

Modèle EPIC: Simuler la production agricole annuelle

Dans le bassin de la Mékrou

Date : 28/08/2017.

Auteurs : composante scientifique du projet Mekrou

Introduction

Le modèle EPIC permet d'estimer la production annuelle d'une ou plusieurs cultures en considérant les pratiques agricoles et les scénarios climatiques (avec un forçage des scénarios AFR-44 CORDEX).

Le domaine CORDEX AFRICA (AFR-44) a une résolution de 0.44° sur la zone d'intérêt de la Mékrou. 2 différents scénarios sont disponibles: RCP4.5 and RCP8.5. Un total de 47 stations ont été dérivées afin de couvrir la zone d'intérêt de la Mékrou avec des données de 1986-2100 (scénario utilisé à partir de 2006). Les données météorologiques utilisées ont une résolution temporelle journalière et les paramètres suivants : Précipitation, Température min et max journalière, humidité relative, vitesse des vents et radiation solaire.

L'objectif de cette analyse est d'estimer la variabilité de la production agricole annuelle en fonction des facteurs climatiques.

La variabilité de la production agricole annuelle avec EPIC

La variabilité de la production agricole dépend de plusieurs facteurs dont les plus importants sont les facteurs climatiques et de gestion de la culture. Le facteur climatique est généralement central dans le cas de l'agriculture pluviale où les variables climatiques, températures et précipitations affectent la croissance de la culture. En détails, la distribution des précipitations est importante, ainsi que le début et la fin de la saison de pluie dans le cas de la région de la Mékrou. Au niveau des pratiques agricoles, un autre facteur important est le niveau de fertilisation, en particulier dans la zone sub-saharienne où celui-ci niveau est souvent très faible. En effet, la disponibilité des nutriments contrôle le cycle de la croissance de la culture. Une faible fertilisation à long terme peut affecter la fertilité des sols.

Le modèle EPIC estime la productivité agricole en incluant 2 principaux facteurs limitants : la disponibilité des nutriments pour la culture et le stress hydrique.

Plusieurs scénarios peuvent être développés autour de ces deux types de paramètres: agriculture pluviale avec un stress nutriments très élevé, moyen et inexistant, ou /et agriculture irriguée avec un stress nutriments très élevé, moyen et inexistant. EPIC estimera la productivité agricole ainsi que le nombre de jours de stress hydrique durant la période végétative de la culture. EPIC peut être paramétré avec un niveau de fertilisation fixe afin de mieux comprendre l'influence de la précipitation sur la productivité annuelle.

La première culture analysée est le Maïs car c'est une des cultures dominante dans la zone d'intérêt de la Mékrou ainsi que pour la sécurité alimentaire de celle-ci. Cette culture est également sensible aussi bien au niveau de fertilisation qu'aux apports en eau.

A noter que la productivité du Maïs peut être très variable d'une année sur l'autre. Par exemple **BASELINE : Productivité annuelle du Maïs à Banikoara**

Dans les conditions du scénario Baseline/courant (Scénario climatique RCP4.5, agriculture pluviale et faible/actuelle fertilisation = 3kg de N /ha), la productivité du maïs fluctue entre -15% et +15% autour de la moyenne sur la période 2000-2030. La précipitation se situe entre 768 mm et 1612 mm par an avec une moyenne annuelle de 1060 mm pour la période 2000-2025. La fertilisation appliquée actuellement est très faible (3kg N/ha) d'où le fait que la disponibilité des nutriments est le facteur limitant, dans ce cas. Cependant, un effet du stress hydrique sur la productivité peut être observé au moins durant les années sèches (Figure 1): les années avec un nombre de jours ou est observé un stress hydrique (calculé par EPIC) correspond aux années où les rendements sont les plus faibles. C'est/ce sera le cas pour 2005, 2007, 2013, 2014, 2017, 2025-2028.

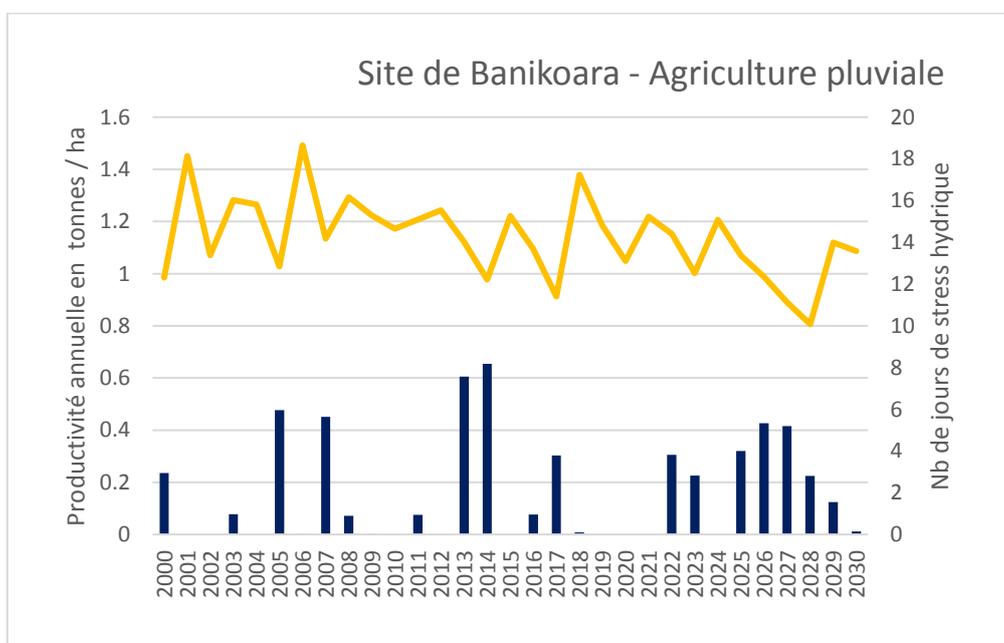


Figure 1. Productivité annuelle de la culture du Maïs à Banikoara sur la base d'une agriculture pluviale et très faible fertilisation (Baseline) pour la période 2000-2030 (La ligne jaune correspond la productivité, les barres bleues le nombre de jours en stress hydrique durant la saison végétative).

SIMULATIONS pour le MAIS

Le maïs est généralement cultivé pendant la saison des pluies. De ce fait, la productivité du maïs est d'abord affectée par la fertilité des sols (et l'utilisation de fertilisants). En paramétrant EPIC avec un niveau de fertilisation fixe et moyen, il est possible d'estimer et de comprendre la sensibilité de la productivité du maïs à la précipitation.

Paramètres:

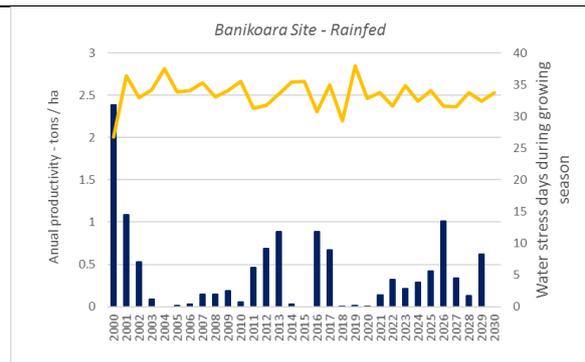
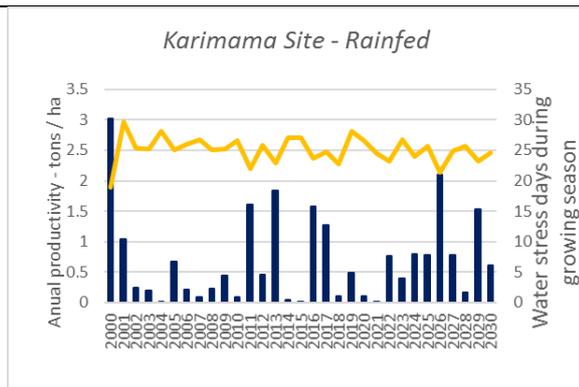
- Scénario RCP 4.5 de 2006 et suivant
- Agriculture pluviale (selon distribution actuelle)

- Fertilisation fixe = 40 kg N/ha (stress azoté-N modéré autorisé)
- Période 2000-2030

Simulations: Productivité annuelle du Maïs par commune (Figure 2):

- **Karimama:** La productivité annuelle varie entre -25% et +18% par rapport à la moyenne estimée de 2.5 tonnes/ha sur la période 2000-2030. Le nombre de jours calculé de stress hydrique affectant la productivité est compris entre 0 et 30 (médiane de 14 jours). Le stress hydrique le plus important se produit/est prévu en 2000, 2011, 2013 et 2026 avec une réduction importante des rendements.
- **Banikoara:** La productivité annuelle varie modérément, entre -21% et +12% par rapport à la moyenne estimée de 2.5 tonnes/ha sur la période 2000-2030. Le nombre de jours calculé de stress hydrique affectant la productivité est compris entre 0 et 32 mais avec une moyenne de 5 jours.
- **Pehunco :** La variabilité de la productivité annuelle est très limitée et oscille entre -17% et +14% sur la période 2000-2030. Le nombre de jours calculé de stress hydrique est très faible avec seulement quelques années où sont calculés des jours avec stress hydrique.
- **Bottou :** La simulation indique une variabilité annuelle comprise entre [-23%, +23%] par rapport à une moyenne estimée de 2.7 tonnes/ha. Le stress hydrique est assez important et prévu pour la plupart des années simulées avec un nombre maximum de jours de stress de 31 quand la moyenne est à 7 jours avec stress hydrique.
- **Kirtachi :** La variabilité est moins importante que les autres communes avec une fluctuation de la productivité comprise entre [-13%, +13%]. Le niveau de rendements les plus faibles se produit en 2000 et 2011, ce qui correspond également au nombre le plus important de jours de stress hydrique.

Maïs



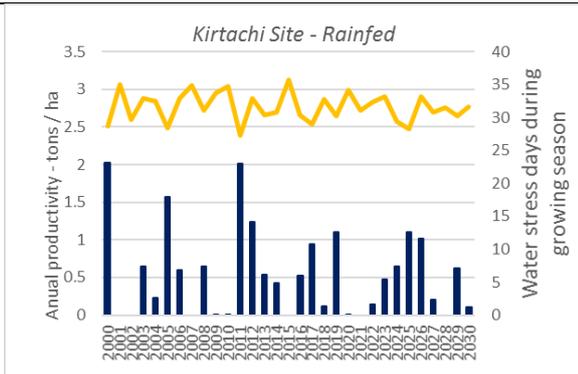
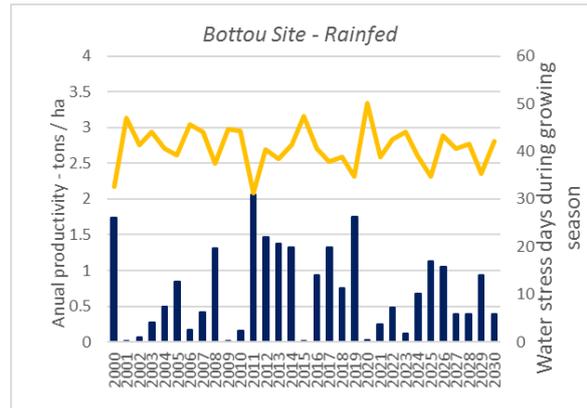
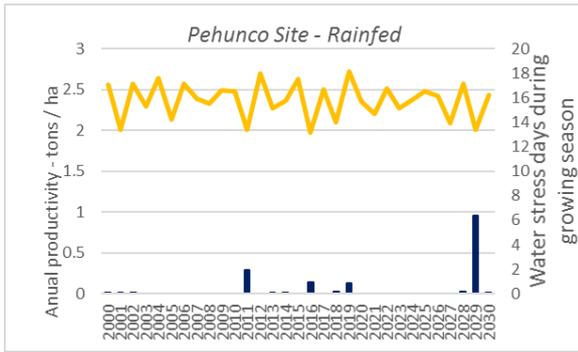


Figure 2. Productivité annuelle de la culture du maïs pour différentes communes estimées pour une agriculture pluviale et une fertilisation fixe et modérée pour la période 2000-2030.

SIMULATIONS pour d'autres cultures

Comme pour le maïs, cette analyse cherche à monter l'impact des conditions climatiques sur la productivité agricole (en plus d'autres facteurs comme la balance annuelle des nutriments du sol)

Parametres:

- Scénario RCP 4.5 pour 2006 et après
- Agriculture pluviale (selon distribution actuelle)
- Fertilisation fixe = 40-70 kg N/ha (Stress modéré autorisé)
- Période 2000-2030

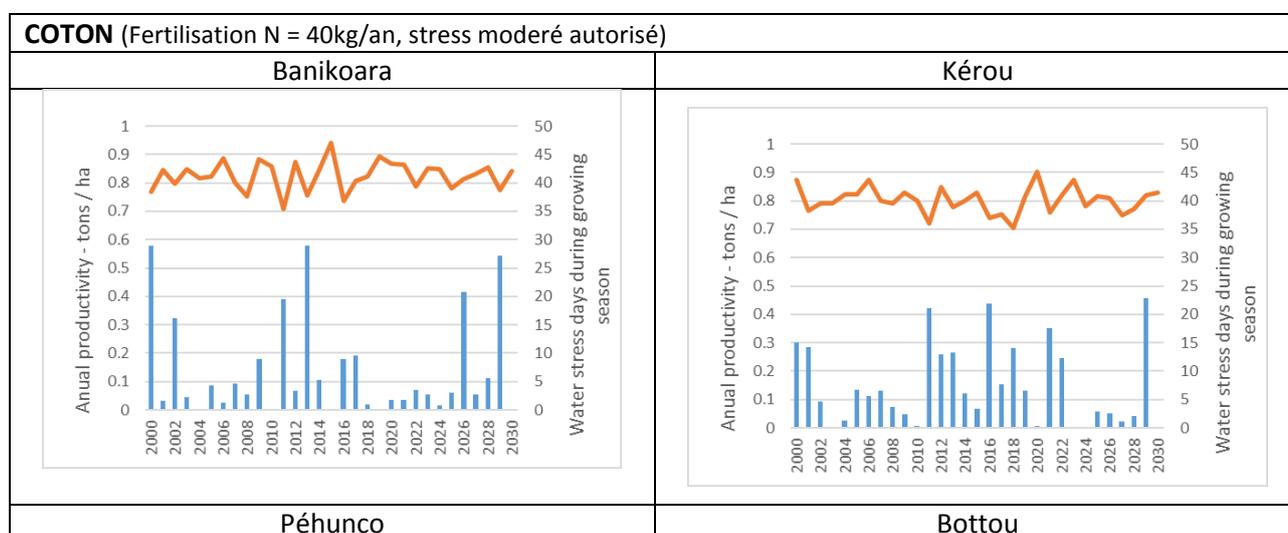
Les graphiques de la figure 3 présente la productivité du coton, des légumes, du sorgho, igname et riz dans des communes de la zone d'intérêt de la Mékrou, et indiquent le niveau de productivité annuelle (line jaune) et le niveau de stress hydrique (barres bleues).

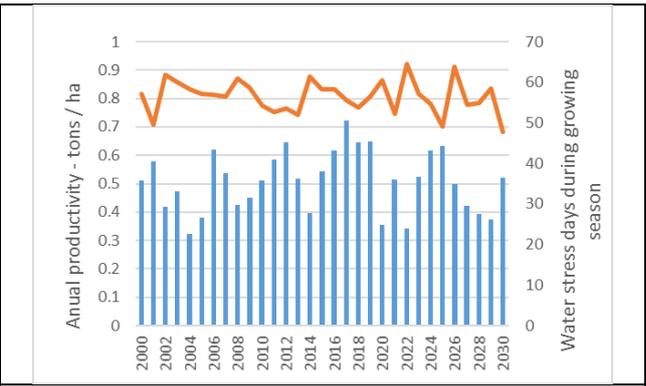
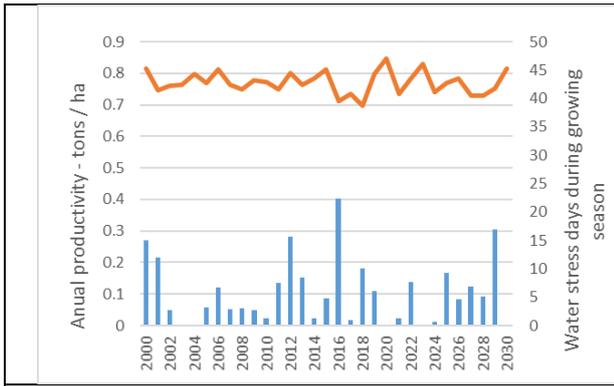
Dans le cas du coton, une importante variabilité peut être observée dans toutes les communes de la Mékrou: étant plus marquée dans les communes de Bottou et Banikorara [-16%, +13%], et moins importante pour Kérou et Pèhunco. Bottou est la commune qui doit faire face à un plus grand stress hydrique.

La variabilité de légumes est très élevée et surtout dans les communes de Karimama, Bottou et Kirtachi (pouvant atteindre -60% en terme de rendement). Il s'agirait également de prendre en compte le fait que les cultures de légumes bénéficient généralement d'irrigation de complément surtout si elles se situent en bordure de rivière (non simulé dans cette section).

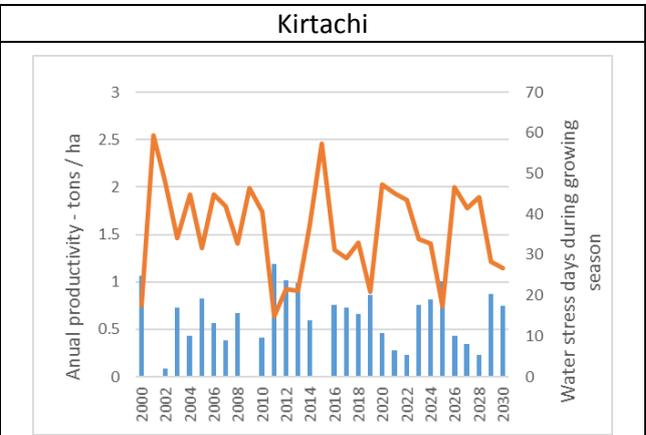
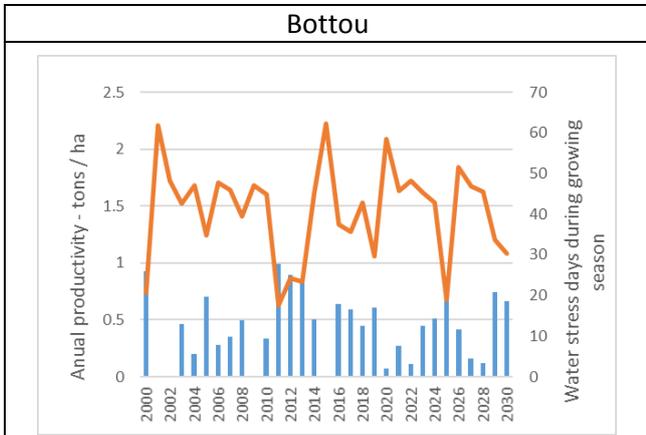
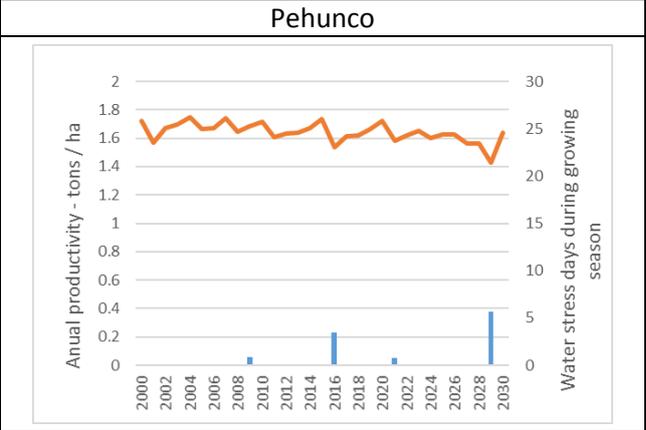
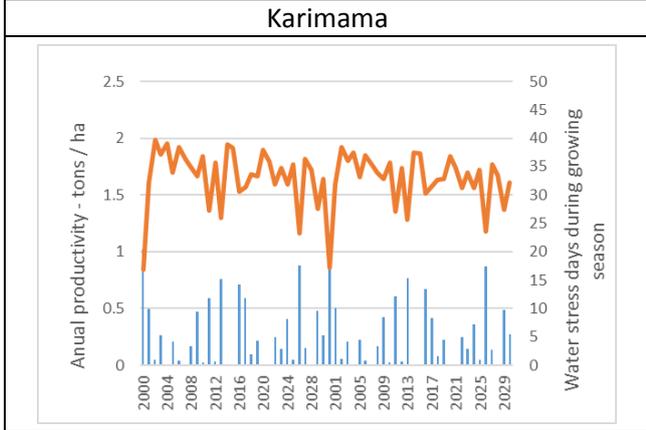
La productivité annuelle du Sorgho est simulée pour toutes les communes sur la période 2000-2030. A Karimama, le minimum et maximum de productivité/rendement sont respectivement de -60% and +60% par rapport à la moyenne calculée.

Finalement, les rendements annuels sont estimés pour l'igname et le riz. Dans le cas de l'igname, la variabilité est due de manière importante à la disponibilité des nutriments dans le sol.

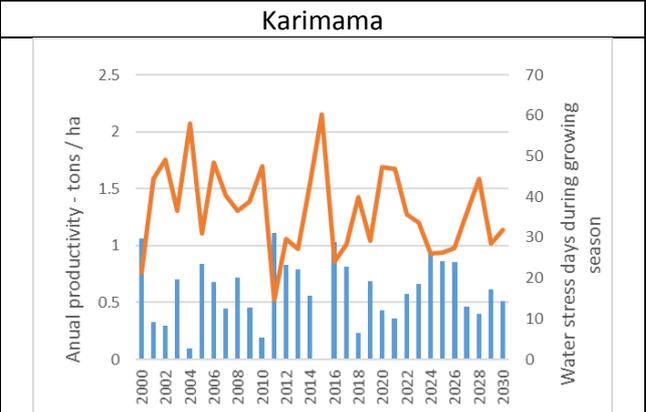
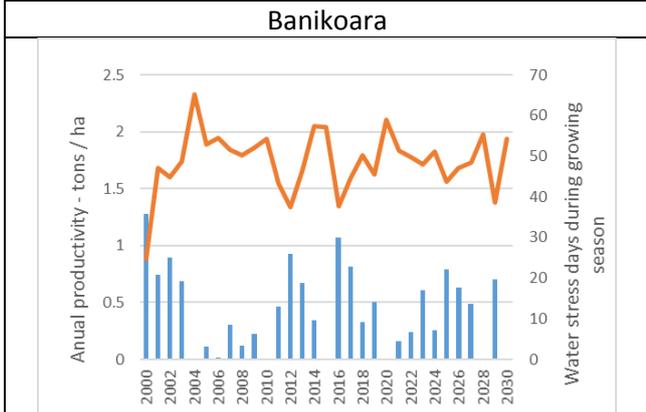


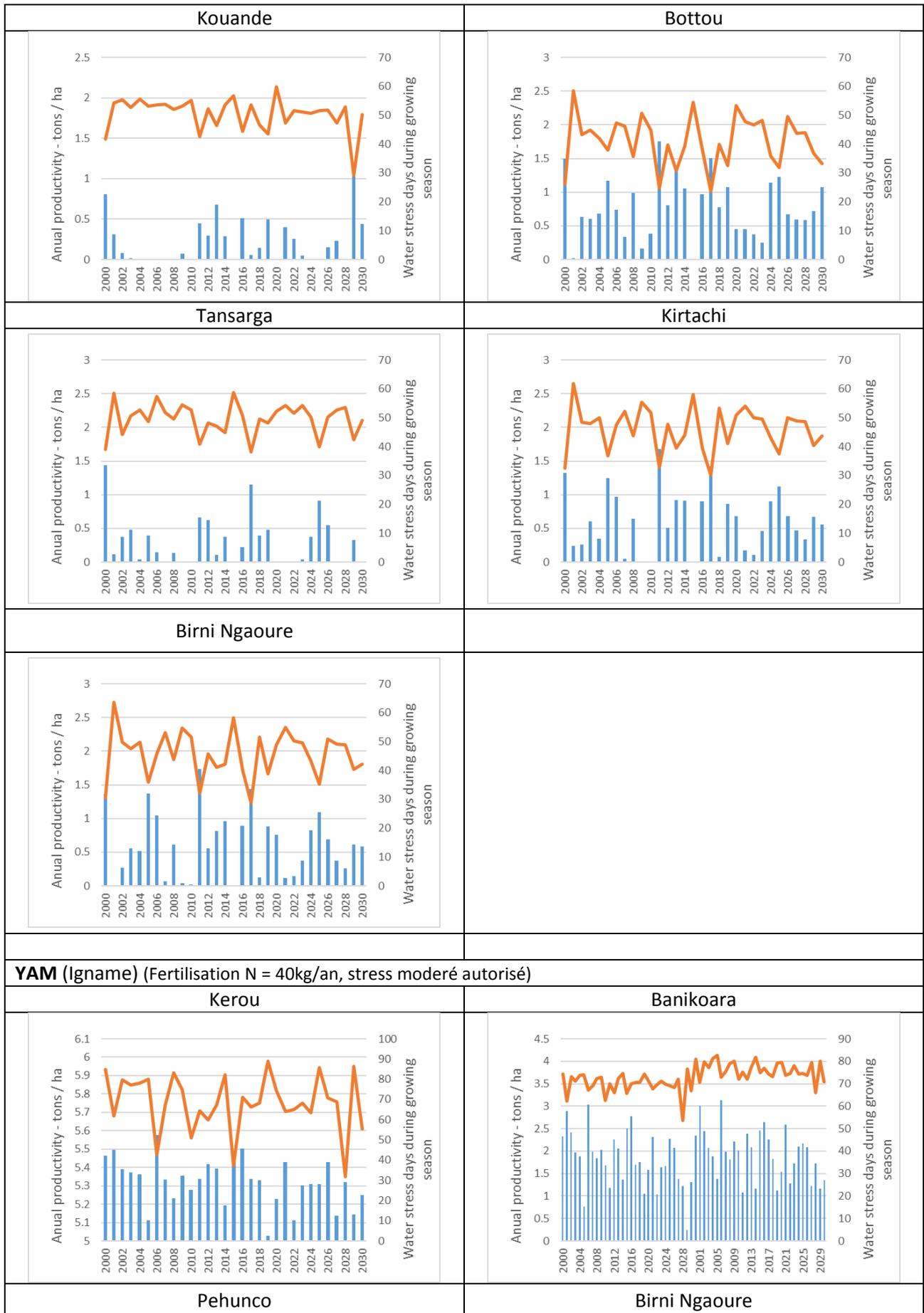


VEGETABLES (Fertilisation N = 40kg/an, stress modéré autorisé)



SORGHUM (Fertilisation N = 40kg/an, stress modéré autorisé)





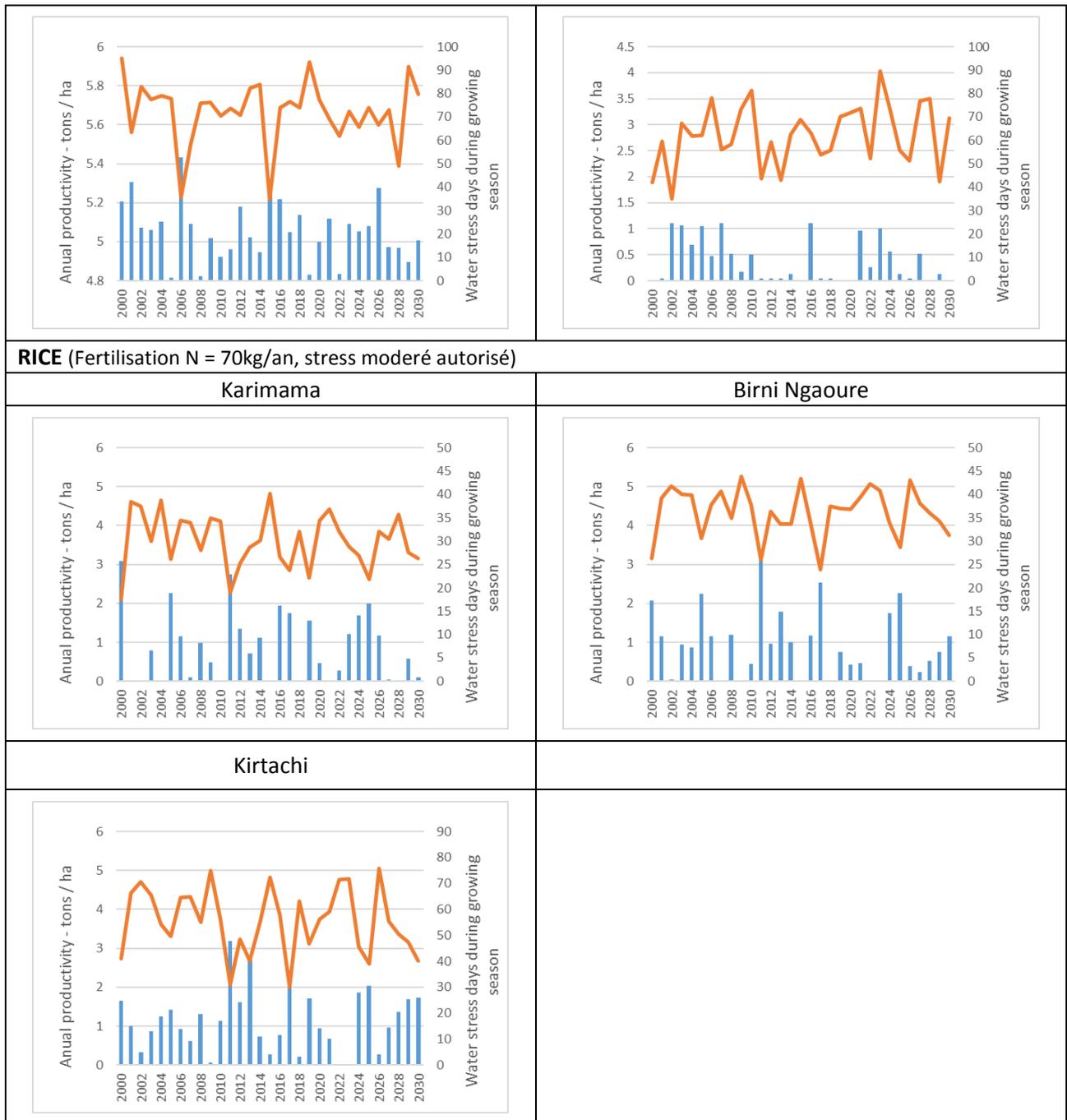


Figure 3. Productivité annuelle dans plusieurs communes calculée pour une agriculture pluviale, avec une fertilisation fixe modérée pour la période 2000-2030.

Simulations incluant une stratégie d'irrigation

L'usage de l'irrigation est facteur en particulier important durant les années sèches, quand le manque ou la mauvaise répartition des précipitations conduit à un stress hydrique important de la culture. En effet, les simulations précédentes indiquent que l'irrigation n'est pas nécessaire durant les années où les précipitations sont suffisantes. Par contre durant les années sèches, l'irrigation peut limiter significativement les pertes de rendements.

SIMULATIONS pour le Maïs

Scénario 1 avec irrigation – faible fertilisation

Paramètres

- Scénario RCP 4.5 pour 2006 et après
- Agriculture pluviale (selon distribution actuelle) + irrigation durant les jours détectés avec stress hydrique
- Très faible fertilisation = situation actuelle (3 kg N/ha)
- Période 2000-2030

Dans ces conditions, l'utilisation de l'irrigation sur la culture du maïs permet de réduire les pertes en rendement durant les années sèches: le maximum des pertes annuelles de productivité agricole est réduite de -15% à -9%. La variabilité annuelle reste existante car celle-ci résulte d'une combinaison de facteurs comme la distribution des précipitations, la température mais également le cycle des nutriments et leurs disponibilités dans le sol.

Scenario 2: avec irrigation et fertilisation fixe (faible stress nutritif)

Le modèle EPIC est lancé avec un niveau fixe de fertilisation suffisante afin de limiter/annuler le facteur "disponibilité des nutriments" et mieux évaluer l'influence de la disponibilité de l'eau durant la saison végétative. Les résultats sont représentés dans les graphiques suivants (Figure 4).

Comparer la productivité sans (scenario 2a) et avec (scenario 2b) irrigation (Figure 4)

Paramètres:

- Scénario climatique RCP 4.5 pour 2006 et après
- Scénario 2a = Agriculture pluviale (selon distribution actuelle) Scénario 2b = irrigation durant les jours détectés avec stress hydrique
- fertilisation fixe = 70 kg N/ha (faible stress nutritif)
- Période 2000-2030

Il peut être observé que la variabilité annuelle de l'agriculture pluviale (ligne jaune) est bien plus prononcée que dans le cas et l'irrigation (ligne bleue). La perte de rendement durant les années sèches est très réduite et partiellement annulée, par exemple, pour les années 2000, 2012-2013, 2016, et autres. Le bénéfice de l'irrigation est également visible sur les box plots de la figure 5 qui compare le mode agriculture pluviale et celui avec irrigation. Le scénario avec irrigation (en bleu)

réduit la variabilité et augmente le rendement moyen (comme illustré par l'intervalle entre le 1^{er} et 3^{ème} quartiles).

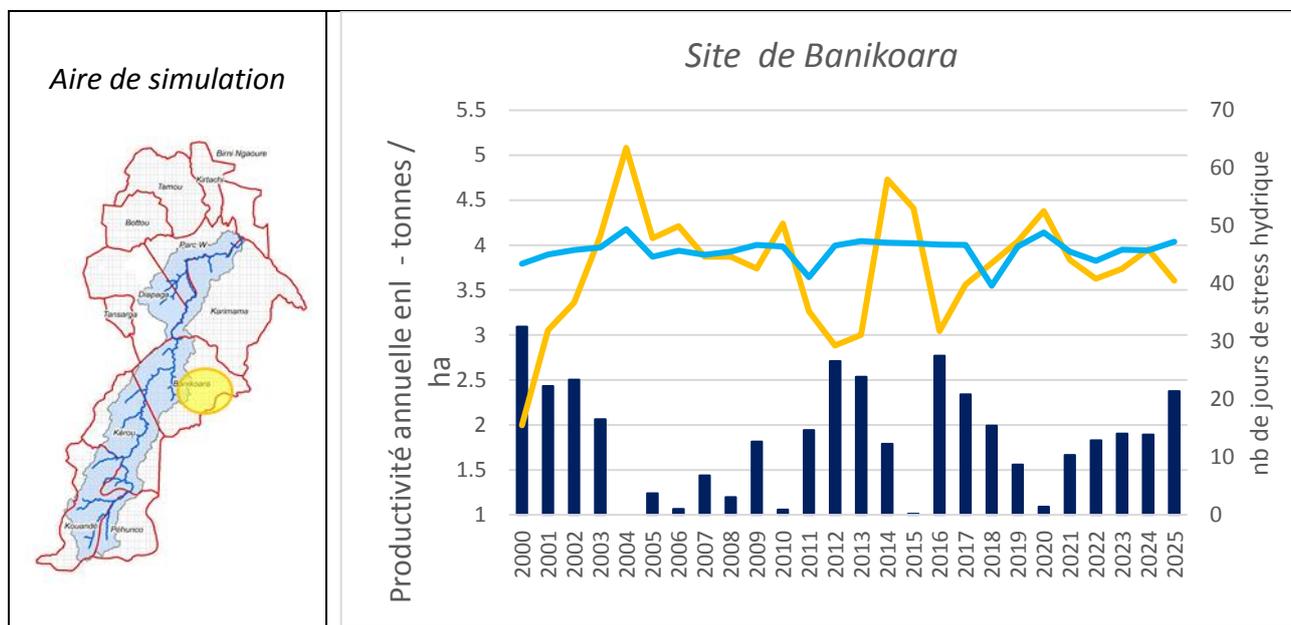


Figure 4. Productivité annuelle estimée de la culture du maïs : en jaune le scénario 2a, en bleu selon le scénario 2b.

Scénario 3: combinaison des facteurs d'irrigation et de fertilisation

Paramètres:

- Scénario climatique RCP 4.5 pour 2006 et après
- Agriculture pluviale (selon distribution actuelle) **ou** irrigation durant les jours détectés avec stress hydrique
- fertilisation fixe à un niveau significatif (70kgN/ha) **ou** à un niveau optimale/pas de stress nutritif
- Période 2000-2030

Figure 5 présente la variabilité de la productivité du maïs avec irrigation ou selon une modalité pluviale, avec une fertilisation élevée à 70 kgN/ha **ou** une fertilisation optimale/sans stress nutritif.

Comme mentionné antérieurement, la contrainte de la disponibilité des nutriments impacte les rendements. Avec EPIC, il est possible de l'annuler; le modèle applique alors le niveau de fertilisation nécessaire à la croissance optimale de la culture durant le cycle végétatif. Ce scénario de productivité optimale peut être simulé tant avec un mode de culture pluviale qu'avec irrigation.

En considérant cette hypothèse sans stress nutritif, la contribution de l'irrigation durant les jours de stress hydrique est plus visible (Figure 6). La productivité du maïs qui bénéficie de l'irrigation est

moins variable d'une année sur l'autre, le rendement moyen est également plus élevé (Figure 5 – right).

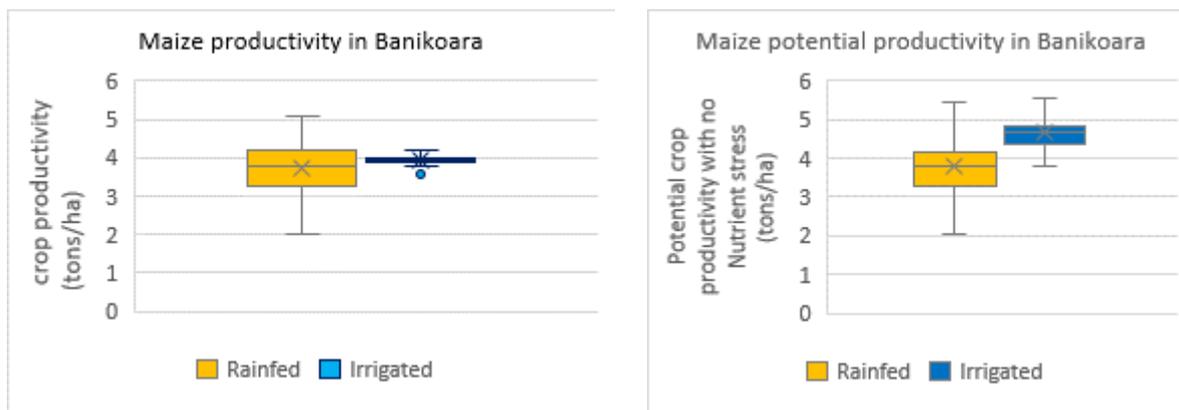


Figure 5. Variabilité de la productivité annuelle du maïs comparant le mode de culture pluviale et avec irrigation : **à gauche** le niveau de fertilisation est fixe et de 70 kg N ha⁻¹ yr⁻¹, **à droite** le niveau de fertilisation est optimal – sans stress nutritif.

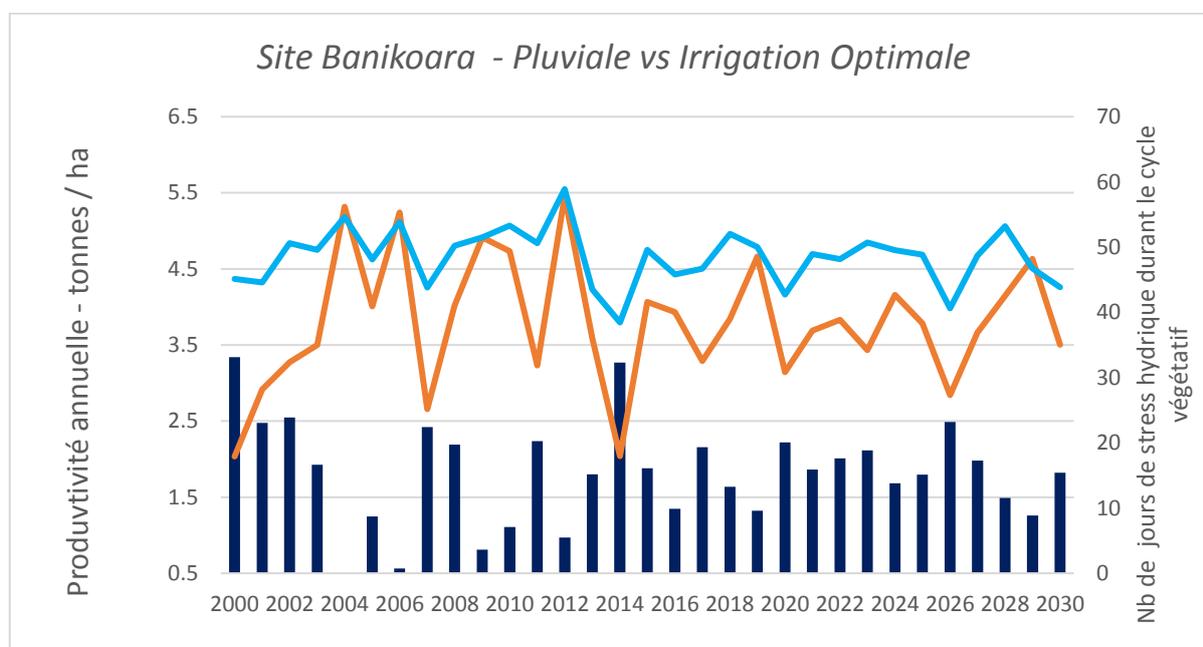


Figure 6. Productivité annuelle du maïs dans la commune de Banikoara dans les conditions de fertilisation optimale (sans stress nutritif): en mode agriculture pluviale (ligne jaune), avec une irrigation optimale (ligne bleue). Les barres bleues correspondent au nombre calculés de jours de stress hydrique durant la saison végétative de la culture par le modèle pour le scénario agriculture pluviale.

Il est rappelé que l'irrigation peut être moins nécessaire durant les années où la précipitation est suffisante pour assurer la croissance de la culture, mais peut limiter les pertes durant les années sèches. Par exemple, pour les années 2000, 2012 et 2016 qui présentent un stress hydrique fort (fertilisation rate de 70 kg N/ha), les différences de rendement entre le scénario pluvial et celui irrigué sont de -47%, -28% et -24% respectivement.

Conclusion

L'objectif de cette analyse est d'estimer la variabilité de la production agricole en fonction des conditions climatiques (avec les autres facteurs qui impactent la croissance de la culture comme la disponibilité des nutriments).

Les résultats montrent que la **productivité du maïs** fluctue en d'environ 15% autour de la moyenne sur la période 2000- 2030, dans les conditions baseline (très faible fertilisation et scénario climatique RCP4.5). Un impact du stress hydrique est observable, les plus faibles rendements correspondant aux années avec le plus grand nombre de jours de stress (calculés par EPIC). C'est et sera le cas pour 2005, 2007, 2013, 2014, 2017, 2025-2028. Même dans ces conditions, le facteur limitant principal reste la disponibilité des nutriments.

Des scénarios avec un niveau fixe de fertilisation ont été simulés dans le but de limiter les effets d'un stress nutritif durant la saison végétative afin de mieux capturer les impacts des précipitations sur la productivité annuelle.

La variabilité des rendements agricoles a été estimée pour différentes cultures et communes de la zone d'intérêt de la Mékrou. Toutes les cultures présentent une variation de la productivité d'une année à l'autre: celle-ci est plus marquée dans le nord de la zone (Karimama, Bottou and Kirtachi) que dans les communes sud (Pehunco, Kérou).

Un scénario introduisant de l'irrigation a également aussi été testé afin d'analyser l'importance de cette stratégie dans l'amélioration de la productivité de l'agriculture et, surtout de la sécurité alimentaire en particulier durant les années sèches.

Les simulations réalisées suggèrent que l'irrigation n'est pas toujours nécessaire, mais l'irrigation s'avère très utile et importante pour limiter les pertes de rendement dans les années/périodes sèches. Pour les années 2000, 2012 et 2016, qui présentent un stress hydrique fort (avec une fertilisation rate de 70 kg N/ha), les différences de rendement **pour la culture du maïs** entre le scénario pluvial et celui irrigué sont de -47%, -28% et -24% respectivement.