de se rapprocher à l'étude du phénomène d'un point de vue agroclimatique. Pour clarté d'exposition le document sera organisé en chapitres différents selon les phases les plus sensibles de la culture.

Les périodes les plus critiques pour la culture du riz sont l'émergence et la floraison donc, en général, sur la base du calendrier de phases phénologique du riz de la région de la Moyenne et Haute Casamance, on peut identifier les mois de juillet et d'octobre comme les périodes les plus sensibles aux extrêmes climatiques. (Manzelli et al. 2015)

Les pluies intenses, les séquences sèches, les faux départs et arrêts précoces de la saison des pluies sont toutes les facteurs qui influencent la plupart de la production du riz.

Pour le riz dans les zones basses de la vallée, ou le semis et le repiquage sont fait en retard par rapport au reste de la vallée, on évalue aussi le mois de septembre pour le risque de la submersion des plants causés par des épisodes de pluies intenses.

Les retards dans l'installation de la saison de pluies engendrent des risques d'achèvement du cycle de la culture du riz, cycle qu'on peut considérer d'environ 120 jours, et ils produisent aussi des difficultés dans l'organisation du travail des champs pour à la compétition avec d'autres activités des productrices telles que la récolte des anacardes.

Pour les phases sensibles de la culture, on explore la présence des périodes secs et quelle a été l'incidence dans le temps de ces épisodes, on observe la distribution de la pluie avec une particulier attention à la distribution des évènements extrêmes et enfin produire une évaluation de la probabilité futur d'avoir à nouveau les mêmes conditions extrêmes.

Le passage final est l'évaluation de la distribution spatiale du début et fin de la saison et ses changements au fil du temps.

Les résultats des ces analyses sont présentés et synthétise pour fournir une cadre de lecture des conditions climatiques présentes et futures et assister la communauté agricole sénégalaise dans le processus de prise de décision.



## Le jeu de données CHIRPS

---

L'estimation des variations des précipitations dans l'espace et dans le temps est un aspect important pour l'évaluation de la sécheresse et l'analyse des événements extrêmes. L'évolution de la saison doit être placée dans le contexte historique pour évaluer la gravité du déficit ou du surplus des précipitations par rapport à la normale.

Les experts du *U.S. Geological Survey Earth Resources Observation and Science Center* (USGS-EROS), en collaboration avec le *Climate Hazards Group* de l'Université de Santa Barbara de la Californie, ont développé un jeu de données à couverture quasi-globale (50°S–50°N, 180°E–180°W), avec une résolution de 0.05°, à partir de 1981 à nos jours d'estimation de précipitation: le *Climate Hazards group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS) (Funk et al., 2014).

Deux produits opérationnels CHIRPS sont produits: une version préliminaire rapide et une version finale dans un deuxième temps. Le produit CHIRPS préliminaire est disponible, pour l'ensemble du domaine, quelque jour après. Le CHIRPS préliminaire utilise seulement les stations GTS, qui sont disponibles dans un délai de 1 jour.

Autres jeux de données de station, GHCN, GMOD, prennent jusqu'à approximativement 15 jours pour toutes les stations. Ces données sont utilisées pour produire les produits finals du CHIRPS, qui sont disponibles normalement après le 15 du mois suivant avec une nette amélioration de l'estimation du paramètre pluie. Pour les élaborations climatiques on utilise le deuxième produit pendant que le premier est plus utilisé dans une optique opérationnelle.

Le grand avantage des images CHIRPS est d'avoir une couverture complète de la moyenne et haute Casamance à haute résolution, avec une couverture temporelle (1981-2013) assez longue pour permettre des évaluations par rapport à la climatologie.

Les images CHIRPS sont disponibles gratuitement et elles sont fournies en format *Network Common Data Form* (NetCDF). Toutes les opérations d'élaboration des images d'estimation de pluie sont effectuées avec *Climate Data Operators* (CDO). CDO est une suite d'utilitaires pour manipuler directement les fichiers NetCDF, et il permet de effectuer différentes fonctions de calcul arithmétique et statistique, sélection de données, outils d'échantillonnage et interpolation spatiale est une collection d'un grand nombre d'opérateurs pour les sorties de modèles climatiques.

## Juin-juillet – L'installation du riz

Les dates de plantation et les périodes de culture du riz pluvial dépendent entièrement du régime des pluies. La sécheresse est le facteur principal qu'influence l'installation des petites plantes de riz. En effet, dans une phase si sensible comme la germination, le manque d'une quantité d'eau suffisante aux besoins physiologiques de la plante peut conduire tout carrément à la mort des semences.

La pluviométrie moyenne de la région pour les deux mois d'intérêt, calculé sur la période 1981-2013, varie entre 250 et 400 mm avec un gradient sud nord (voir Figure 1).

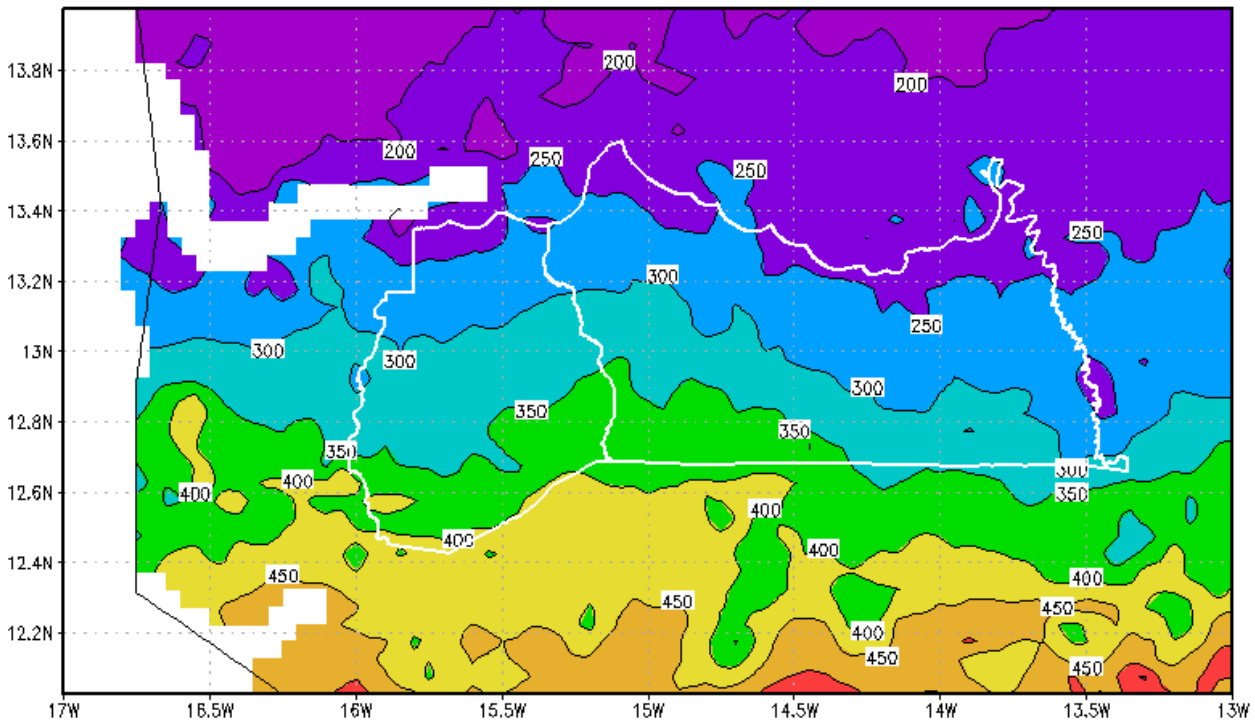


Figure 1 Pluviométrie moyenne mois Juin et Juillet période 1981-2013 (Données: CHIRPS – élaboration M. Bacci)

L'évaluation de la dynamique temporelle de la distribution de la pluie, à travers la valeur de pluie moyenne enregistrée sur le grillage correspondant à la région de la Moyenne et Haute Casamance, est très irrégulière comme on peut observer dans la Figure 2. On identifie le 1998 et le 2013 comme les années les plus sèches de la série historique, pendant que le 1984 le 1989 et le 2001 sont les années les plus arrosées.

La moyenne mobile à 5 ans évidence un signal plutôt stable dans le temps avec une baisse enregistrée dans les dernières années. Cela est partiellement témoin d'une période initiale de la saison plus sèche par rapport à la normale, en confirmant l'évolution générale de la distribution des pluies au Sénégal qui semblent se décaler toujours plus en retard.



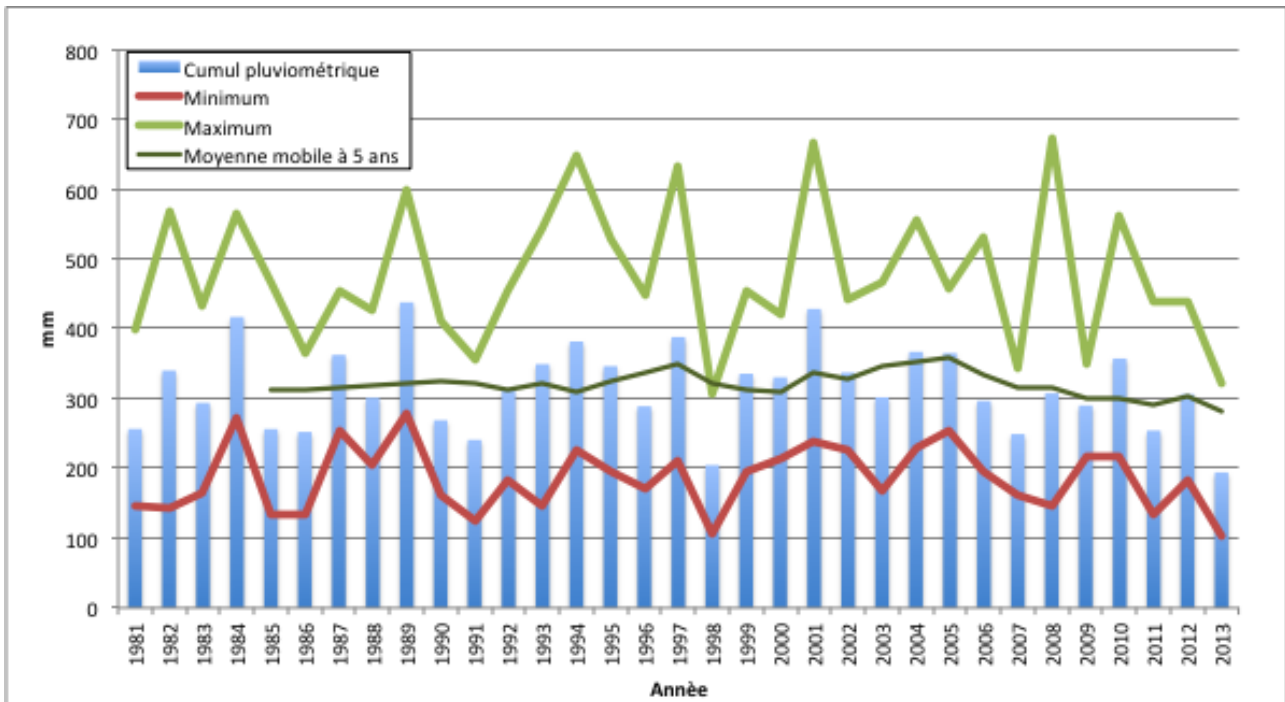


Figure 2 Distribution du cumul pluviométrique dans les mois de Juin et Juillet avec indication de la valeur minimale et maximale enregistrée dans la Région de la Moyenne et Haute Casamance pour chaque année (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

## Analyse des conditions de sécheresse

L'analyse de la distribution des jours secs dans les mois de Juin et Juillet nous permette de caractériser chaque année selon les risques potentiels que les cultures ont subis pendant les phases de semis et germination des plantes.

On définit jour sec celui qui enregistre moins d'1 mm de pluie dans un jour. En général si on assiste à plusieurs jours secs consécutifs ça veut dire que le stress hydrique peut être fort mais, surtout, il faut se concentrer sur le numéro d'épisodes avec plus de 5 jours secs consécutifs pour comprendre les stress que la petite plante a dû subir dans cette phase. En effet la présence d'un longue période de jours secs consécutifs dans les deux mois peut aussi représenter simplement un retard dans l'installation de pluies, pourtant les agriculteurs n'ont pas encore préparé le terrain pour le semis. Par contre, s'il y a des conditions favorables pour la préparation du sol et des conditions favorables pour le semis, on s'attend que la plupart des agriculteurs aillent semer et à ce moment, si un épisode de sécheresse se vérifie, on peut s'attendre un échec de semis.

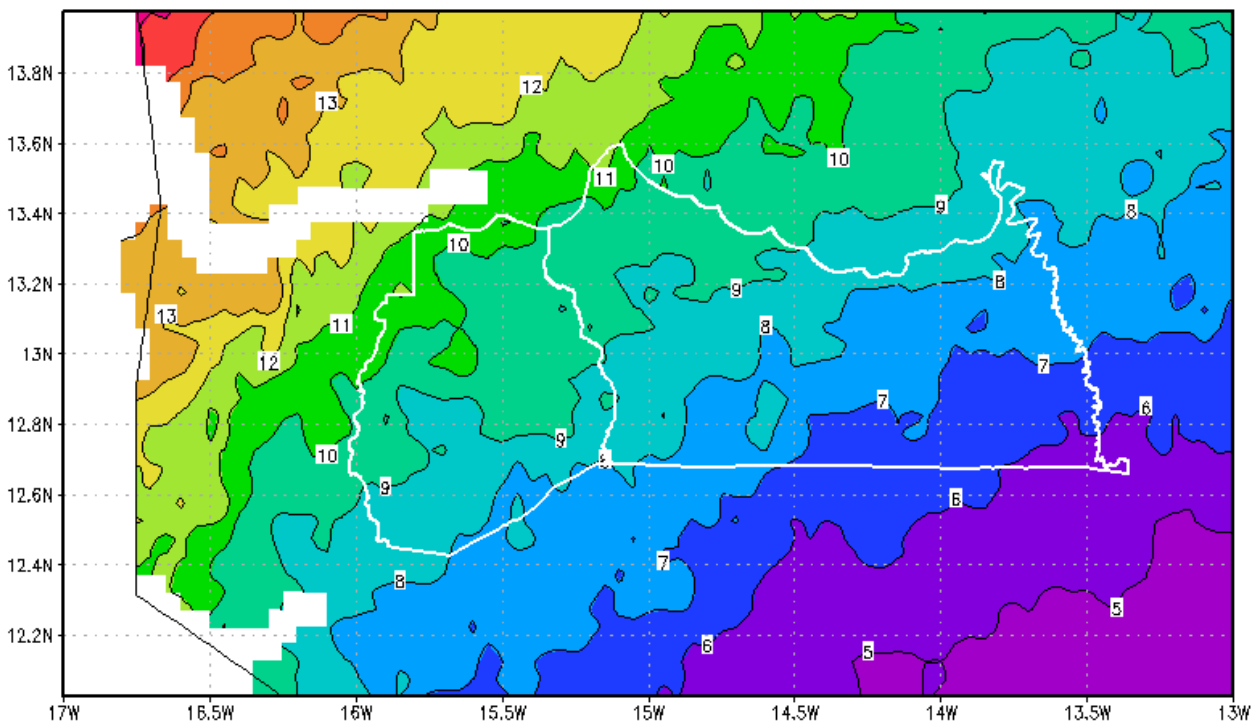


Figure 3 Numéro moyenne du maximum de jours secs consécutifs par an dans les mois Juin-Juillet – 1981-2013 (Données CHIRPS – élaboration M. Bacci)

La Figure 3 permet de comprendre quelle est la distribution du maximum des jours secs consécutifs dans la région. Il y a un gradient sud-est nord-ouest, avec une probabilité majeure d'avoir une longue série de jours secs consécutifs auprès de la Gambie. Par contre dans la partie orientale de la région de Kolda il semble que normalement on n'assiste jamais à des épisodes très étendus de condition de sécheresse.

Pour ce qui concerne la distribution du numéro moyenne des périodes avec au moins 5 jours secs consécutifs on peut observer comment dans la Figure 4 la distribution est plus irrégulière et elle suit un gradient Sud Nord.

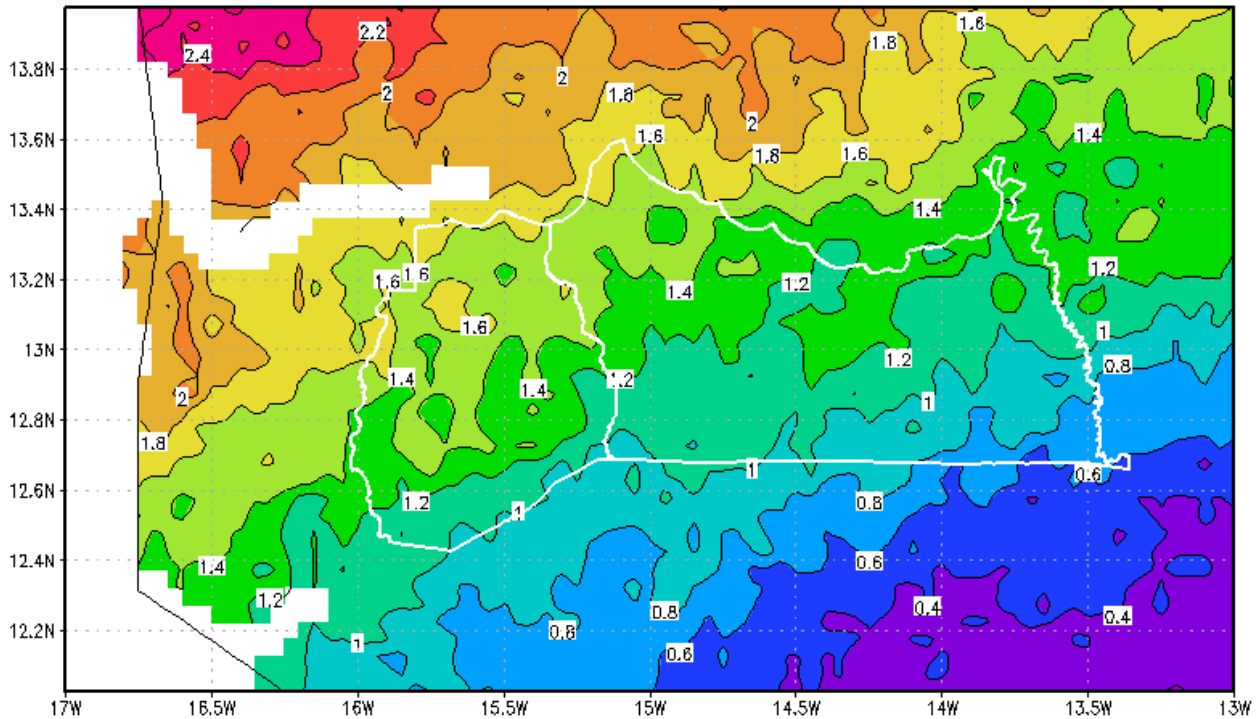


Figure 4 Numéro moyenne des périodes d'au moins 5 jours secs consécutifs pour les mois Juin-Juillet par an – 1981-2013 (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

En observant ces éléments on peut dire que normalement dans la région il n'y a pas des conditions défavorables aux cultures dans les mois initiales de la saison des pluies.

Mais si on considère la distribution temporelle au fil des ans des épisodes de sécheresse, on peut constater qu'elle est très hétérogène (Figure 5).

La normalisation<sup>1</sup> des valeurs du numéro de jours secs consécutives et du numéro d'épisodes avec au moins 5 jours consécutifs secs a été rendue indispensable pour permettre une comparaison entre les deux séries.

Jusqu'au début des années '90 on enregistre un période sec très prolongé avec des épisodes extrêmes au delà de la normale distribution statistique, en particulier le 1981 et le 1986 sont les années caractérisées respectivement par la plus grande longueur de jours sèches consécutives et par le numéro d'épisodes de plus de 5 jours secs consécutifs.

La deuxième partie des années '90 jusqu'au 2010 on enregistre des conditions plus humides par rapport à la normale avec une absence de périodes de sécheresse prolongé et de faux départs de la saison de pluies.

Pour les dernières années on enregistre une modification de la tendance avec des périodes de sécheresse plus importantes. Si cette tendance sera confirmée, on pourra s'attendre une général incertitude dans la phase d'installation de la mousson africaine avec un risque majeur de pertes dues aux échecs de semis et à des retards dans l'installation de la campagne agricole.

<sup>1</sup> On appelle donnée normalisée, la différence entre la donnée et la moyenne, rapporté à l'écart-type

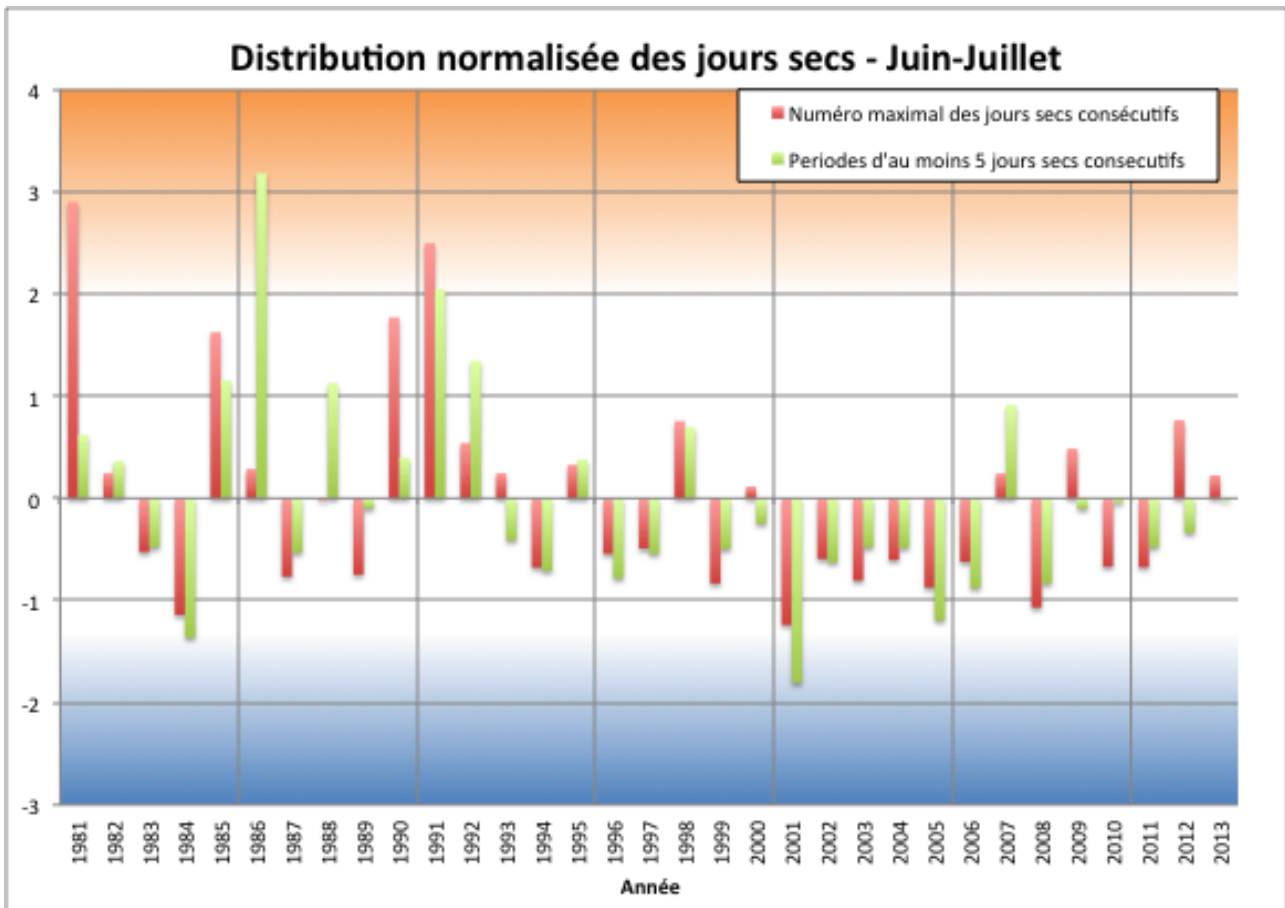


Figure 5: Distribution normalisée des jours secs des mois Juin et Juillet (Données: CHIRPS - Elaboration M. Bacci)

## Probabilité de sécheresse pour les mois de Juin et Juillet

Pour caractériser les risques naturels, et dans ce cas le risque de sécheresse, on propose l'approche du calcul de la période de retour.

La période de retour caractérise le temps statistique entre deux occurrences d'un événement naturel d'une intensité donnée. Ce terme est très utilisé pour la planification des ouvrages hydrauliques mais on peut l'appliquer à n'importe quel paramètre météorologique extrême.

Dans ce cas on s'intéresse au temps de retour du numéro maximal de jours consécutifs secs et au numéro de périodes secs d'au moins 5 jours.

On a calculé la période de retour, selon la méthode de Gumbel (Gumbel, 1954) à différents horizon temporelles : 2, 5, 10 et 20 ans. Le choix se base sur la nécessité de comprendre des risques agronomiques. La probabilité d'un évènement est donc l'inverse du temps de retour. Un épisode avec 2 ans de temps de retour a pour chaque année une probabilité de  $\frac{1}{2}$ , donc du 50%, de se présenter.

Donc on montre dans le document un éventail de sorties pour couvrir différents seuils de probabilité : 50%, 20%, 10% et 5% avec le calcul des périodes sèches qu'on peut s'attendre. Le décideur pourra ainsi choisir une option d'investissement par rapport aux autres selon son seuil de risque acceptable.

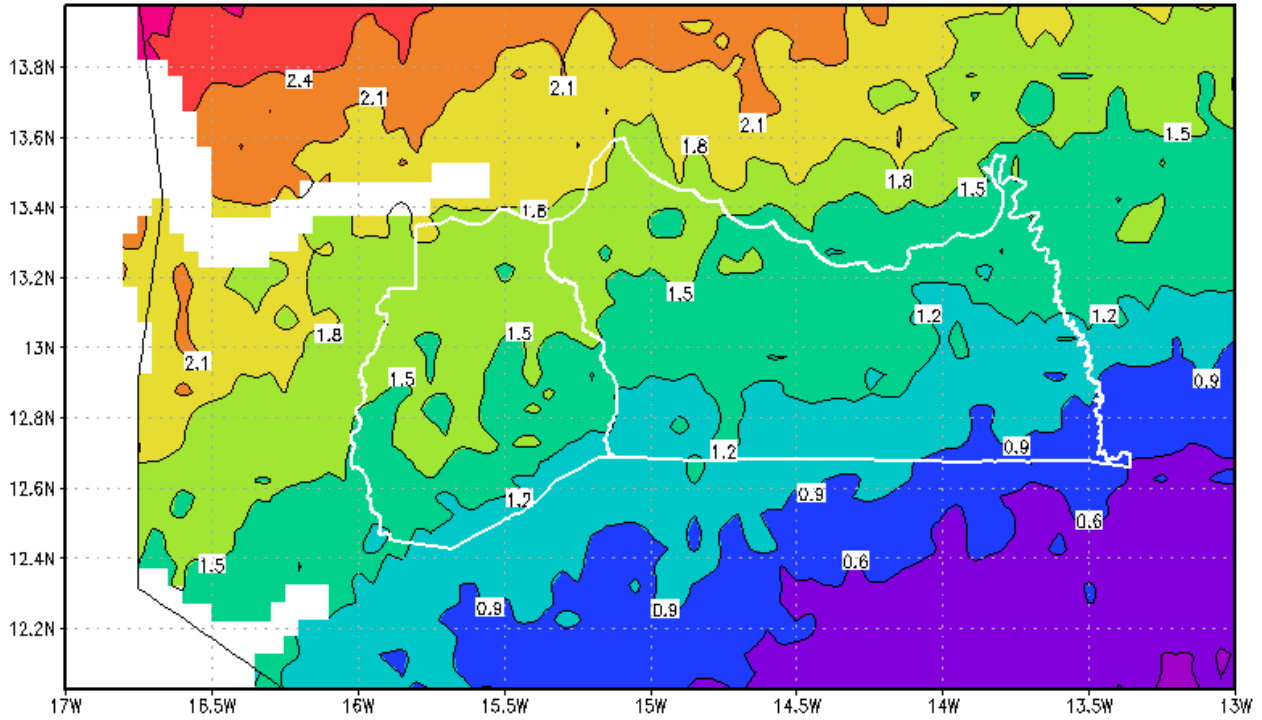


Figure 6 Numéro périodes par an de 5 jours secs consécutifs – Période de retour de 2 ans (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

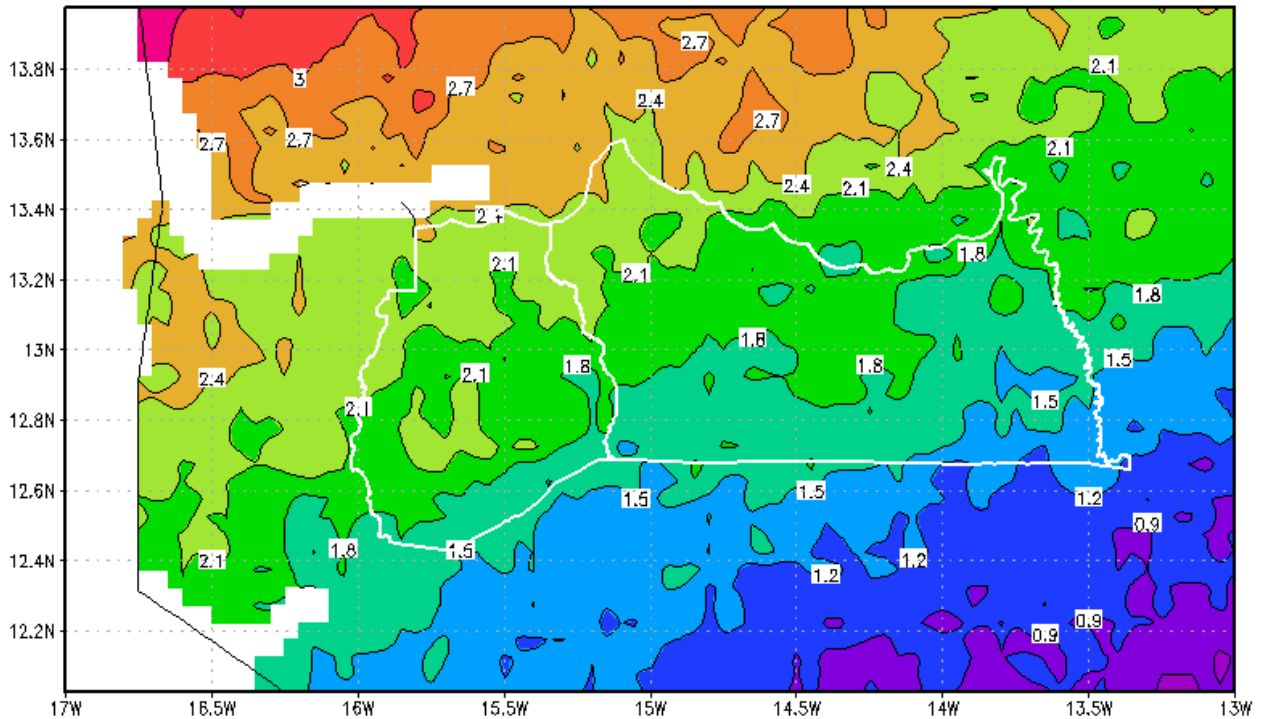


Figure 7 Numéro périodes par an de 5 jours secs consécutifs – Période de retour de 5 ans (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

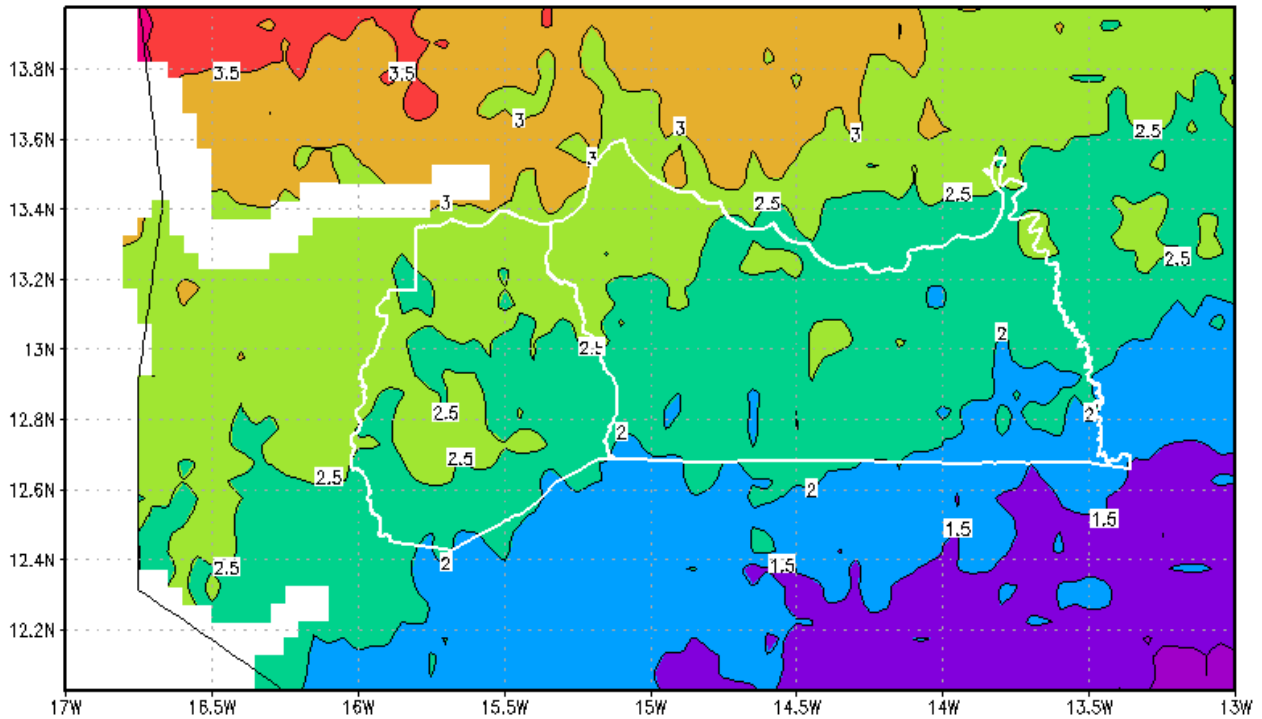


Figure 8 Numéro périodes par an de 5 jours secs consécutifs – Période de retour de 10 ans (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

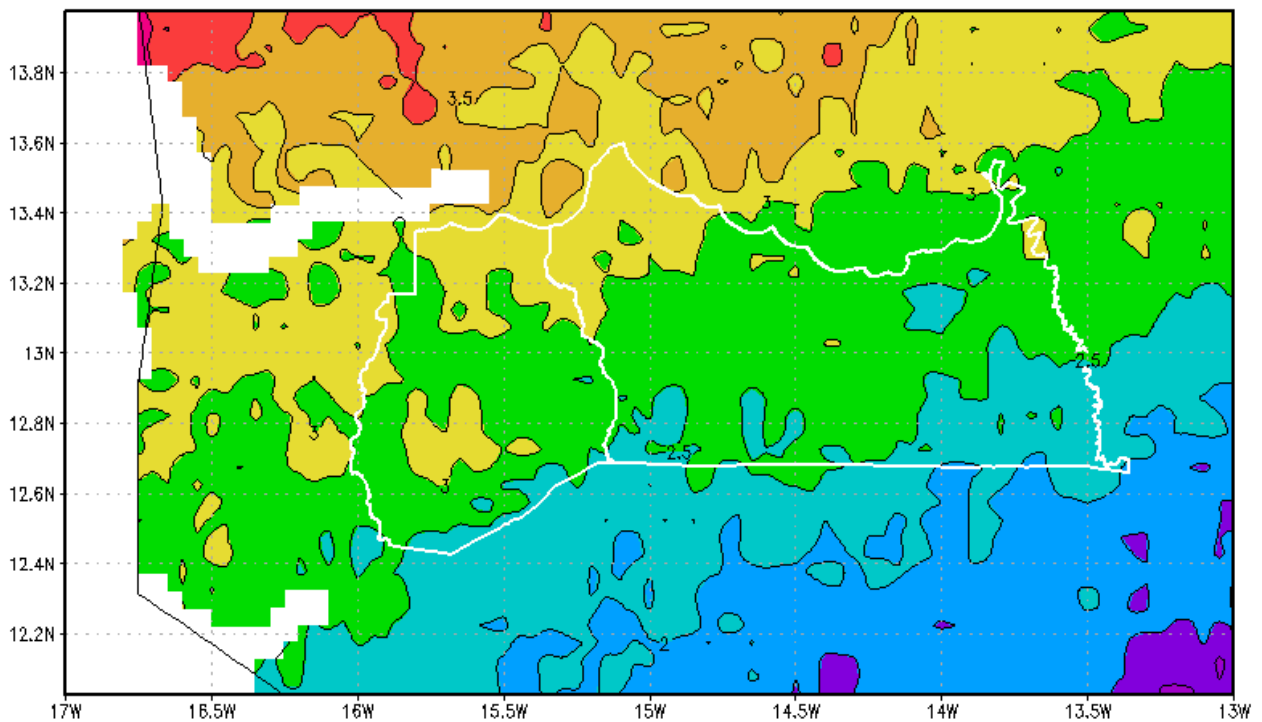


Figure 9 Numéro périodes par an de 5 jours secs consécutifs – Période de retour de 20 ans (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

Les figures montrent comment normalement pendant le cours des mois de Juin et juillet on peut s'attendre 1-2 périodes par an avec au moins 5 jours sèches consécutives mais on arrive jusqu'à 2.5-3.5 épisodes par an une année sur 20. La distribution va suivre le gradient sud nord de la pluviométrie.



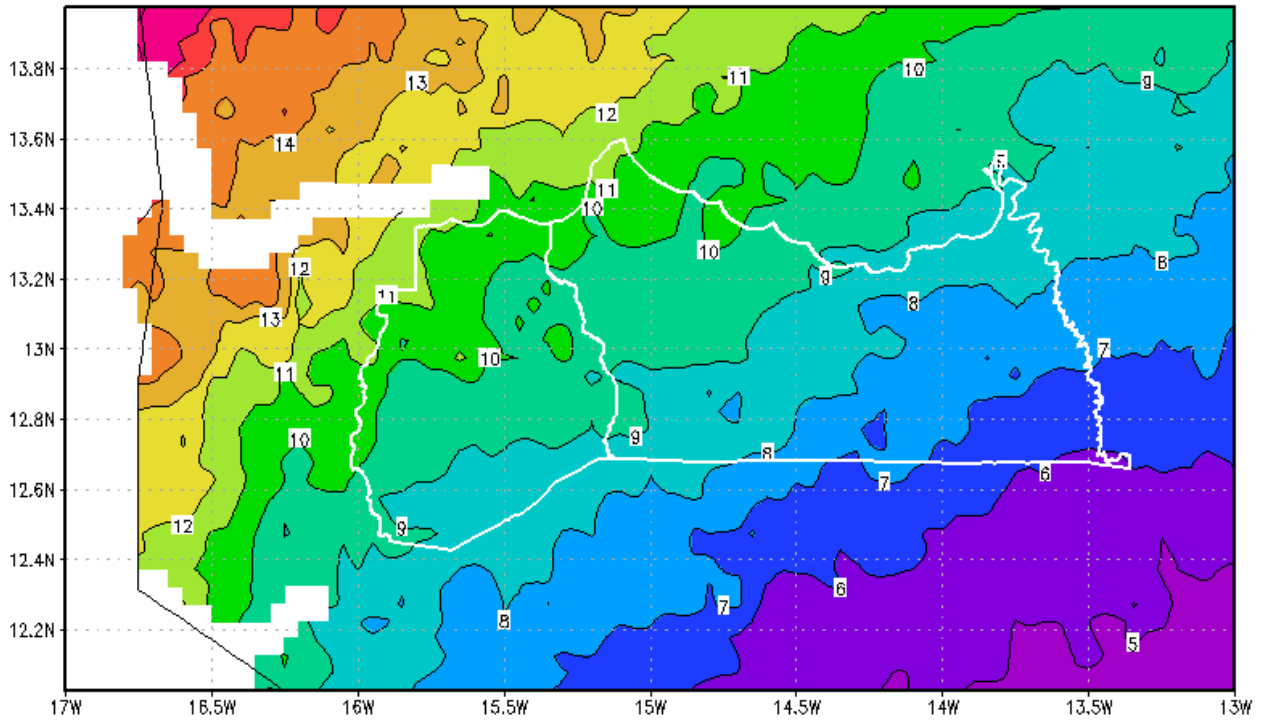


Figure 10 Numéro maximal des jours secs consécutives par an – Période de retour de 2 ans (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

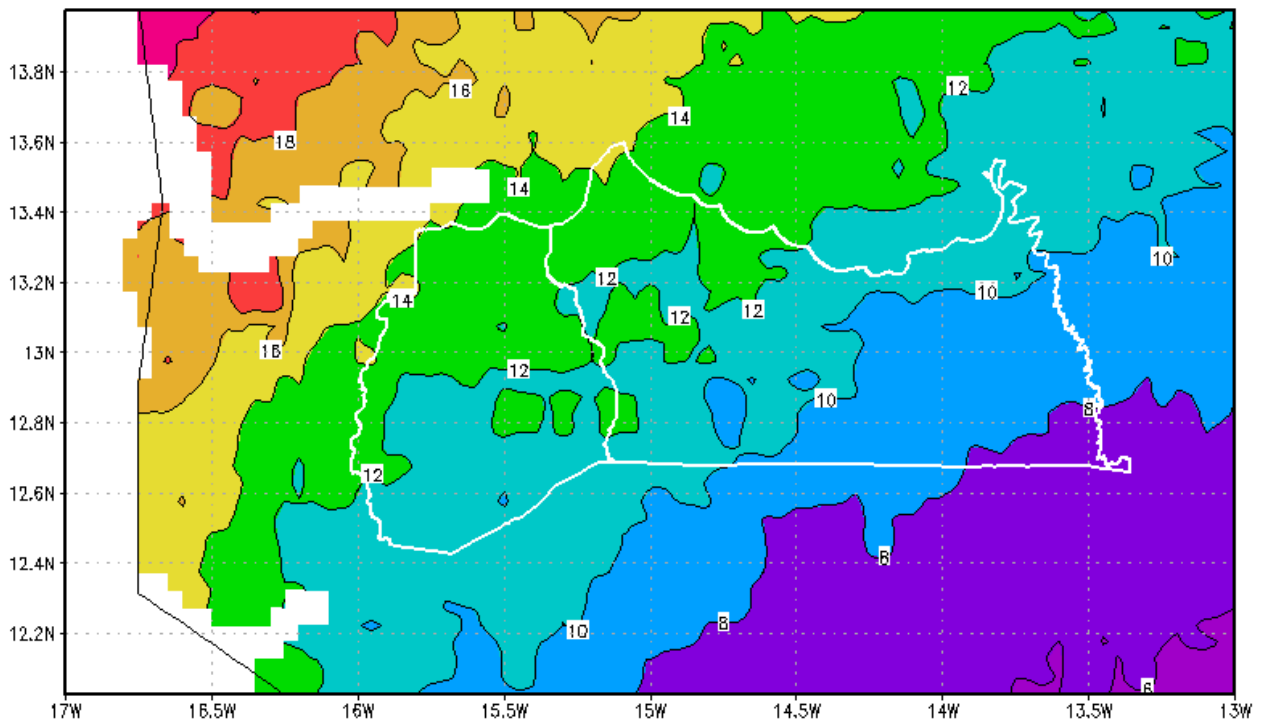


Figure 11 Numéro maximal des jours secs consécutives – Période de retour de 5 ans (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

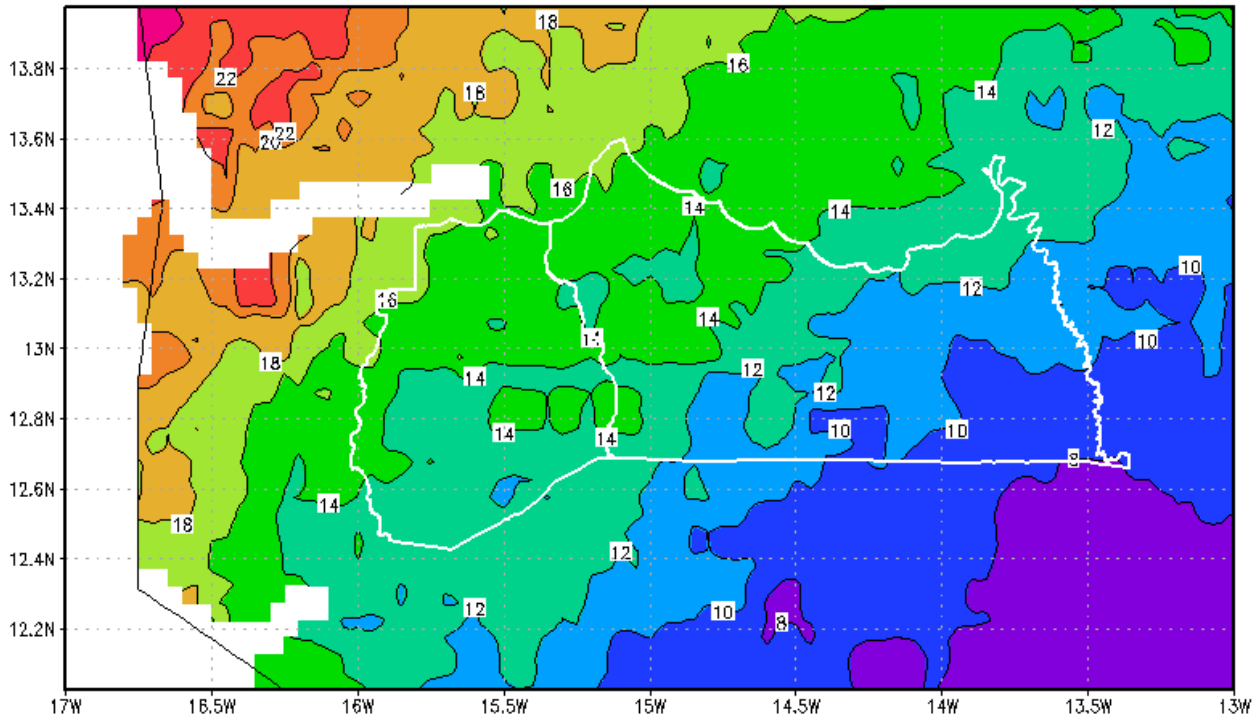


Figure 12 Numéro maximal des jours secs consécutifs par an – Période de retour de 10 ans (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

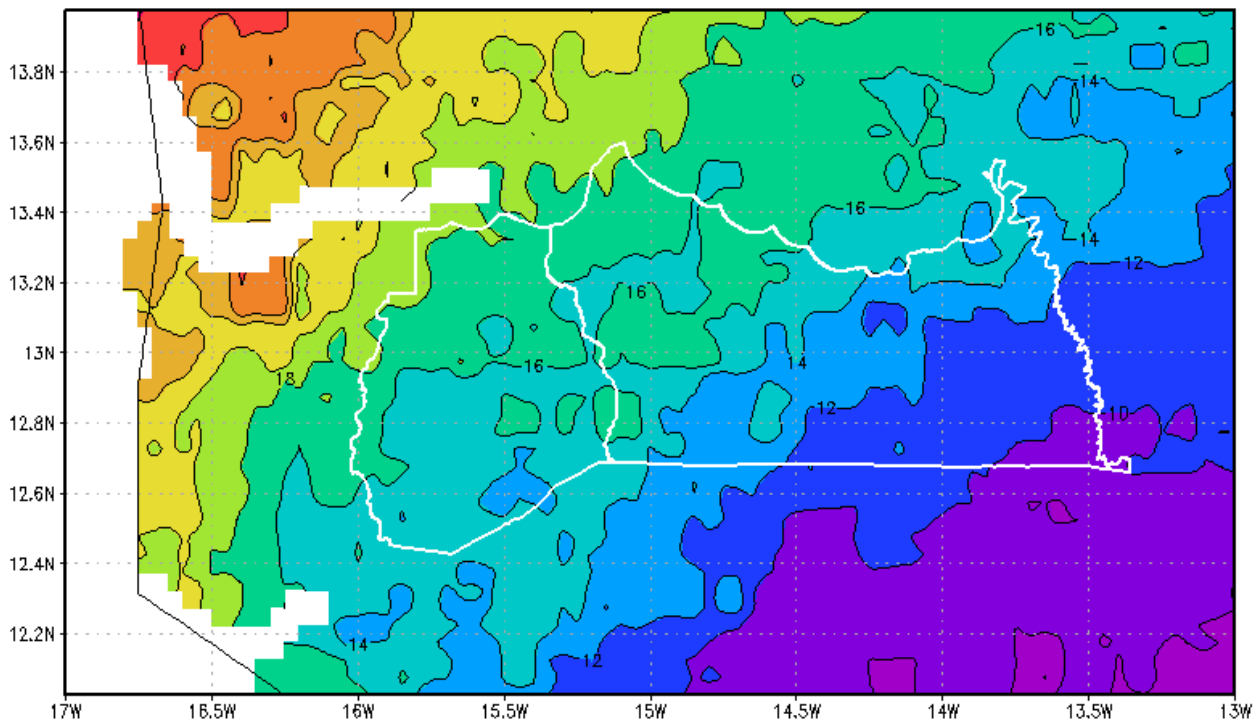


Figure 13 Numéro maximal des jours secs consécutifs par an – Période de retour de 20 ans (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

Pour ce qui concerne le numéro maximal des jours secs consécutifs par an on observe que normalement on s'attend du 6 jusqu'à 10 jours consécutifs secs par an mais avec une probabilité d'une année sur 20 on enregistre du 10 jusqu'à 18 jours, presque le double. Dans le cas des périodes prolongées de sécheresse on observe un gradient plus SE vers NO.

## Juillet – La phase de l'émergence du riz

Le mois de juillet est, pour la moyenne et Haute Casamance, normalement la période dans laquelle les jeunes plantes vont émerger. Cette phase pour le riz, et pour toutes les cultures céréalières pluviales, représente une phase critique pour l'état de développement de la petite plante. Les racines sont peu développées et elles ne sont pas capables d'absorber l'humidité dans la partie plus profonde du sol en cas de nécessité

En plus les fortes pluies dans ce période peuvent engendrer la submersion prolongée des petites plantes et phénomènes d'érosion.

Pourtant dans ce stade très vulnérable de la plante on observe en détail les aspects climatiques qui engendrent ces risques pour la riziculture.

Le mois de juillet est bien arrosé en Casamance et en regardant la série temporelle on n'observe jamais une pluviométrie en moyenne inférieure à 100 mm/mois (Figure 14). Seulement le 1998 va se rapprocher à cette limite. Pour les dernières années on observe une tendance à la baisse de la pluviométrie de juillet, confirmé aussi pour le 2014, que, si confirmé, sera un facteur limitant très important pour la riziculture de la région.

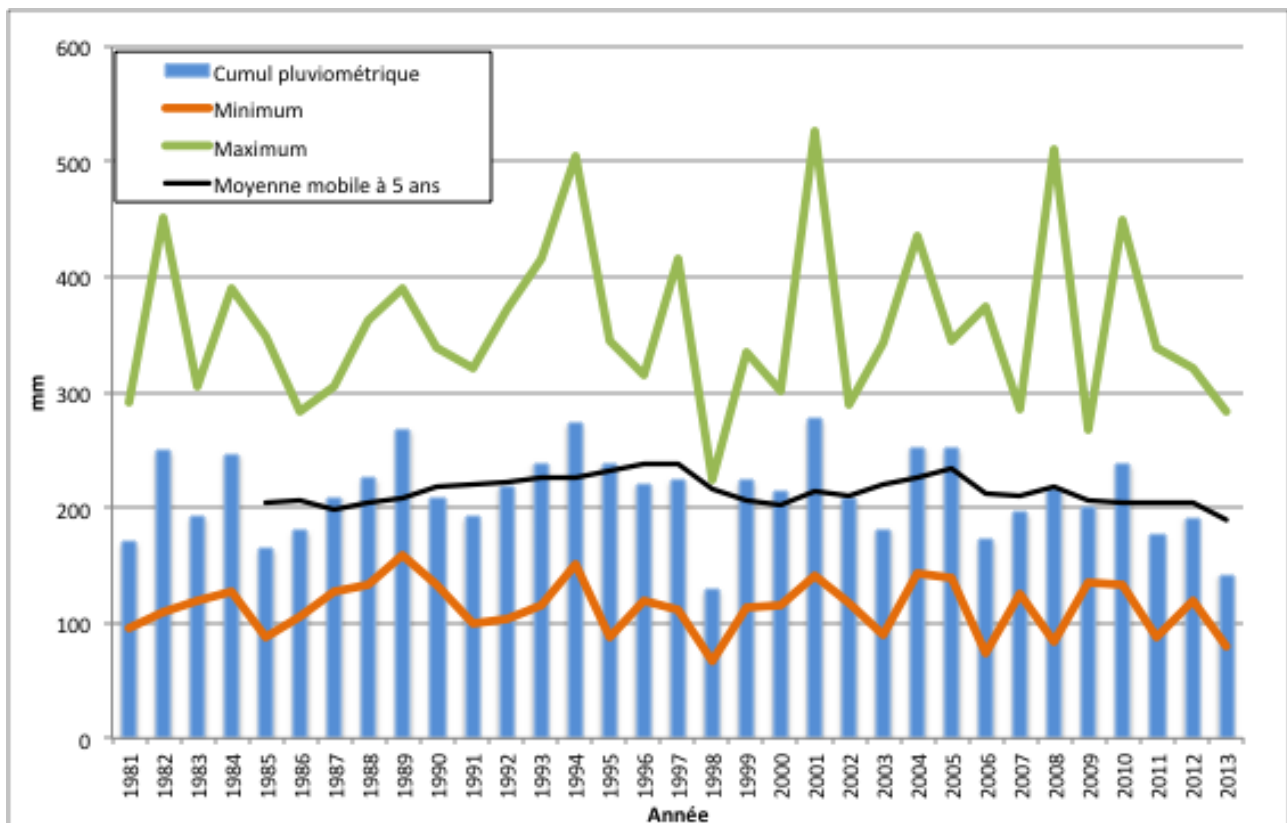


Figure 14 Distribution du cumul pluviométrique du mois de Juillet avec indication de la valeur minimale et maximale enregistré dans la Région pour chaque année (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

Le mois de juillet est donc caractérisé aussi pour une quantité de jours humides plus que suffisante pour la bonne installation des cultures (Figure 15), en moyenne on observe plus de 10 jours humides dans le mois de juillet.

Cette bonne répartition de jours humides et secs représente donc une situation optimale pour la bonne croissance du riz avec, dans les dernières années, une tendance à l'augmentation des jours humides.

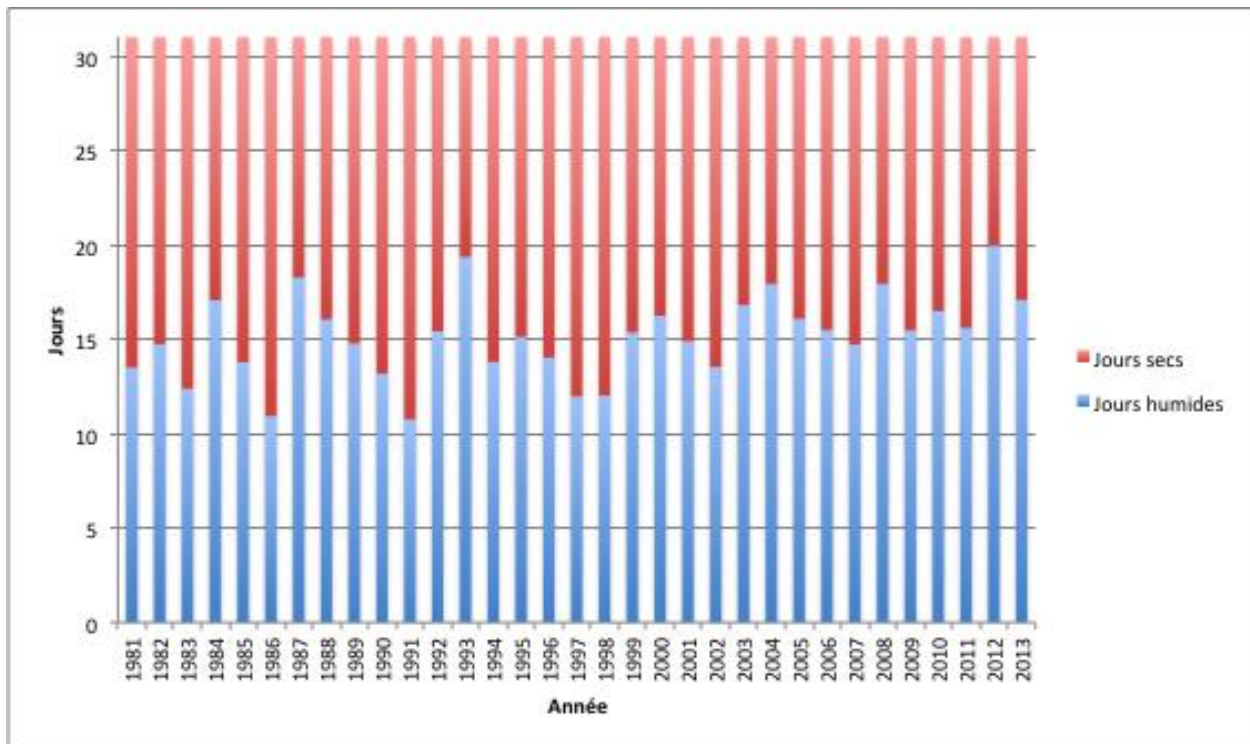


Figure 15 Distribution jours secs et humides dans le mois de Juillet pour la région de la moyenne et haute Casamance (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

Si la saison de pluie s'installe bien, sans aucun retard, on peut se concentrer sur les épisodes extrêmes de pluie. En effet, en considérant la bonne répartition des jours humides, les risques majeurs pour les jeunes plantes sont liés surtout aux pluies intenses.

Dans le graphique suivant (Figure 16), on observe comment dans la région on assiste à valeurs de pluie journalière très élevé, tel que pour le 1984 et le 2004 où on dépasse le 140 mm/jour.

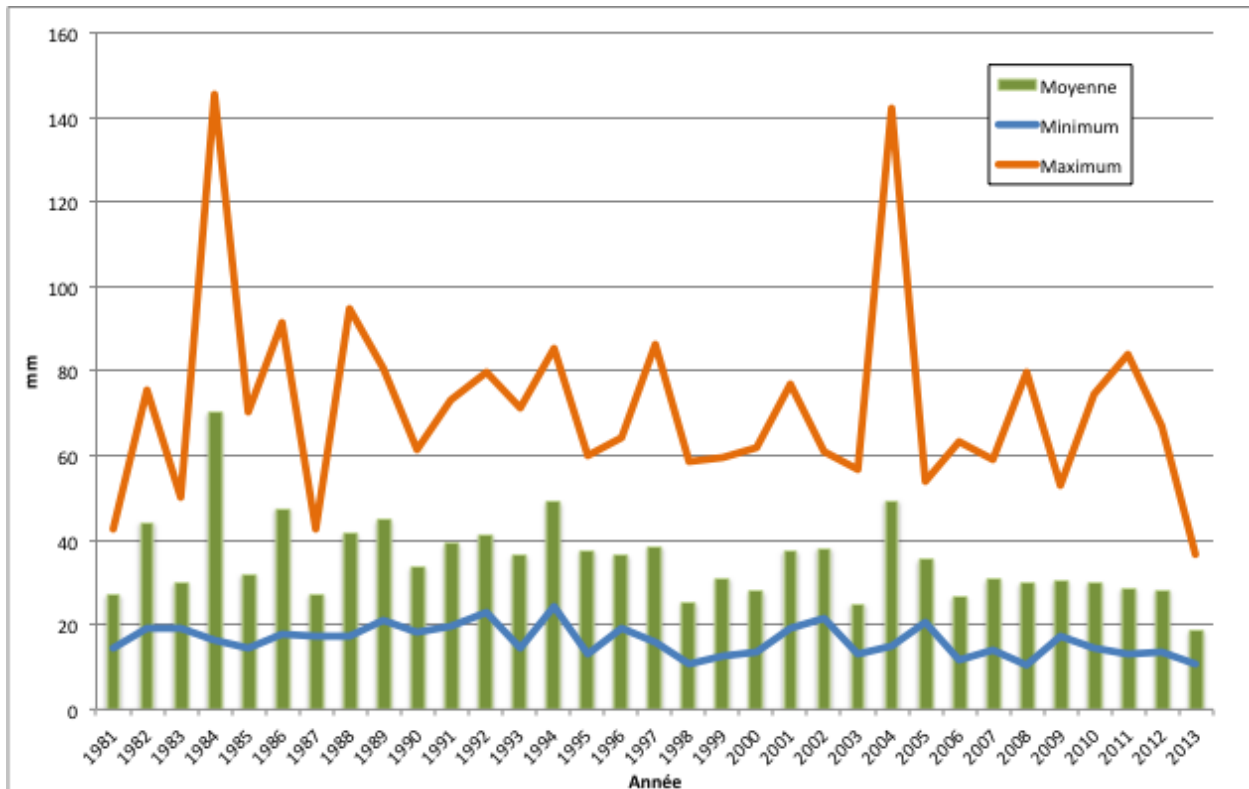


Figure 16 Valeur maximale de pluie journalier – Mini, maxi et moyenne sur la région de la Moyenne et Haute Casamance (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

En confirmant l'indication du précédent travail sur le climat (Bacci et al. 2013) le mois de juillet semble observer une tendance à la baisse des phénomènes extrêmes de pluie. Cet aspect donc nous rassure que pour les prochaines années on peut s'attendre en moyenne des meilleures conditions pour la phase d'émergence du riz. Ça ne veut pas dire que des extrêmes de pluie ne seront plus enregistrés dans le période mais qu'il y aura une probabilité inférieure des conditions préalables aux pertes dues à la submersion des plantes.

Il faut rappeler, que la pluie est une des ingrédients qui peuvent engendrer ce type de problème. La mauvaise gestion de l'eau, les carrières en amont de la vallée, la manque d'une correcte gestion de la parcelle et un retard dans les pratiques agricoles sont tous facteurs qui concourent aux risque de submersion des plantes.

## Probabilité de pluies intenses pour le mois de juillet

Pour caractériser l'alea climatique des pluies intenses on passe donc à la définition des périodes de retour de la pluie maximale journalière. La méthodologie utilisée est similaire à celle utilisé pour la définition du temps de retour des périodes sèches mais dans ce cas on observe la valeur de la pluie maximale journalière.

Les valeurs indiqués dans chaque figure suivante sont les valeurs de pluie maximale qu'on peut s'attendre avec différents horizon temporelles.

Le scénario à deux ans nous offre une vision d'un juillet normal, donc une valeur de pluie que normalement on dépasse 1 année sur deux.

Cela signifie que pour une correcte gestion des parcelles et du drainage hydraulique il faudra prévoir que cette valeur sera très fréquente dans cette phase. Où actuellement le système agricole est mis en crise par ces valeurs il faut forcément réfléchir sur les alternatives à la culture du riz ou à une révision des ouvrages hydrauliques de la vallée.

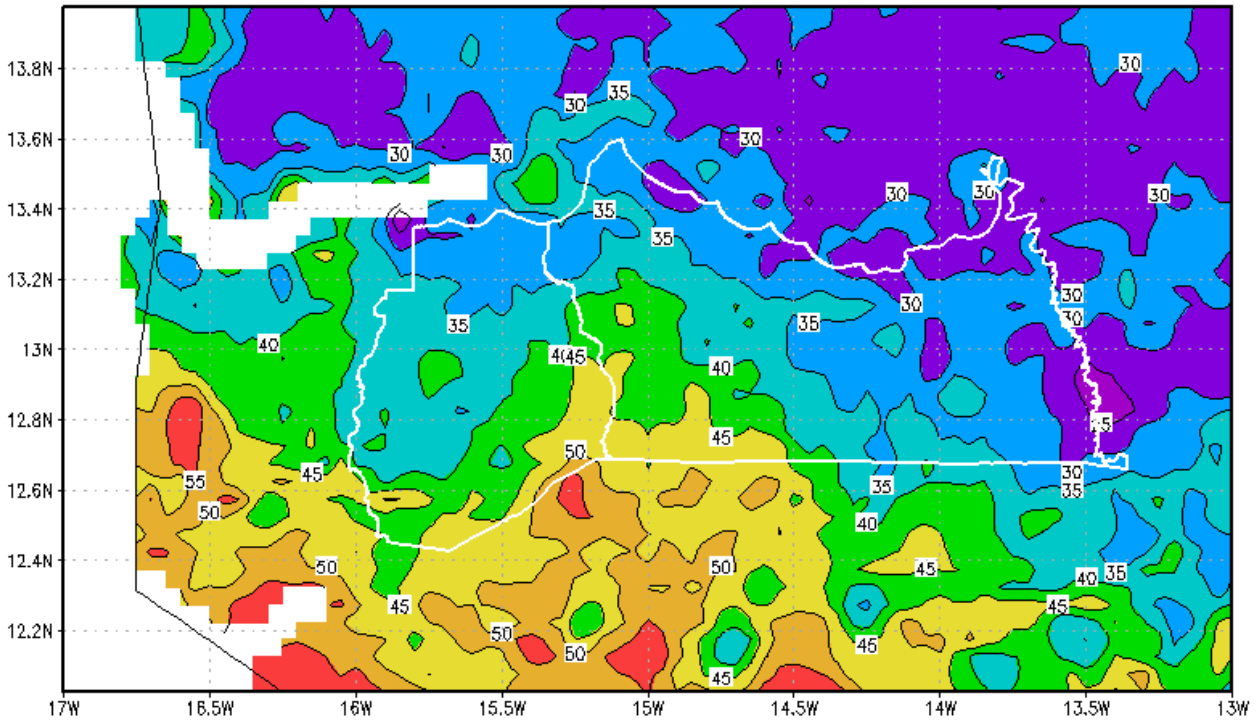


Figure 17 Pluie journalière maximal (mm) avec un période de retour de 2 ans (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)



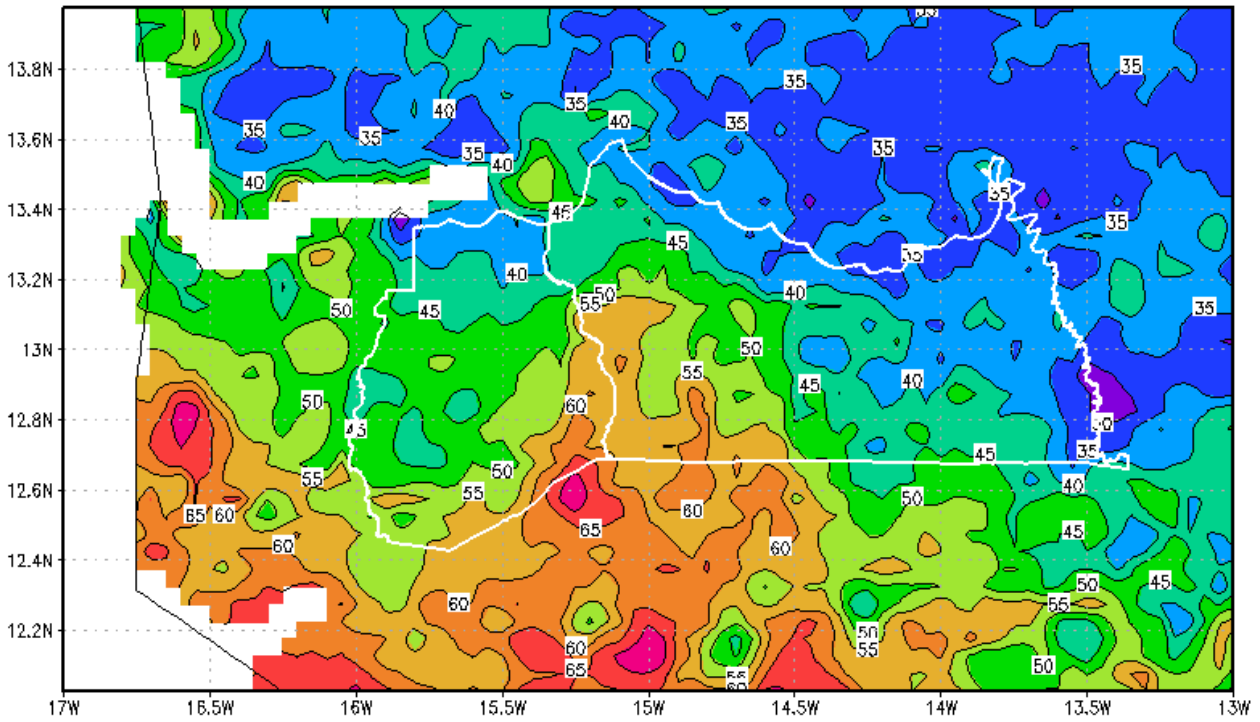


Figure 18 Pluie journalière maximal (mm) avec un période de retour de 5 ans (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

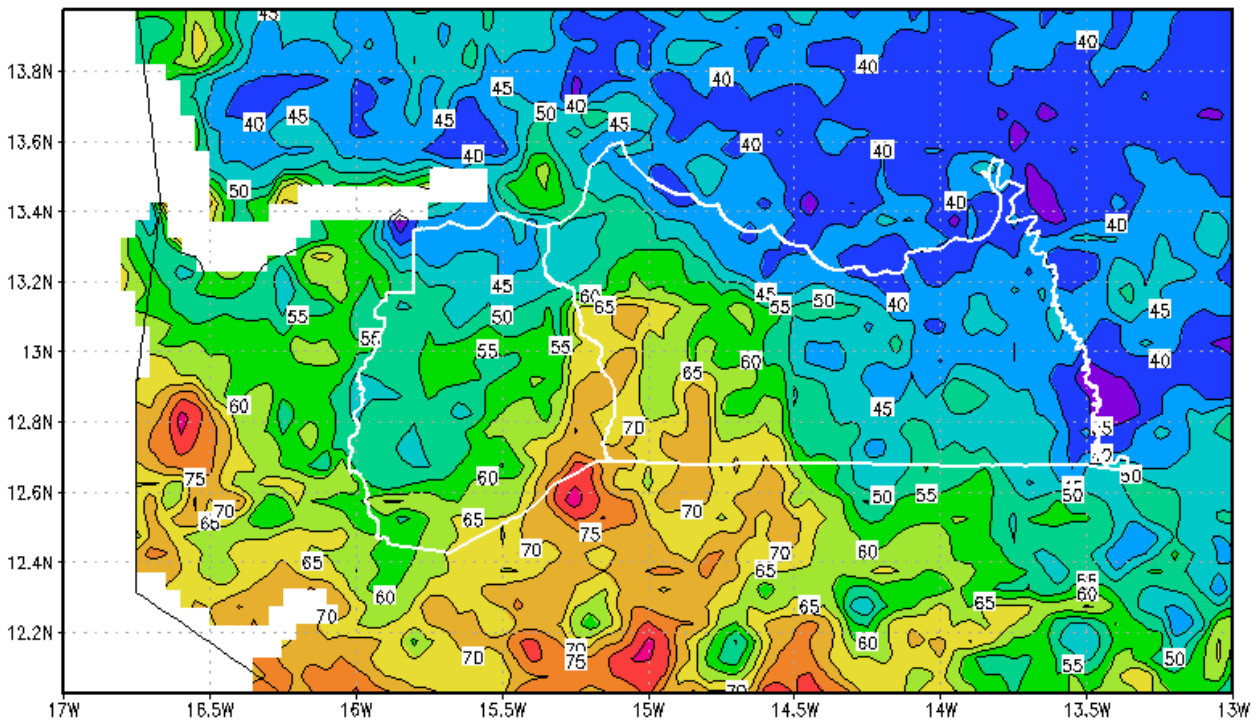


Figure 19 Pluie journalière maximal (mm) avec un période de retour de 10 ans (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

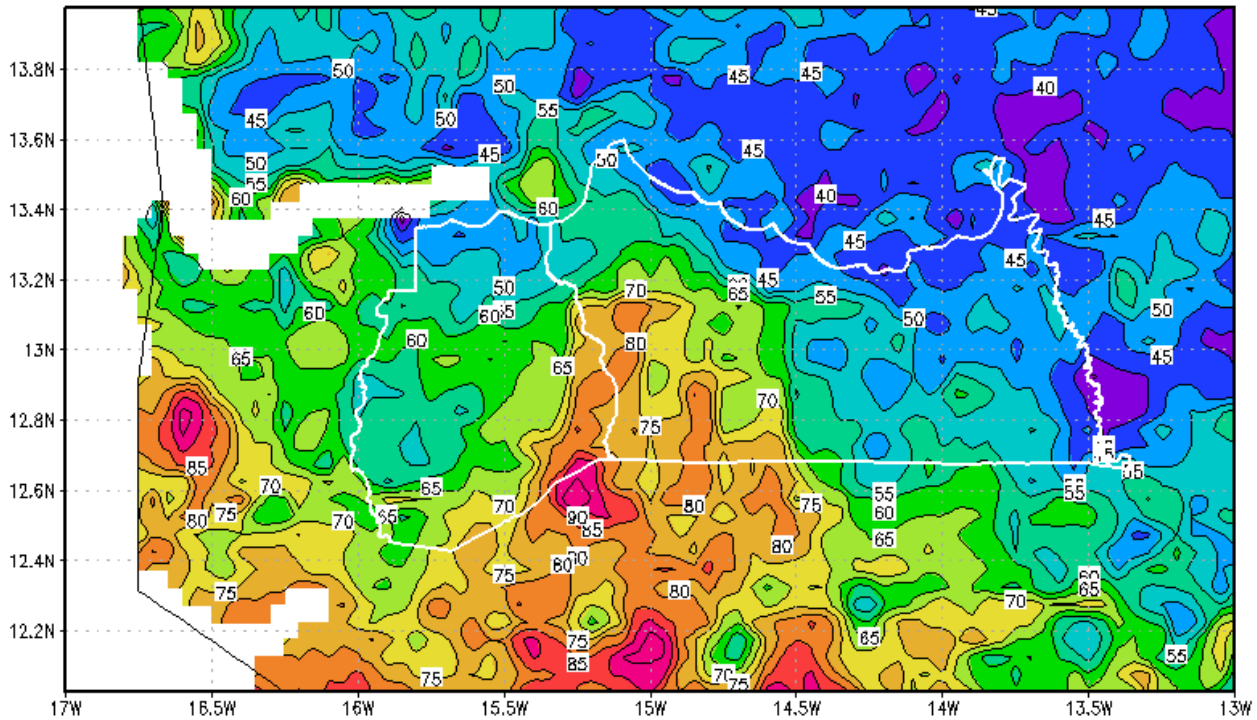


Figure 20 Pluie journalière maximal (mm) avec un période de retour de 20 ans (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

Si on observe la distribution des valeurs extrêmes de pluie avec une période de retour de 20 ans (5% de se vérifier chaque année) on arrive a valeurs qui touchent les 90 mm/jour qui peuvent créer beaucoup de problèmes soit dans conditions optimales de gestion de la vallée.

Comme on voit dans les figures précédentes la distribution des extrêmes ne suivent pas le normal gradient sud nord mais on observe un cône de valeurs maximales entre la partie orientale de la région de Sédhiou et la partie occidentale de la région de Kolda.

Ces informations tires par l'analyse pourront appuyer les agronomes dans la conception et le dimensionnement correct du système des ouvrages hydrauliques des vallées rizicoles de la région.

## Septembre – Risque de submersion du riz de bas-fond

Bien que le riz soit une plante aquatique et pousse bien sous l'eau, une submersion profonde et prolongée du riz est nocive au développement de la plante. Les stades les plus vulnérables en ce qui concerne la submersion de toute la plante sont ceux du développement des épis et de la floraison. Les dégâts sont relativement minimes quand les épis et les feuilles supérieures restent au-dessus de la surface de l'eau.

Pour les vallées dans la Moyenne et Haute Casamance le problème de la submersion des plantes est surtout lié à la micromorphologie de la vallée. En effet la manque de mécanisation et d'interventions profondes dans la modification du profil de la vallée déterminent une conformation de la vallée plutôt naturelle avec de zone relativement plus élevé et autres zones à risque submersion.

La présence d'ouvrages anti sel ou de rétention d'eau et le manque d'un système efficace de drainage principal et secondaire dans la vallée, engendrent très facilement des petites mares dans les parties plus basses de la vallée. Dans ces zones s'il y a le riz existe une forte probabilité de submersion.

Ces zones normalement sont semés en retard par rapport au reste de la vallée et le cycle de végétatif de la plante va rassembler à une culture de contre saison en profitant de la décrue de l'eau.

### Pluies intenses dans le mois de septembre

Le premier aspect à analyser est donc la distribution des épisodes de pluie intense et en particulier le la moyenne de la pluie maximale journalière, le numéro de jours avec une pluie de plus de 10 mm et 20 mm (Figure 14) calculés sur la Moyenne et Haute Casamance.

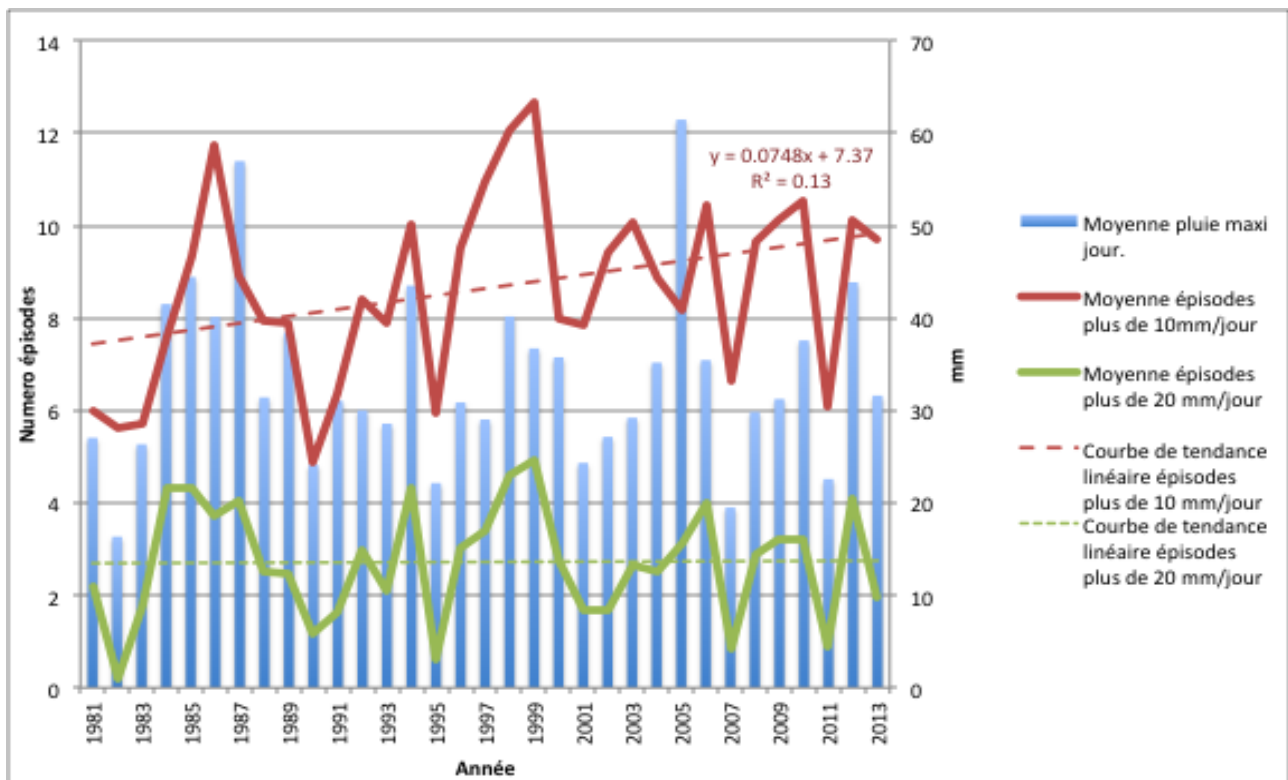


Figure 21 Distribution des pluies intenses, moyenne de pluie maximale journalière et épisodes de plus de 10 et 20 mm/jour, dans le mois de Septembre sur le grillage de la Moyenne et Haute Casamance (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

On observe dans le graphique une nette tendance à l'augmentation des jours avec au moins 10 mm de pluie soit si le signal est beaucoup irrégulière. Par contre soit les épisodes avec plus de 20 mm et la moyenne de la pluie maximale enregistrée pour chaque année ne fournissent pas une tendance si claire.

Pour ce qui concerne le risque de submersion des plants dans les bas fonds on peut dire qu'il manque une évidence claire sur la possibilité future d'avoir plus ou moins épisodes de submersion.

Toutefois la variabilité interannuelle est tellement forte que une prudence sur la possibilité de submersion des plantes et un général appel pour une plus atteinte gestion de l'eau de la rizière est recommandé pour éviter pertes de production.

Dans la Figure 22, avec la distribution spatiale de la valeur maximale enregistrée sur l'entier série disponible, on voit comment les épisodes les plus intenses se sont vérifiés dans la partie orientale de la région de Kolda, où on arrive à épisodes jusqu'à plus de 100 mm/jour dans le mois de Septembre.

Pour le reste de la région de la Moyenne et Haute Casamance les valeurs se situent entre 60 et 80 mm/jour. Dans le nord de la région de Sédhiou on enregistre les valeurs extrêmes les plus bas en arrivant à 45-50 mm/jour.

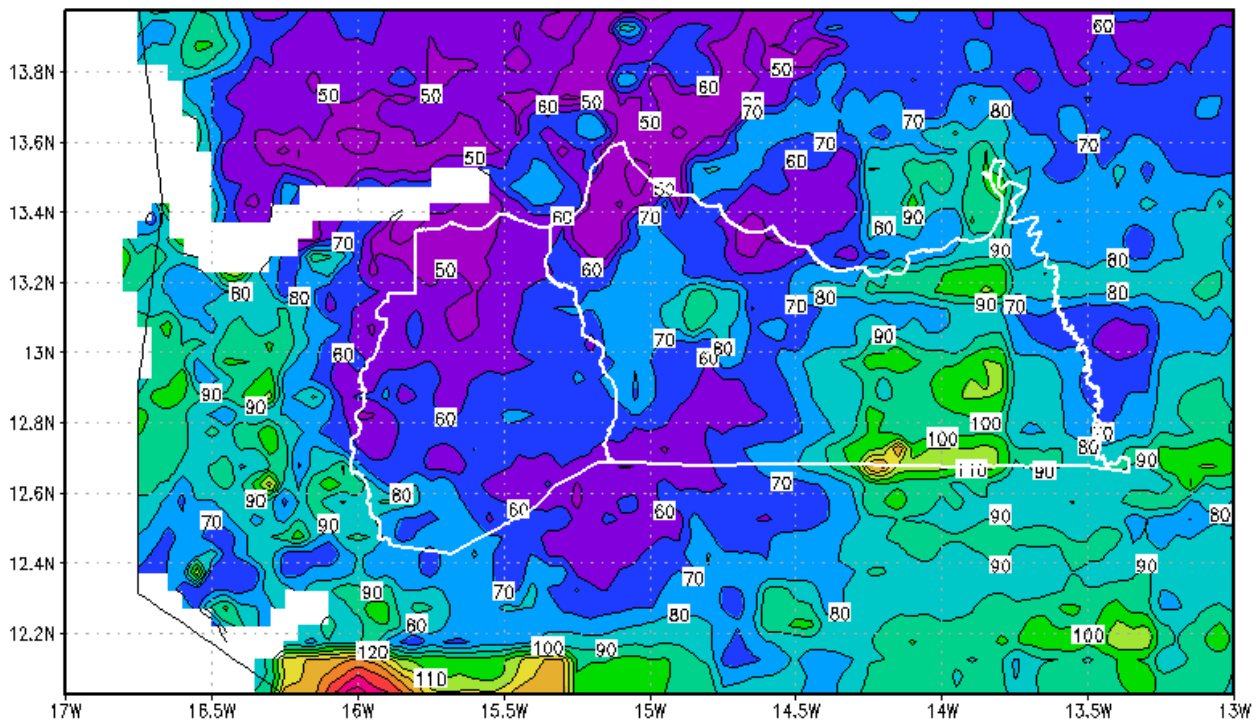


Figure 22 Valeur de pluie journalière maximale enregistrée sur la série 1981-2013 dans le mois de septembre (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

Si on regarde quelle est la tendance enregistrée au fil des ans pour ce qui concerne la valeur maximale de pluie journalière dans le mois de septembre on arrive à produire la carte suivante (Figure 23) avec la valeur du coefficient de régression linéaire calculé pour chaque pixel calculé sur la période 1981-2013.

L'image permet de visualiser les zones dans lesquelles il y a une tendance à l'augmentation de la magnitude des événements extrêmes, tel que pour la zone entre la région de Sédhiou et Kolda, et zones pour lesquels on observe par contre à une tendance à la diminution de l'intensité des épisodes extrêmes tel que pour la partie orientale de la région de Kolda.

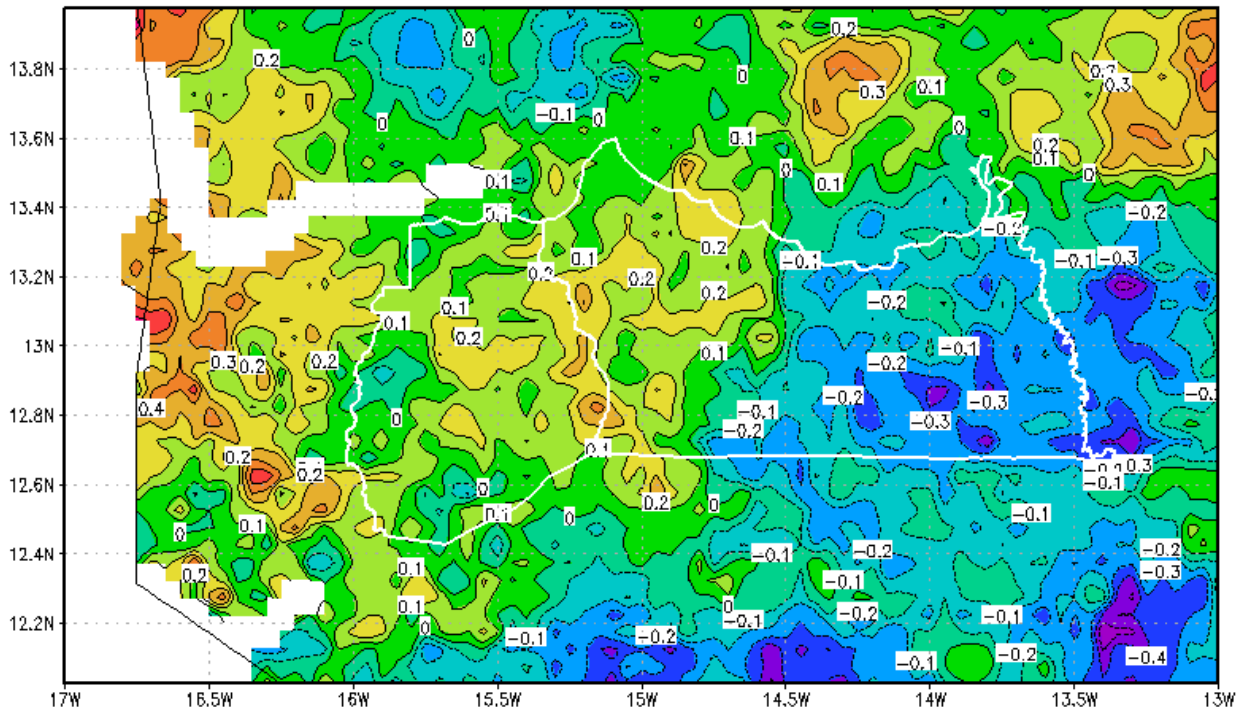


Figure 23 Distribution du coefficient de régression linéaire sur la série historique 1981-2013 du maxi de la pluie journalière (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

L'image donc veut représenter une information supplémentaire pour ce qui concerne l'alea climatique mais surtout offrir un support à la identification des zones les plus à risque.



## Probabilité de pluies intenses pour le mois de septembre

La probabilité de la récurrence des conditions extrêmes dans la région est évaluée par le période de retour calculé selon la méthodologie de Gumbel à 4 horizon temporel 2, 5, 10 et 20 ans.

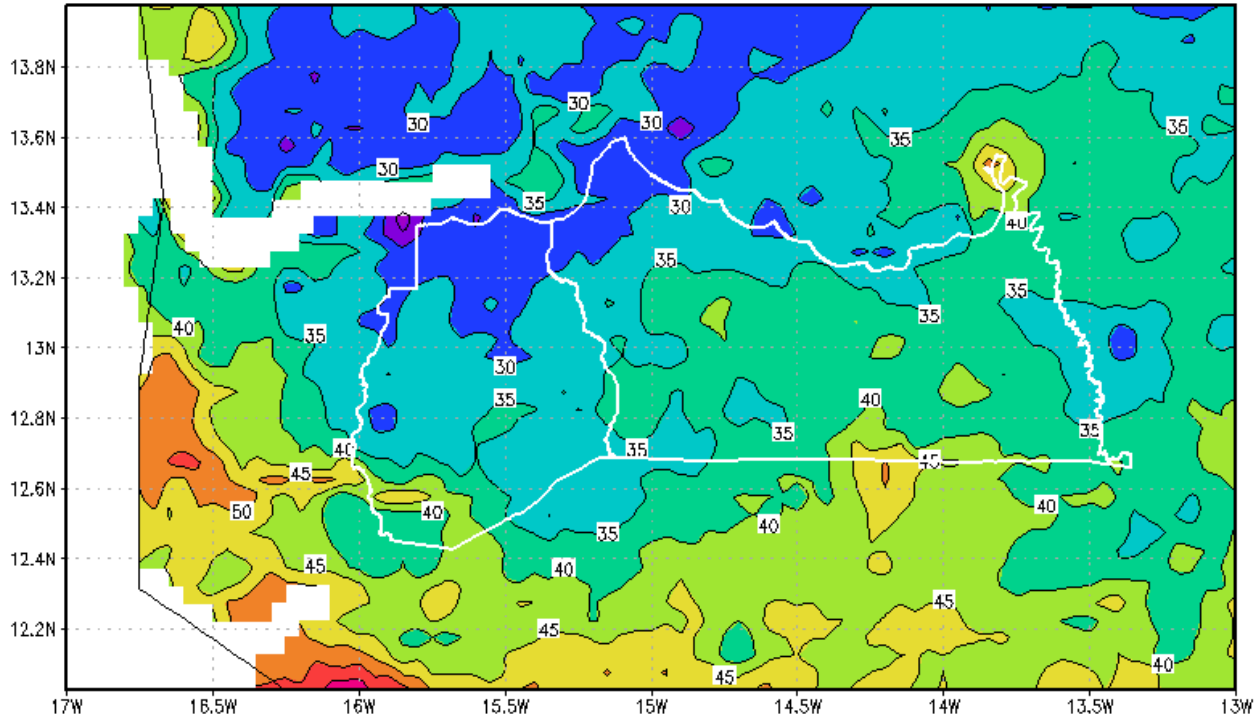


Figure 24 Pluie maximale journalière avec un période de retour de 2 ans (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

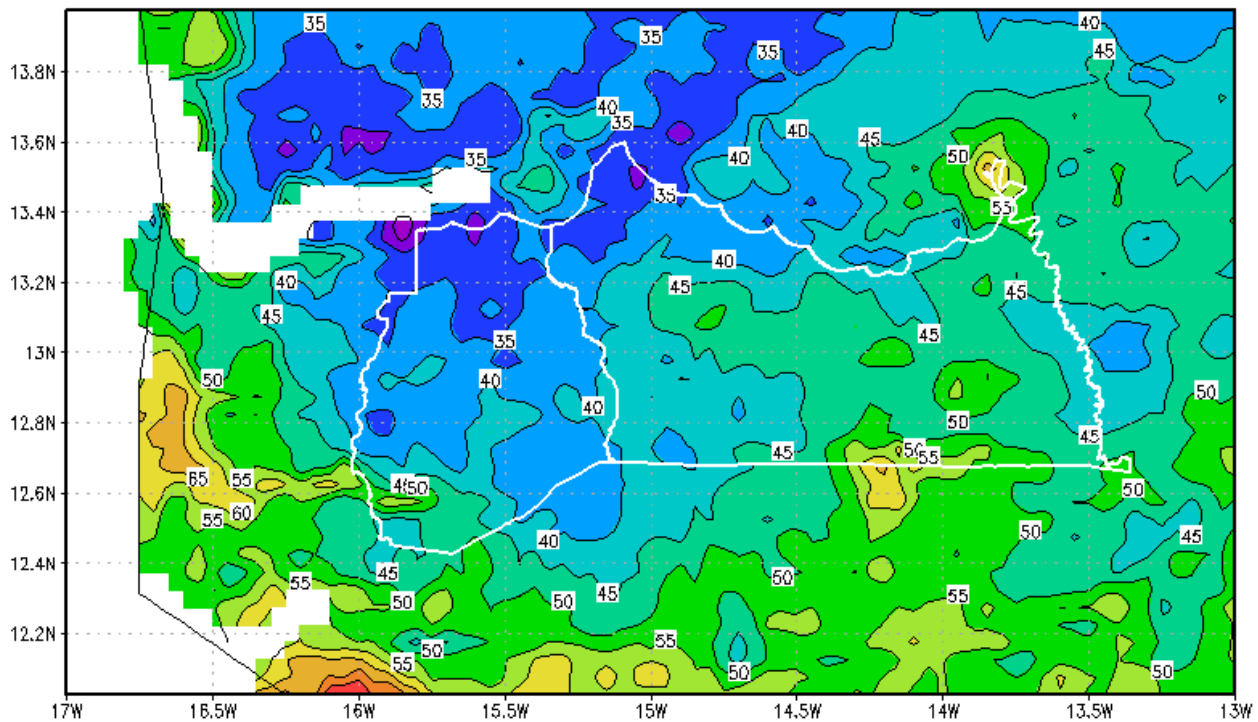


Figure 25 Pluie maximale journalière avec un période de retour de 5 ans (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)



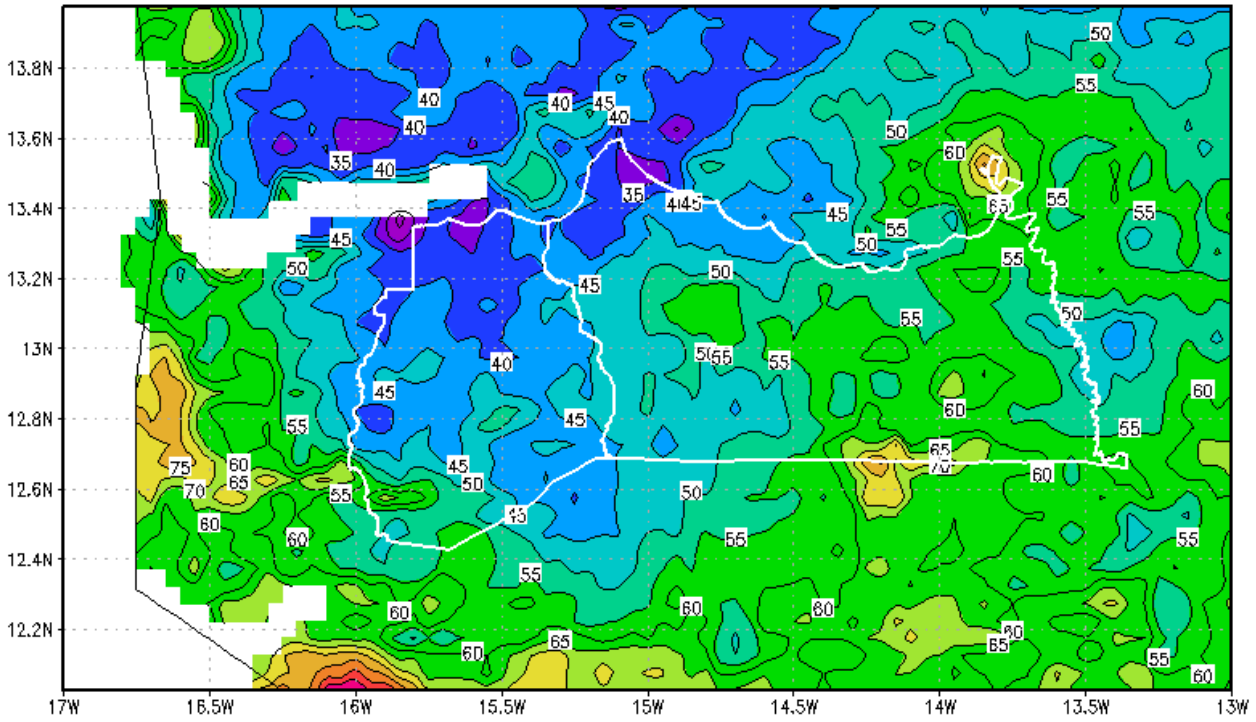


Figure 26 Pluie maximale journalière avec un période de retour de 10 ans (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

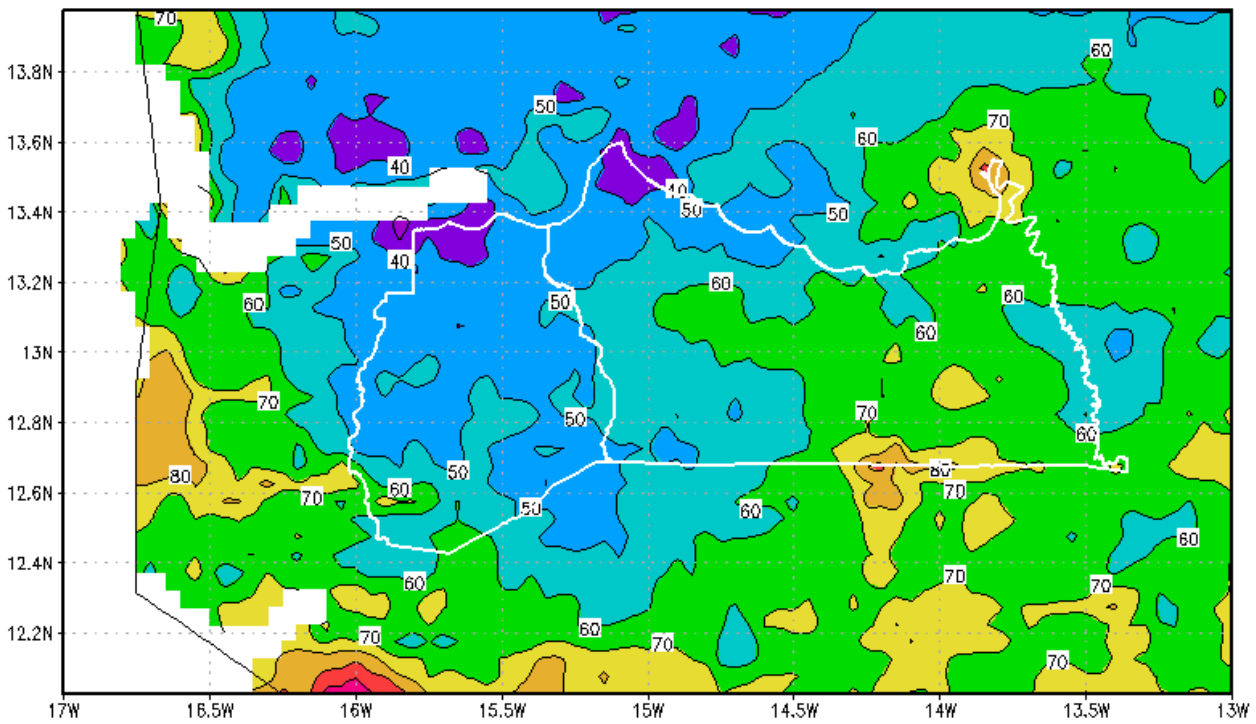


Figure 27 Pluie maximale journalière avec un période de retour de 20 ans (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

Comme pour autres paramètres décrits dans le document, on observe à travers les 4 sorties les valeurs en mm par jour qu'on peut s'attendre en futur.

Valeurs entre 30 et 40 mm par jour dans le mois de septembre sont à considérer comme normales selon le période de retour de 2 ans avec une distribution des valeurs les plus élevés dans la partie orientale de la région de Kolda.

Pour le période de retour de 20 ans on observe la même distribution spatiale des valeurs les plus élevées et on arrive à quantité entre le 40 et le 80 mm/jour.

## Octobre – La phase sensible de la floraison

Comme décrit dans l'introduction la floraison est une des périodes les plus sensibles de la culture du riz dans la Moyenne et Haute Casamance.

Les conditions de sécheresse aux stades de floraison et maturation sont fréquentes lorsque la saison des pluies est en avance. Le stress hydrique a des conséquences plus graves aux stades de montaison et de maturation qu'au stade de tallage, car il affecte directement les composantes d'absorption, c'est-à-dire le développement de la panicule et la formation du grain. Les pertes causées par un période de sécheresse prolongé pour plus de 10 jours dans ce période peuvent porter à une perte de rendement d'1 t/ha (Kanyarukiga, 1998)

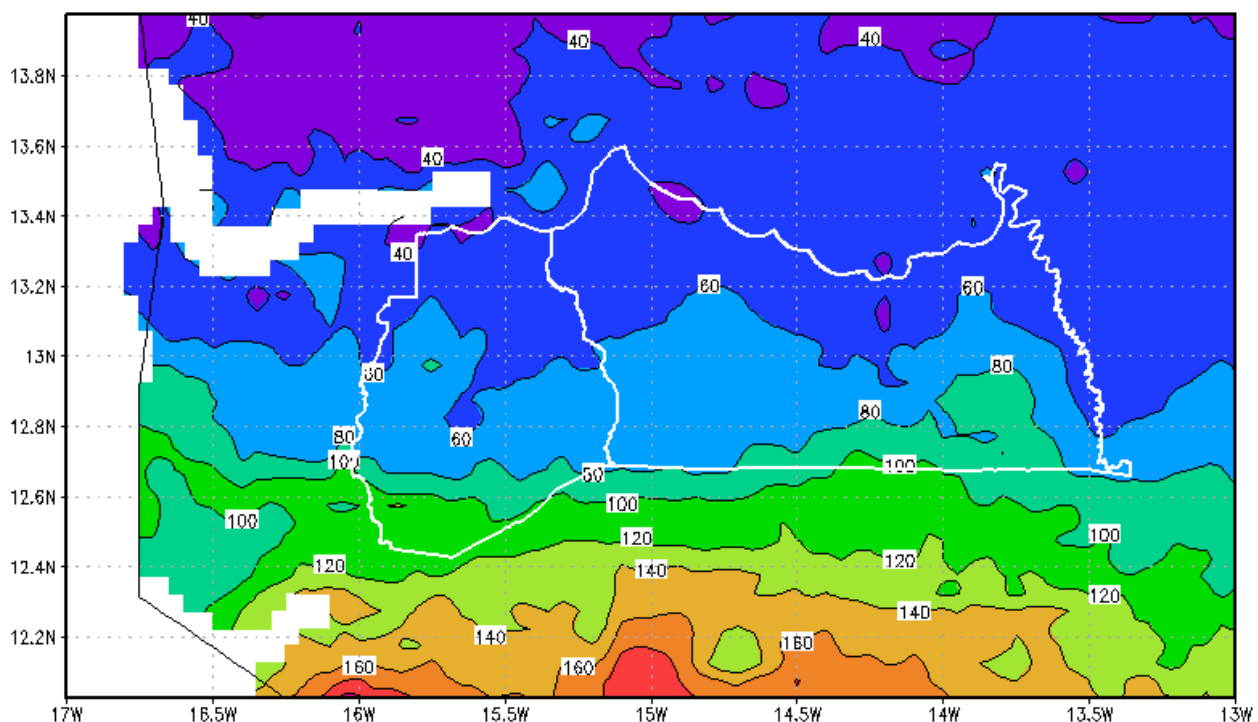


Figure 28 Pluviométrie moyenne mois de Octobre période 1981-2013 (Données: CHIRPS – élaboration M. Bacci)

Pour ce qui concerne la pluviométrie du mois d'octobre, comme décrit dans la Figure 28, la région de la Moyenne et Haute Casamance normalement offre de bonnes conditions de disponibilité d'eau pour la culture du riz.

Néanmoins la distribution des pluies au fil des années est très variable avec des périodes de sécheresse et arrêt précoce de la pluie (Figure 29).

On se concentre pourtant à l'évaluation de la récurrence des conditions de sécheresse et la tendance dans le temps pour le mois d'octobre.

En analysant la distribution de la pluie, on peut observer que l'amplitude enregistré dans la région est très large, du 20 mm pour le 1985 jusqu'au 145 mm pour le 1999. Les dernières 5 années se sont stabilisé sur une valeur moyenne de 50 mm et, si on considère la moyenne mobile à 5 ans, on voit comment après un période humide 2000-2010 maintenant on enregistre une tendance à la baisse en arrivant aux valeurs enregistrés dans les années '80.

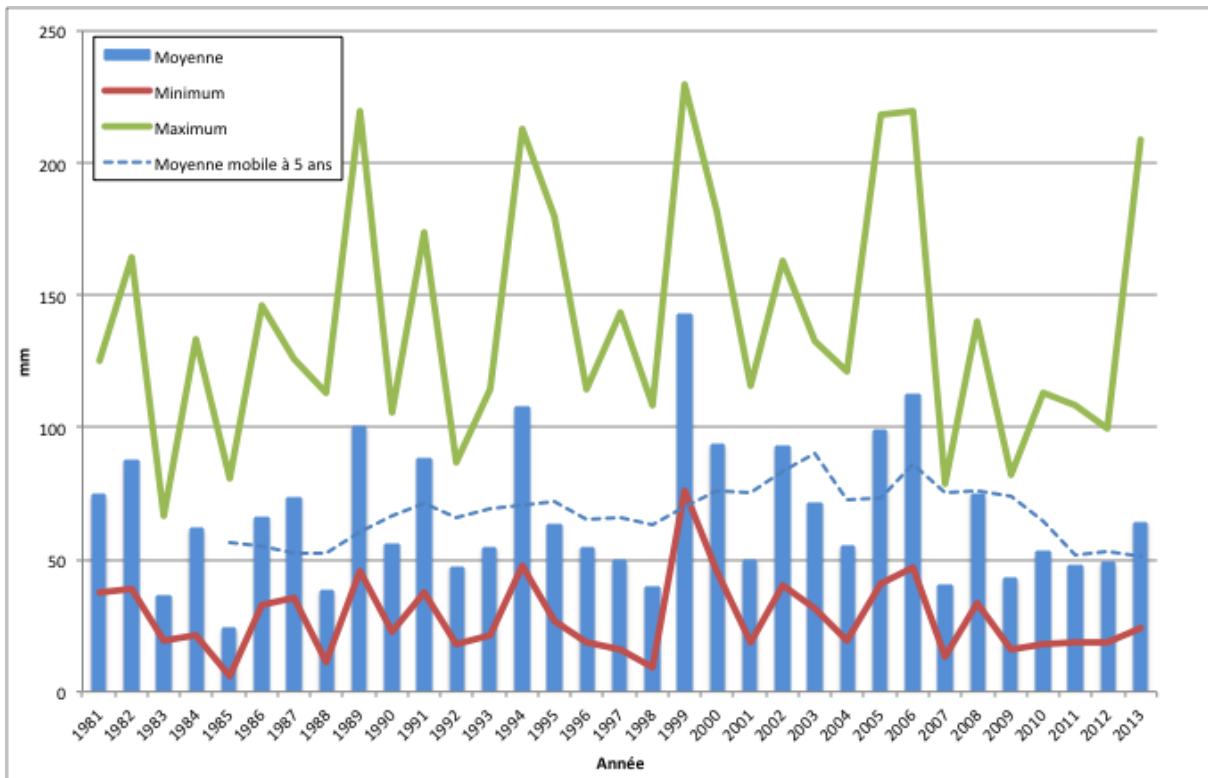


Figure 29 Distribution du cumul pluviométrique dans les mois d'octobre avec indication de la valeur minimale et maximale enregistré dans la Région de la Moyenne et Haute Casamance pour chaque année (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

Pour évaluer la distribution de la pluie on observe aussi la distribution moyenne pour la région de la Moyenne et Haute Casamance du numéro des jours secs et humides. Normalement on s'attend pour le mois d'octobre une dizaine de jours humides (plus de 1mm/jour) avec une variabilité entre 6 et 14 jours par mois (Figure 30).

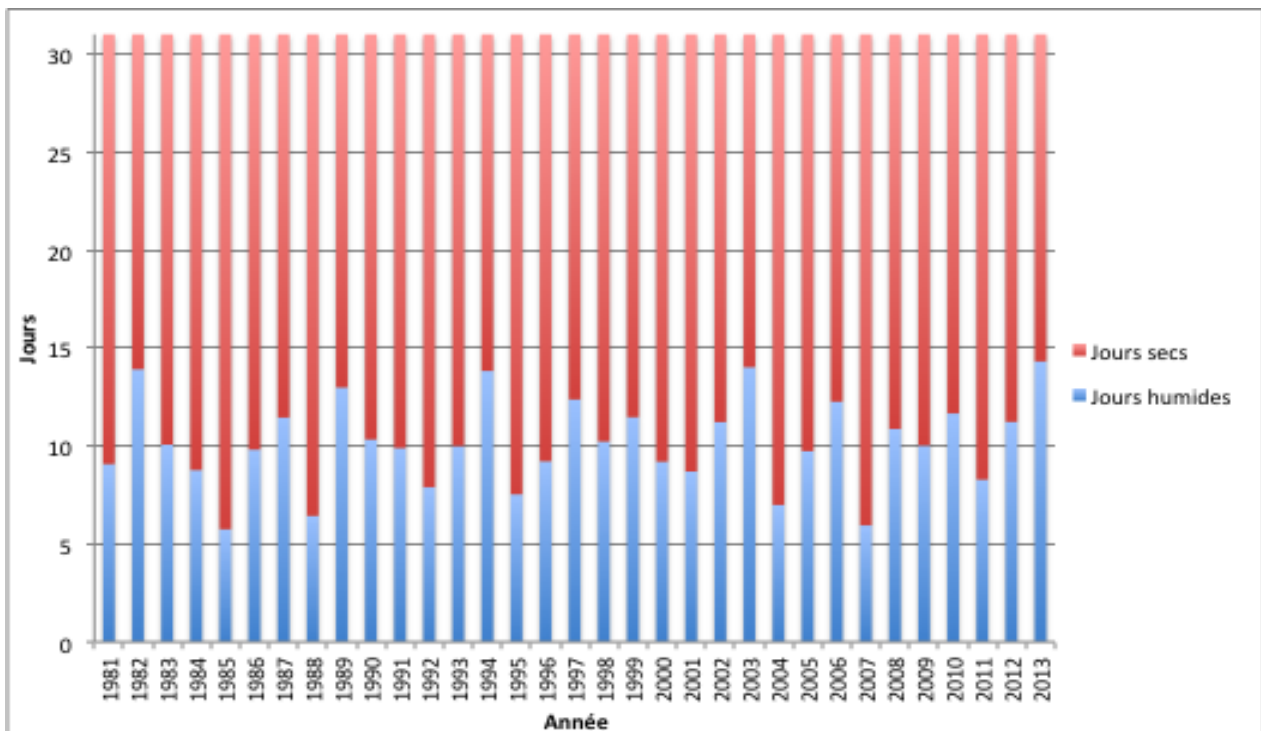


Figure 30 Distribution jours secs et humides dans le mois d'Octobre (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

Cette distribution temporelle est associée à une distribution spatiale des épisodes de sécheresse et en particulier pour les indicateurs de jours secs consécutifs et le numéro de périodes de plus de 5 jours secs (Figure 31 et Figure 32).

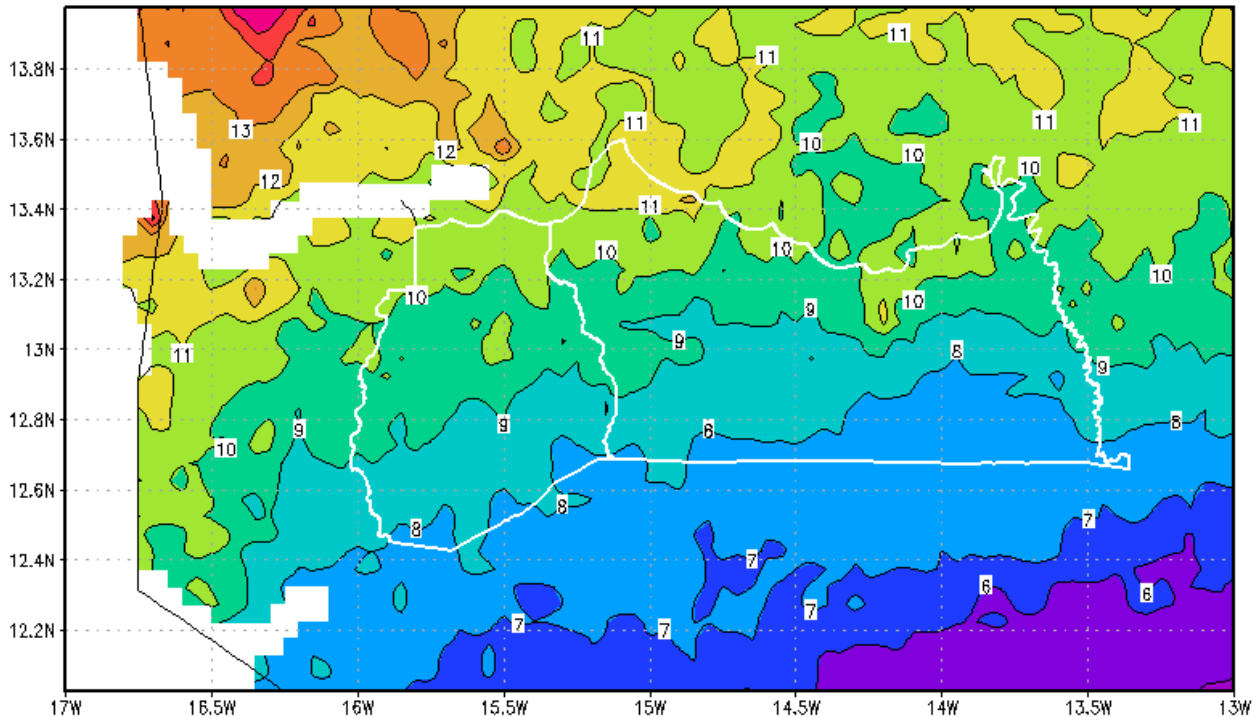


Figure 31 Numéro moyenne des jours secs consécutifs dans le mois d'octobre – 1981-2013 (Données CHIRPS – élaboration M. Bacci)

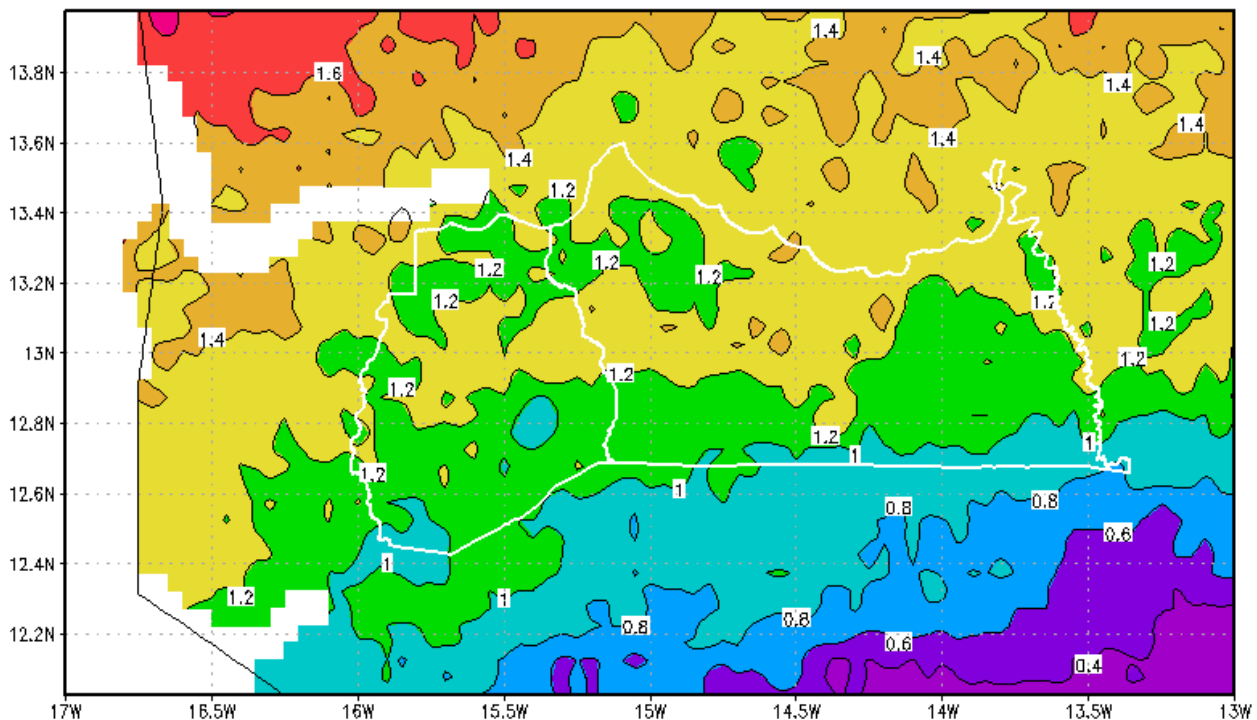


Figure 32 Numéro moyenne des périodes d'au moins 5 jours secs consécutifs pour le mois d'octobre par an – 1981-2013 (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

Par rapport aux mois de juin et juillet, pour octobre le paramètre à observer avec plus d'attention est la longueur maximale de jours secs. En effet une longue série consécutive de jours secs peut représenter la fin de la saison des pluies et pourtant supporter le complètement du cycle de maturation du riz et la successive récolte.

Donc si on va à voir la dynamique des jours secs pour le mois d'octobre on obtient la graphique suivante (Figure 33) avec la distribution normalisée des jours secs consécutifs et des périodes avec au moins 5 jours secs consécutifs.

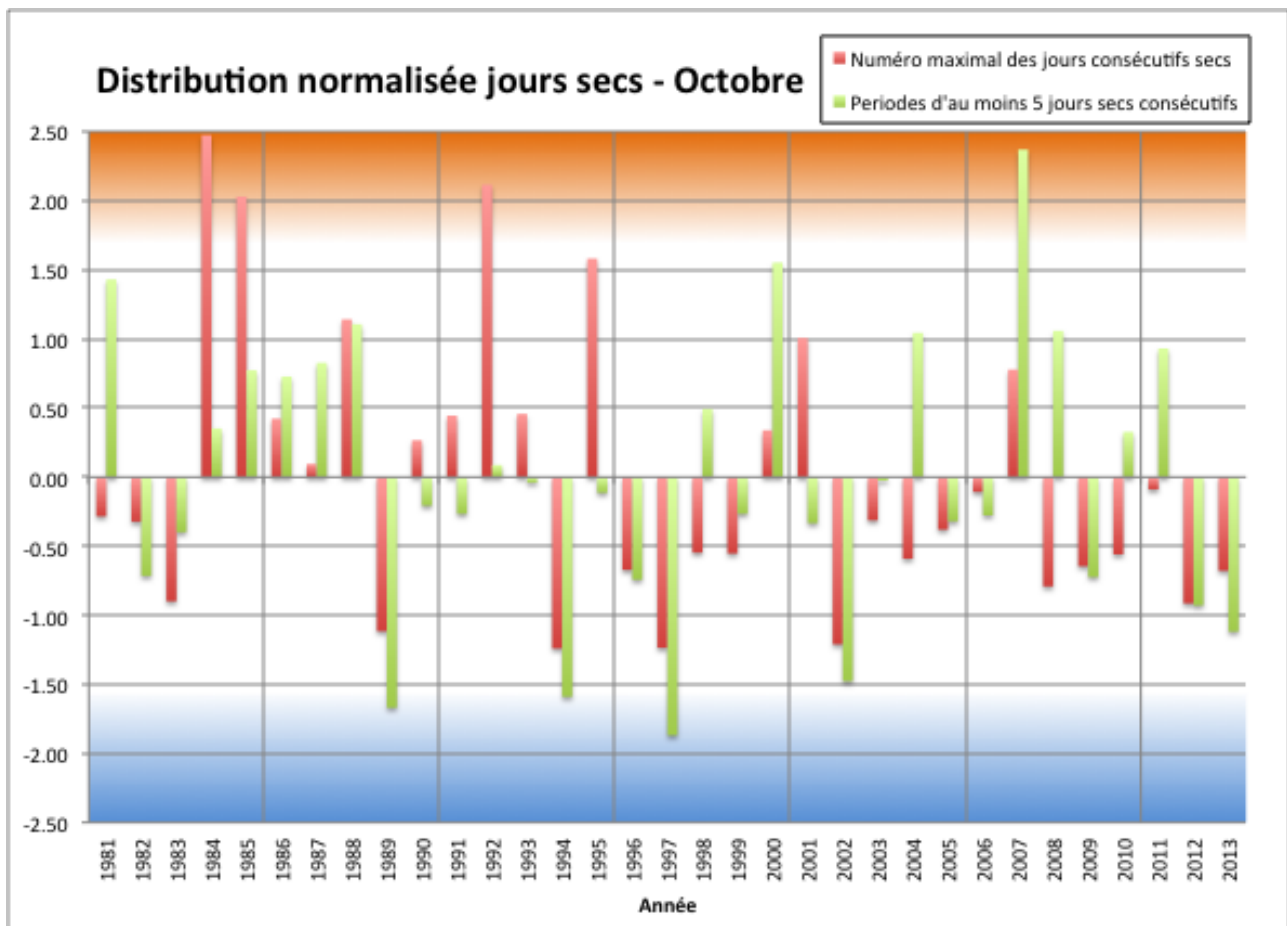


Figure 33 Distribution normalisée des jours secs du mois d'octobre (Données: CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

On observe une présence supérieure de longue série de jours secs consécutifs pour la période entre le 1981 et le 1995. Au delà de cette date on a une tendance à la baisse de la longueur maximale des périodes secs avec une distribution plus irrégulière du numéro de périodes de 5 jours secs consécutifs.

## Evaluation des conditions de sécheresse pour le mois d'octobre

Pour caractériser la probabilité de la présence de risques pour les cultures pour les conditions de sécheresse qui peuvent intéresser le mois d'octobre on utilise toujours la méthode du calcul des périodes de retour.

Comme décrit dans les chapitres précédents à travers cette méthodologie on veut estimer une probabilité associée à différents seuils. En particulier pour le mois d'octobre on a calculé le numéro de périodes de 5 jours secs consécutifs et le numéro maximal de jours secs consécutifs avec 2 et 20 ans de période de retour.



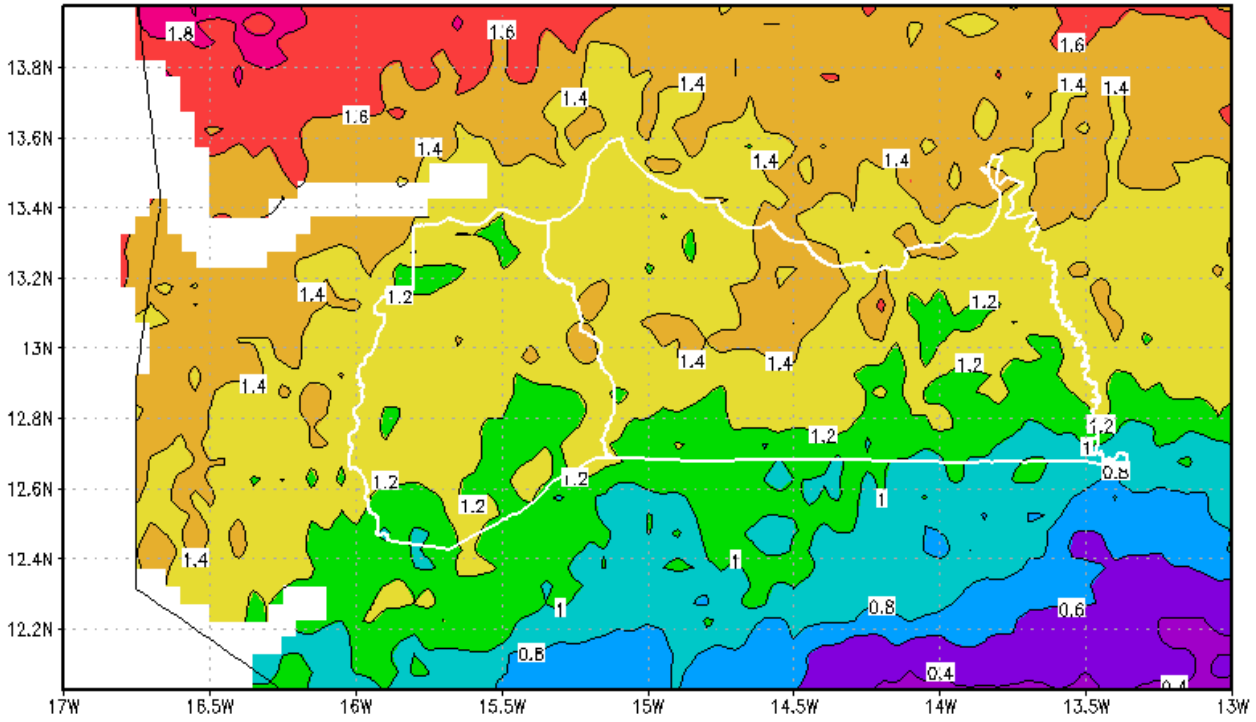


Figure 34 Numéro périodes de 5 jours secs consécutifs – Période de retour de 2 ans (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

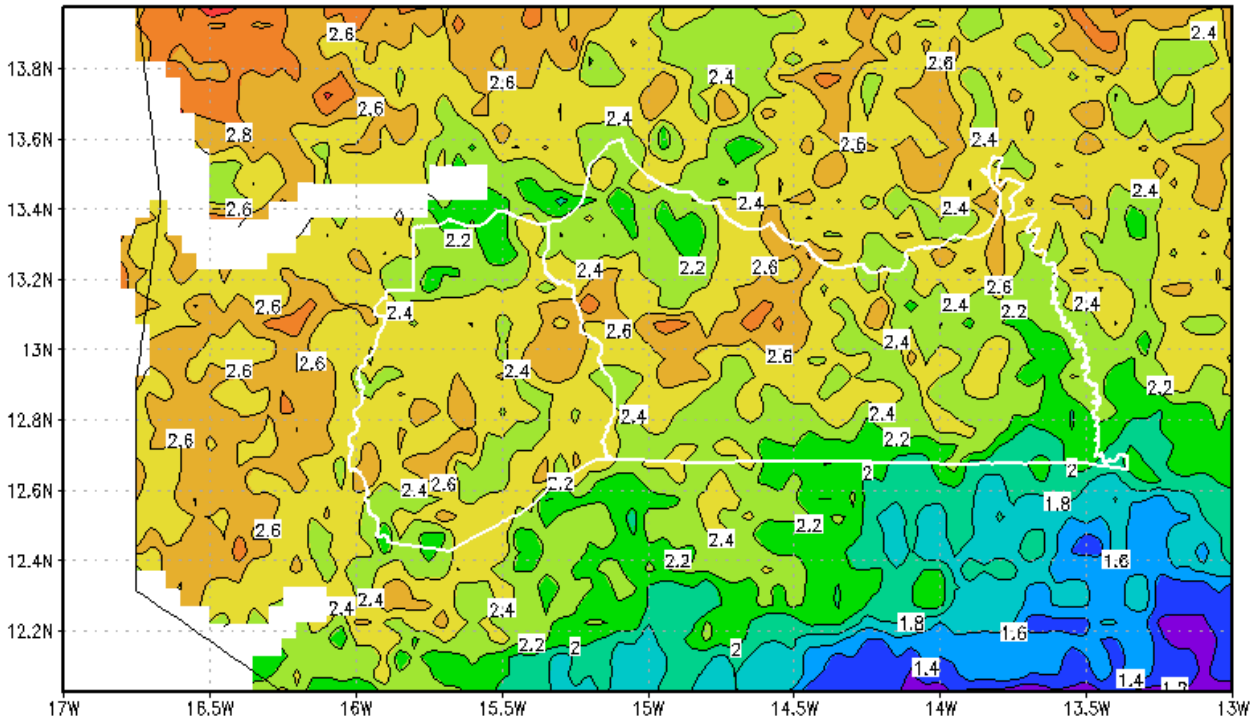


Figure 35 Numéro périodes de 5 jours secs consécutifs – Période de retour de 20 ans (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

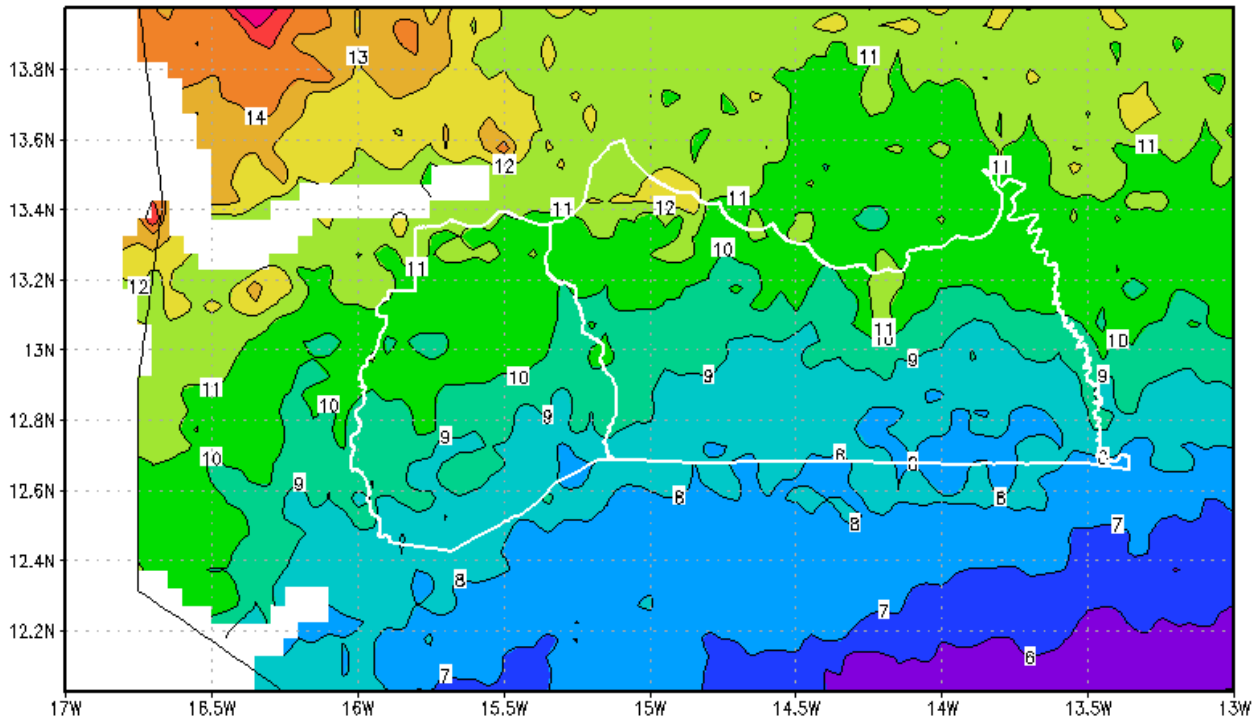


Figure 36 Numéro maximal de jours secs consécutifs – Période de retour de 2 ans (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

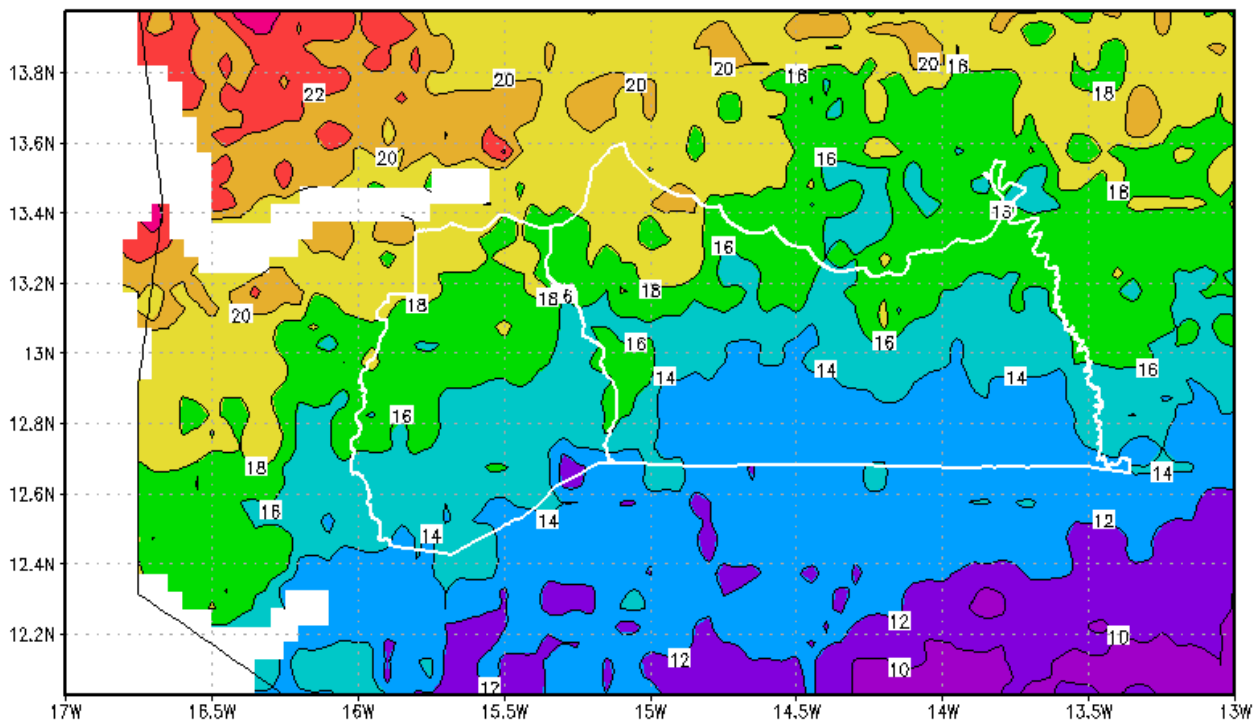


Figure 37 Numéro maximal de jours secs consécutifs – Période de retour de 20 ans (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

En regardant les sorties des analyses on peut constater comment la probabilité d’avoir en moyenne 1.2-1.4 périodes de 5 jours secs consécutifs par an est presque la normale, par contre sur l’horizon de 20 ans on peut s’attendre 2.4-2.8 périodes secs dans le mois avec une distribution plus ou moins homogène pour l’entier région de la Moyenne et Haute Casamance.

Pour ce qui concerne les épisodes de jours secs consécutifs on observe comment la probabilité d'avoir 9-11 jours consécutifs dans le mois d'octobre représente une condition normale, par contre si on observe le période de retour de 20 ans les valeurs arrivent à 14-20 jours. Dans le deux cas la distribution va suivre les isohyètes avec un gradient sud nord des conditions plus humides vers les plus secs.

## Les pluies intenses dans le mois d'octobre

La distribution des phénomènes de pluie intense enregistre une grande variabilité jusqu'aux 2004-2005, après on observe une atténuation des phénomènes et une tendance beaucoup plus régulière.

Les valeurs maximales dépassent rarement le 50 mm, en moyenne la valeur de la pluie maximale journalière dans le mois d'octobre s'atteste sur des valeurs comprises entre 10 et 20 millimètres.

L'absence de fortes pluies en fin de saison est un bon signal pour ce qui concerne le risque de la verse. Conjointement aux informations enregistrées sur la diminution des périodes secs et la tendance du déplacement de la fin de la saison vers le mois de novembre il semble que la période de l'arrêt des pluies, dans les dernières années, est plus stable en fournissant majeurs garanties pour les productrices de compléter le cycle de la plante soit si il y a un semis en retard.

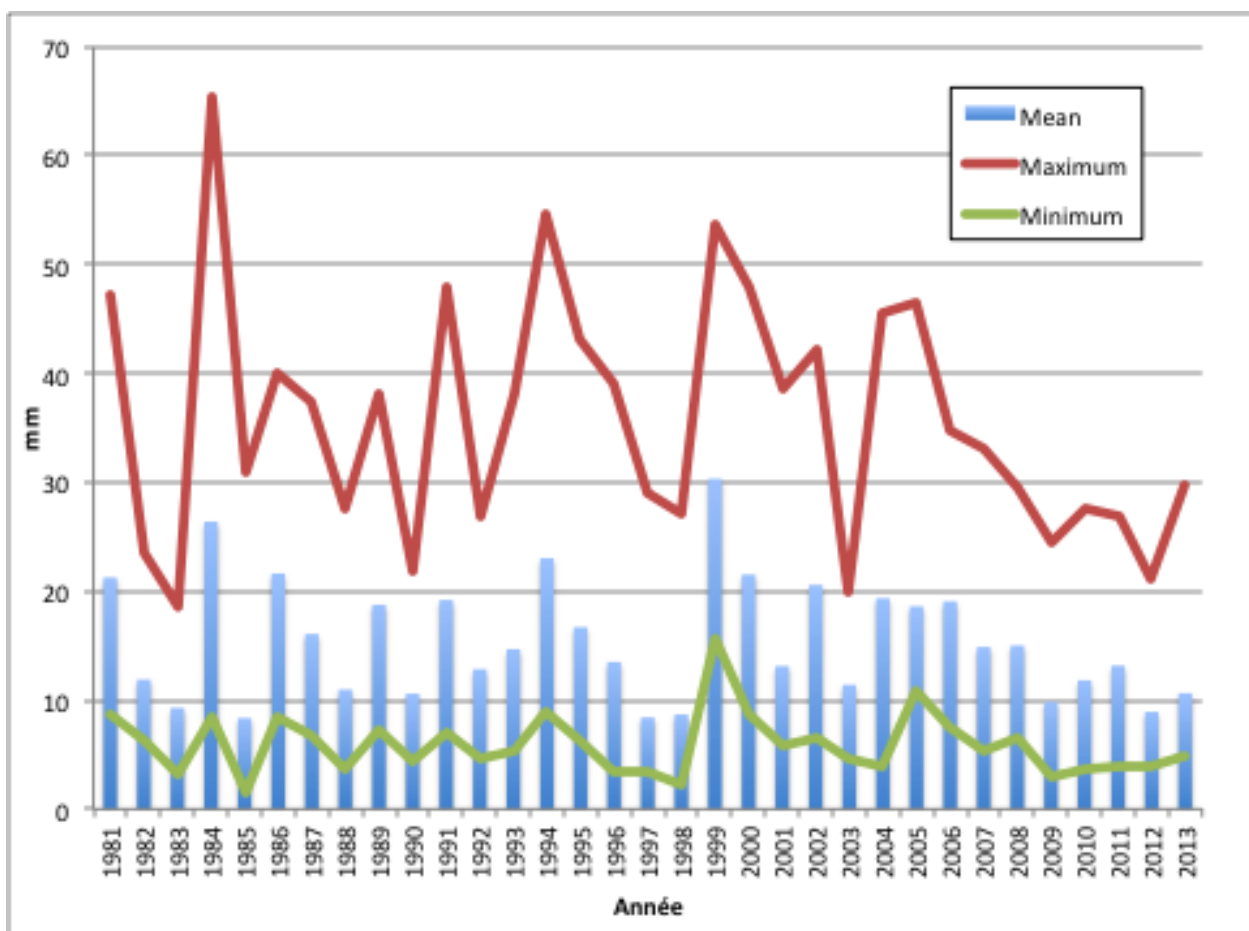


Figure 38 Valeur maximal de pluie journalier – Mini, maxi et moyenne sur la région de la Moyenne et Haute Casamance (Données CHIRPS – Elaboration M. Bacci)

## Saison agricole

---

La date des semis dépend des pluies et joue un rôle important dans l'amélioration des rendements du riz pluvial.

En littérature on trouve que :

- Le semis précoce assure une bonne implantation de la plante.
- Le semis précoce permet à la plante de bénéficier d'une plus grande quantité de pluie entre le semis et le remplissage du grain.
- Le semis précoce donne à la plante le temps suffisant pour une bonne croissance.
- Les plantes semées tardivement risquent de souffrir de la sécheresse et les rendements peuvent en être fortement réduits.

Le semis à sec peut être utilisé si la pluie est en retard par rapport aux dates normales. La germination des semences dépend de l'arrivée de la pluie et un retard inhabituel de celle-ci se traduira par une mauvaise densité de levée. De plus, une lutte efficace contre les adventices est indispensable.

Pour ces raisons le présent document donne particulier attention aux aspects liés à l'installation des cultures pluviales, telles que le riz de vallée, pour fixer d'un point de vue agronomique l'évolution dans l'espace et dans le temps des conditions favorables aux cultures.

### Début de la saison agricole

Le début de la saison est déterminé après la date du 1 mai dès qu'on enregistre un cumul pluviométrique de 20 mm pour 3 jours consécutifs et à condition qu'aucune série de plus de 7 jours secs ne soit observée dans les 30 jours qui suivent ce cumul (Sivakumar et al. 1991). Le choix de la période de contrôle de 30 jours permet de contourner les faux départs de la campagne agricole qui sont une contrainte à l'installation et au développement des cultures.

L'application de la méthode Sivakumar aux images journalières CHIRPS a permis la production des élaborations suivantes.

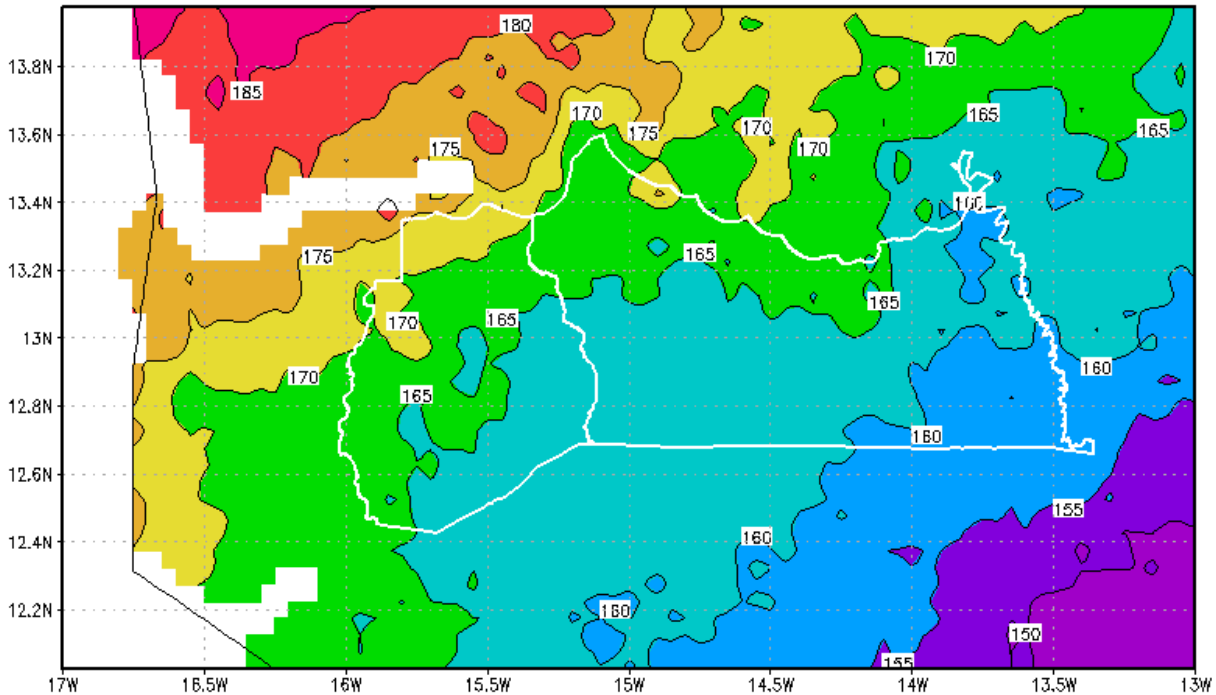


Figure 39 Début moyenne de la saison des pluies (jour julien 160= 9 juin ; 170=19 juin) - 1981-2013 (Données CHIRPS –Elaboration M.Bacci)

Pour la région de la Moyenne et Haute Casamance le début moyenne de la saison des pluies se place normalement entre 5 juin et le 25 juin avec des variations annuelles qui peuvent arriver, comme dans le cas de l'année 2014 à installations très tardives de la pluie dans le mois de juillet.

A côté de l'information du début moyenne de la saison, on a calculé la tendance avec le coefficient régression linéaire de la distribution (Figure 40).

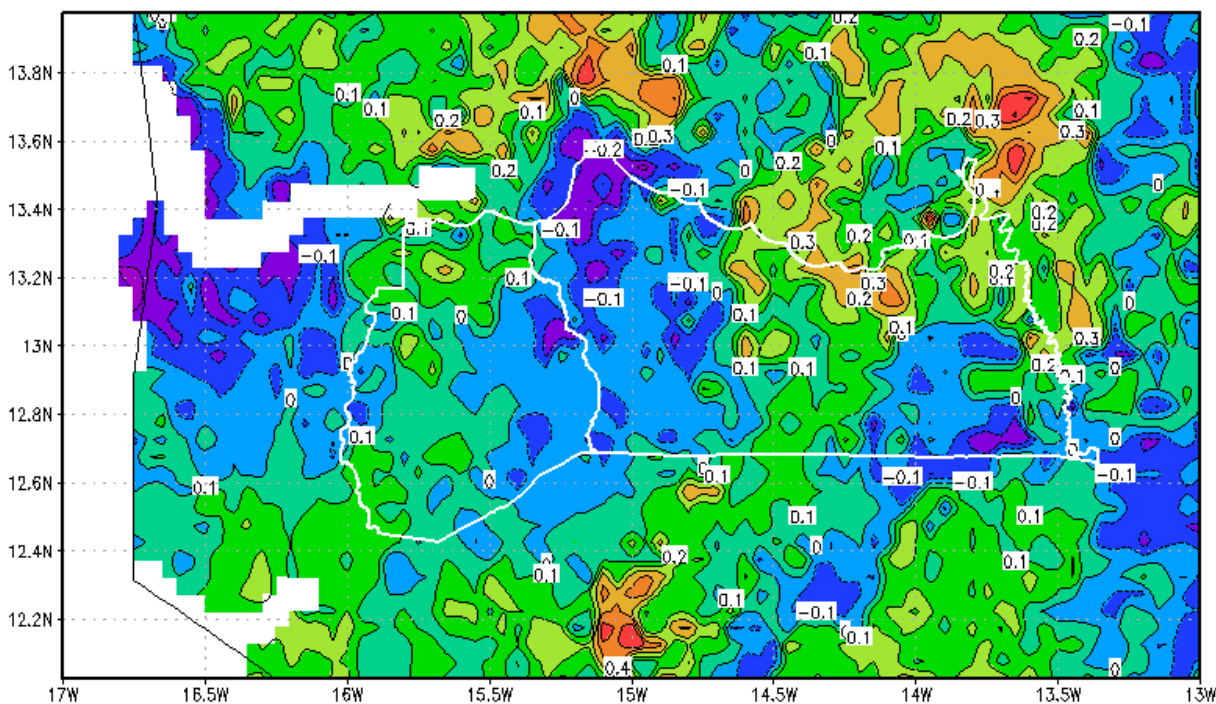


Figure 40 Coefficient de régression linéaire début moyen de la saison culturale – 1981-2013 (Données CHIRPS –Elaboration M.Bacci)

Il faut dire que pour le début de saison il n'y a pas un clair signal dans la région. Les valeurs se placent entre le -0.2 et le +0.2 avec une distribution très irrégulière. En confirmant donc les conclusions du rapport du climat sur l'entier Sénégal (Bacci et al. 2013) pour l'installation de la saison de pluies au moment actuelle il n'existe pas une claire configuration de la tendance du phénomène.

## Fin de la saison agricole

La date de fin de la saison agricole est déterminée en partant du 1<sup>er</sup> septembre quand le contenu du sol de 60 cm de profondeur est nul avec une évapotranspiration journalière de 5 mm (Maikano, 2006). Pour prendre en compte les dernières pluies, utiles pour la production de cultures, dans le calcul du CGP, la capacité de rétention d'eau du sol a été fixée à 100 mm après Traore' et al. (2000) plutôt que 60 mm proposées par Maikano (2006) en concordance avec l'approche suivie par Loudoun et al. (2013). Avec les images CHIRPS a été possible donc de déterminer pour chaque année de la date de fin de la saison agricole (Figure 41).

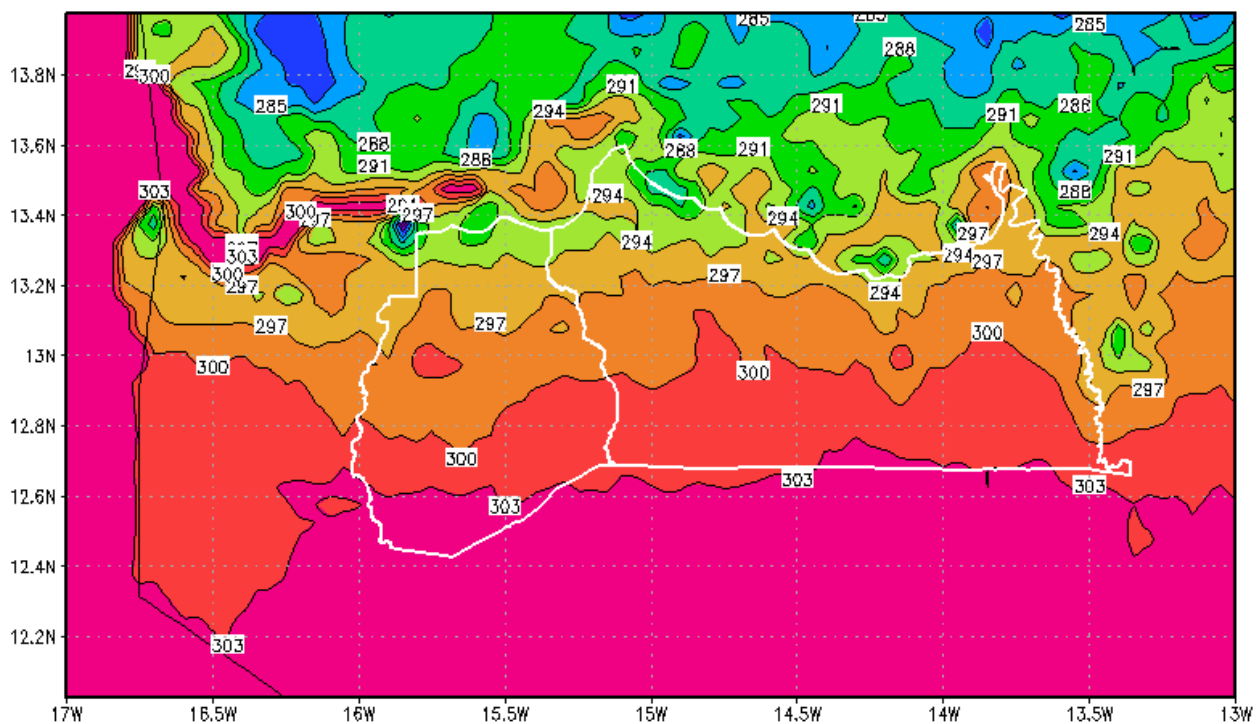


Figure 41 Fin moyenne de la saison (jour julien 290 = 17 oct. 300= 27 oct.) – 1981-2013 (Données CHIRPS –Elaboration M.Bacci)

Dans la région de la Moyenne et Haute Casamance on observe qu'on arrive jusque à la fin d'octobre pour ce qui concerne la fin moyen de la saison et pourtant d'avoir des conditions optimales pour la récolte à partir du mois de novembre.

Comme pour le début de saison on a calculé pour cet indicateur le coefficient de régression linéaire calculé sur la période 1981-2013.

Le résultat est une uniforme tendance à l'augmentation du jour julien de fine campagne donc un déplacement vers la fin du mois d'octobre. Cela nous confirme les tendances observées avec les données de station et nous rassure sur la possibilité de compléter le cycle des cultures soit en conditions de départs tardifs de la saison.



Il faut dire que le déplacement de la saison agricole comporte aussi des aspects négatifs pour les productrices. En effet un prolongement des conditions favorables au développement du riz dans la vallée avec un retard de maturation et récolte, peut engendrer problèmes pour ce qui concerne les pertes dues à la divagation des animaux et des conflits avec les éleveurs.

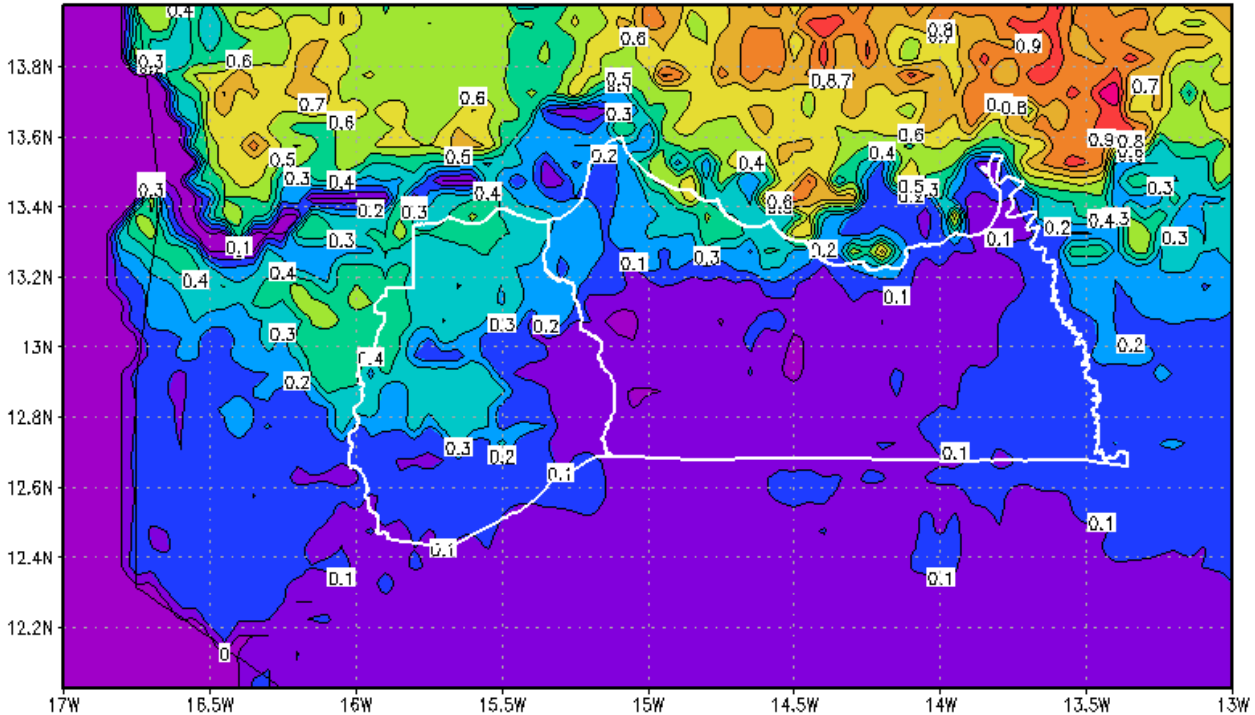


Figure 42 Coefficient de régression linéaire de la fin de la saison – 1981-2013 (Données CHIRPS –Elaboration M.Bacci)

## Longueur de la saison agricole

La longueur de la saison agricole est calculée par différence entre la date de début et de fin de la saison. Pour chaque année on a donc l'information des jours disponibles au riz pour compléter le cycle.

En moyenne, comme on peut observer dans la Figure 43, pour la Moyenne et Haute Casamance on s'atteste sur les 120-140 jours de longueur.

La longueur moyenne de la saison donc est cohérente avec le cycle des variétés du riz utilisées dans la zone. Pour comprendre si dans le futur on aura des probabilités majeurs ou inférieures de ne boucler pas le cycle on a calculé la tendance sur l'entière série historique (Figure 44).



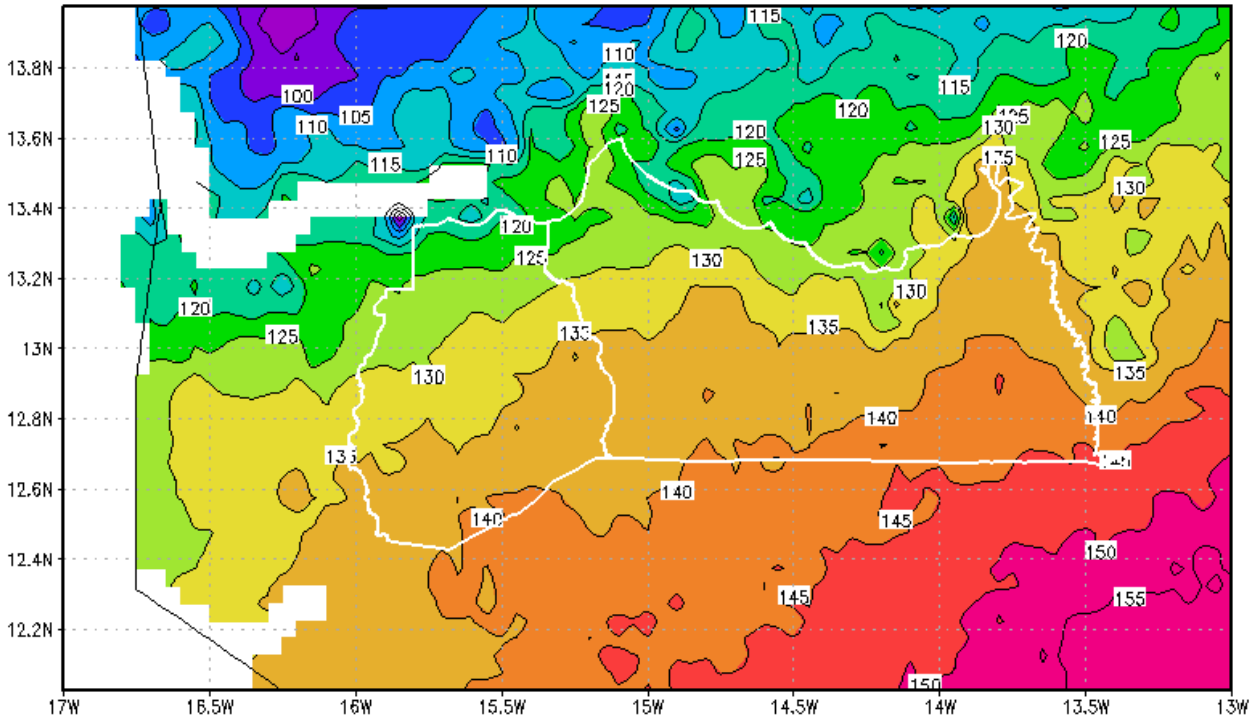


Figure 43 Longueur moyenne de la saison des pluies (jours) - 1981-2013 (Données CHIRPS –Elaboration M.Bacci)

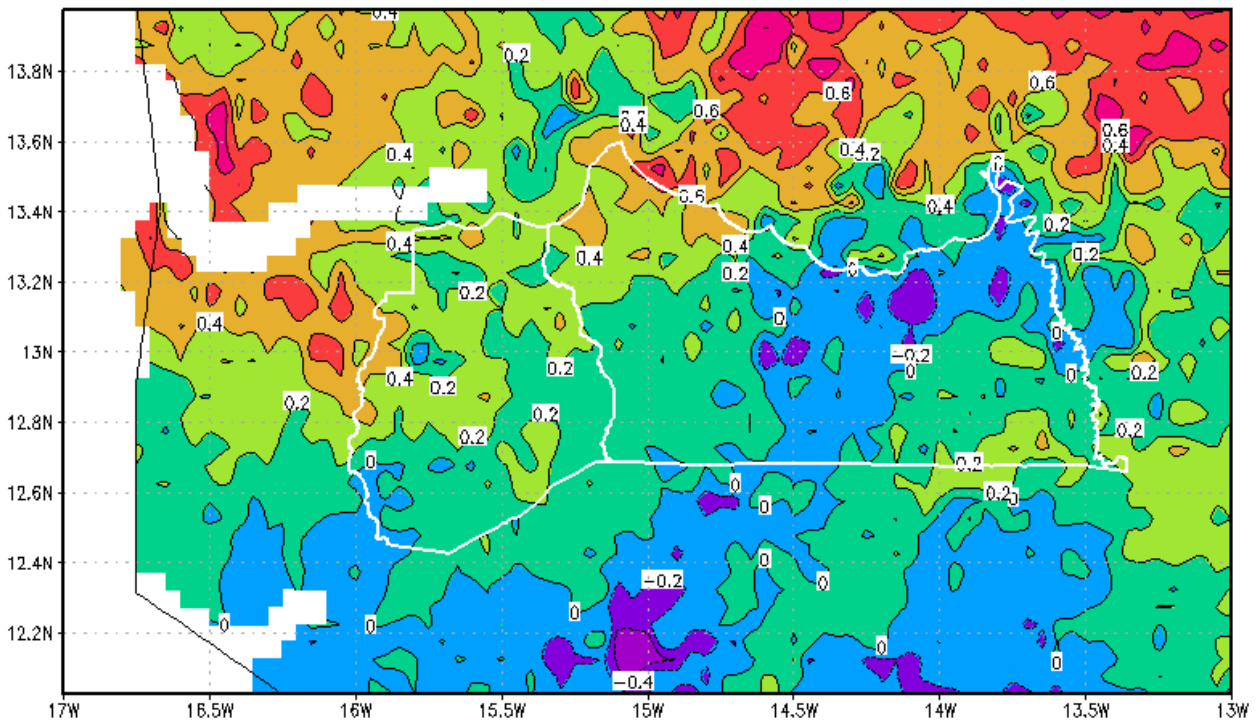


Figure 44 Coefficient de régression linéaire de la longueur de la saison – 1981-2013 (Données CHIRPS –Elaboration M.Bacci)

En général pour la Moyenne et Haute Casamance on observe une légère tendance à l'augmentation des jours de la longueur de la saison. En particulier dans la région de Sédhiou on observe les valeurs maximales sur l'entier domaine d'étude en arrivant à un coefficient d'augmentation calculé de 0.4 jours par an.

## Conclusion et perspectives

---

La caractérisation agro météorologique que ressorte du présent document vise à fournir des éléments pour la prise de décision dans le secteur agricole et, en particulier, pour ce qui concerne la riziculture de vallée dans la région de la Moyenne et Haute Casamance.

L'emploi d'un jeu de données d'estimation de pluie qui utilise le satellite avec l'intégration des données de terrain fournisse un résultat promettent en montrant un cadre cohérente avec les sorties du précédent document sur la caractérisation climatique du Sénégal produit dans le cadre du programme PAPSÉN (Bacci et al. 2014). Ça nous encourage dans l'utilisation de cette méthode pour l'application pratique sur nos cas d'études.

Avec le zoom sur le sud du Sénégal et la possibilité de focaliser l'attention sur les aspects les plus importants pour la bonne réussite de la production du riz, le document fournit tout une série d'informations quantitatives utiles aux agriculteurs et aux décideurs politiques. L'ajoute du calcul de la probabilité du période de retour des évènements extrêmes et l'individuation des tendances observées du climat pourront supporter les choix variétaux et agronomiques et pour guider dans l'optimisation de la production agricole. Le but final est que ces caractérisations pourront être utilisées comme outils de diagnostic climatique destinés à remplacer les indicateurs liés à l'analyse des seules moyennes annuelles.

La prochain étape est l'une évaluation quantitative de l'impact des aspects déterminantes la production agricole avec des données de production agricole sur une longue série historique pour les croiser avec les différents aspects du climat afin d'évaluer la liaison entre chaque variable et les impacts effectifs sur la production. Pour ce qui concerne les analyses à méso échelle, tel que le présent rapport, il est difficile d'utiliser les statistiques agricoles distribués par l'Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD) du Sénégal parce que ils ne discernent pas la production de la riziculture de plateau et la production de la riziculture de vallée. Cet aspect devient essentiel si on veut produire une analyse de la vulnérabilité de la production agricole locale aux aléas climatiques.

Dans un cadre d'incertitude des projections climatiques de la distribution de la pluie en Afrique de l'Ouest et en particulier pour le Sénégal, l'approche du document se base sur l'évaluation de la probabilité de récurrence des évènements extrêmes pour mieux supporter des choix stratégiques qui impliquent l'investissement économiques à bref et moyen terme. Donc les analyses du rapport représentent une guide pour encadrer le climat de la Casamance et fournir un aide concrète aux différentes exigences des productrices, des groupements, les décideurs politiques et la communauté scientifique en général pour ce qui concerne le processus de planification du choix variétaux et pour l'évaluation de la substitution du riz avec cultures plus appropriés pour les conditions climatiques futures.

Pour ce qui concerne la température, et les analyses qu'on en peut tirer, on n'a pas à disposition à nos jours une information en détail des relevés de température de la région et une manque de références bibliographiques pour les impacts dans la production rizière de vallée. Les prochaines activités du Programme PAPSÉN, avec l'installation des capteurs météorologiques dans les deux vallées vitrines dans la région de Sédhiou, permettront de démarrer une collecte d'information capable de fournir une meilleure caractérisation des conditions microclimatiques de la rizière et des effets de la température sur la production annuelle.

## Bibliographie

---

Bacci M., Diop M., Pasqui M. 2013 Climat - Encadrement climatique et évaluation du changement climatique dans les régions d'étude - Rapport n°6 Décembre 2013 - Programme d'Appui au Programme National d'Investissement en Agriculture du Sénégal (PAPSEN)

[http://www.papsen.org/data/files/PAPSEN\\_Climat\\_MB\\_low.pdf](http://www.papsen.org/data/files/PAPSEN_Climat_MB_low.pdf)

Funk, C.C., Peterson, P.J., Landsfeld, M.F., Pedreros, D.H., Verdin, J.P., Rowland, J.D., Romero, B.E., Husak, G.J., Michaelsen, J.C., and Verdin, A.P. 2014 - A quasi-global precipitation time series for drought monitoring: U.S. Geological Survey Data Series 832, 4 p., <http://dx.doi.org/10.3133/ds832>.

Gumbel, E.J. 1954. Statistical theory of extreme values and some practical applications. Applied mathematics series 33. U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards.

Lodoun, T., Giannini, A., Traoré, P. S., Somé, L., Sanon, M., Vaksman, M., & Rasolodimby, J. M. (2013). Changes in seasonal descriptors of precipitation in Burkina Faso associated with late 20th century drought and recovery in West Africa. *Environmental Development*, 5, 96-108.

Kanyarukiga, S. G., & Ngarambe, V. (1998). Wetland Characterization and Classification for Sustainable Agricultural Development. Food and Agriculture Organization.

<http://www.fao.org/docrep/003/x6611e/x6611e00.htm>

Maikano, I., 2006. Generate prototype WCA recommendation maps for selected sorghum (8) and millet (8) cultivars based on updated end-of-season dates (PRODEPAM, activity). Rapport de stage. Institut International de Recherche sur les Cultures des Zones tropicales semi-arides (ICRISAT/Bamako).

Manzelli M., Bacci M., Fiorillo E., Tarchiani V. 2013 Diagnostique de la riziculture de bas-fonds dans la région de Sédhiou Rapport n° 2 Septembre 2013 - Programme d'Appui au Programme National d'Investissement en Agriculture du Sénégal (PAPSEN) -

[http://www.papsen.org/data/files/PAPSEN\\_VALLEES\\_MM\\_301013.pdf](http://www.papsen.org/data/files/PAPSEN_VALLEES_MM_301013.pdf)

Recensement général de la population et de l'habitat, de l'agriculture et de l'élevage (RGPHAE) 2013 - Ministère du Plan, Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD) du Sénégal

Manzelli M., Seppoloni I., Bacci M., Fiorillo E., Tarchiani V. Zucchini E. 2015 Analyse socio-économique et agrotechnique de la riziculture de vallée. Le cas des vallées Samiron et Djimbana Rapport n° 7 Février 2015 - Programme d'Appui au Programme National d'Investissement en Agriculture du Sénégal (PAPSEN)

Sivakumar, M.V.K., 1991. Drought Spells and droughts frequencies in West Africa, Research Bulletin no. 13, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.

Traoré, S.B. , Reynier, F.N., Vaskman, M., Koné, B., Sidibé, A., Yorote, A., Yattara, K., Kouressy, M.,2000. Adaptation a la sécheresse des écotypes locaux de sorgho du Mali. *Sécheresse* 11,227-237.





Programme d'Appui  
au Programme National d'Investissement  
de l'Agriculture du Sénégal

[www.papsen.org](http://www.papsen.org)



Consiglio Nazionale  
delle Ricerche



Institut Sénégalais de  
Recherches Agricoles