



ATELIER TECHNIQUE MEKROU: 20-23 Sep 2017  
Ouagadougou , Burkina Faso

**MEKROU**

# **Identification des meilleures pratiques de gestion agricole**

# **Le modèle agronomique EPIC: outil à l'appui à la décision**

## Objectif

- Agriculture est une activité clé sur le bassin de la Mékrou, et des scénarios de gestion agricole peuvent être testés
  - L' Agriculture est étroitement liée à l'utilisation et la gestion de l'eau (irrigation)
- => ENJEU : importance économique cruciale également liée à la sécurité alimentaire ( pas assuré pour tous comme l'enquête des ménages le démontre)
- => OUTIL POSSIBLE: MODELE AGRONOMIQUE et DE CROISSANCE DES CULTURES + base de données géographique

**BESOINS EXPRIMÉS** THEME: Agriculture

**améliorer la gestion de l'irrigation, améliorer la fertilité des sols, augmenter la production, changement de culture, gestion des engrais organiques**

**Réponse possible**

→ **Modèle agricole  
+  
ANALYSE MULTI-OBJECTIFS**



## Avantages du Modèle, EPIC:

- Inclus **les variables** qui impactent la production agricole : les pratiques de fertilisation, d'irrigation, de labourage, dates des semis ...etc.
- a **déjà été appliqué de l'échelle locale à continentale** (Gassman et al., 2005) et dans une évaluation mondiale à l'échelle nationale (Liu et al., 2008; Liu, 2009; Folberth et al., 2012)
- A été **appliqué pour répondre à des objectifs multiples** comme de planification d'irrigation (Rinaldi, 2001), analyse des rendements liés avec l'eau et les nutriments nécessaire, impacts du changement climatique (Mearns et al., 1999), etc.
- un **software open source**, maintenu régulièrement et bien documenté code source disponible;
- peut être **associé** avec des routines de croissance des cultures avec le modèle hydrologique **SWAT**
- Plus de détails: Environmental Policy Integrated Climate model; Willians 1995;  
<http://epicapex.tamu.edu/epic/>

# Modèle EPIC

## (Environment Policy Integrated Climate model)

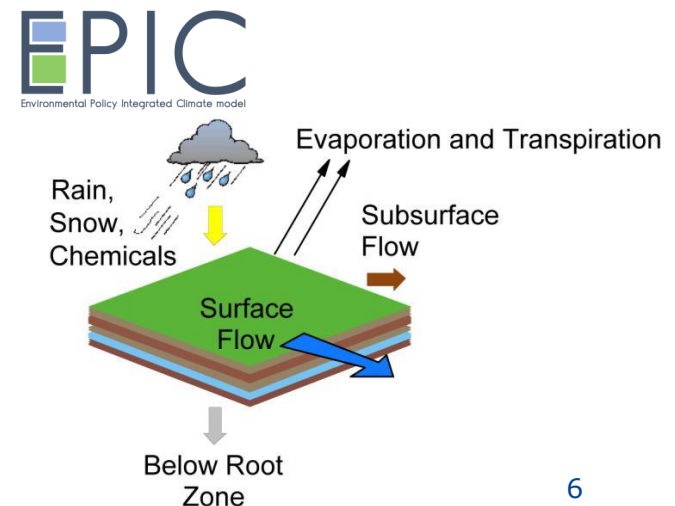
### Historique

- ❑ Il a été développé par le groupe de modélisation USDA dans le début les années 1980.
- ❑ Le premier objectif était l'analyse de l'érosion mais dans années suivants le modèle a été développé dans une optique agricole et environnementale
- ❑ Ce modèle a été appliqué dans des contextes environnementaux a travers le monde
- ❑ Avec des objectifs très divers: ex: perte en nutriments /sédiments, études sur fertilisation/irrigation, impact des pratiques agricoles, cycle des nutriments, perte des sols, érosion, évaluation économiques, impacts du changement climatique, rendements agricoles.

# Modèle EPIC

## (Environment Policy Integrated Climate model)

- ❑ Est un modèle biophysique de gestion des terres cultivées
- ❑ Elle peut s'appliquer à l'échelle de la ferme (à l'échelle de la parcelle)
- ❑ Il propose une modélisation à un pas de temps journalier
- ❑ Il simule le développement d'une culture, voire de cultures associées (c'est-à-dire plusieurs espèces cultivées en même temps) ou encore d'une succession culturale, en fonction de tous les paramètres agronomiques: climat, sol, et pratiques agricoles



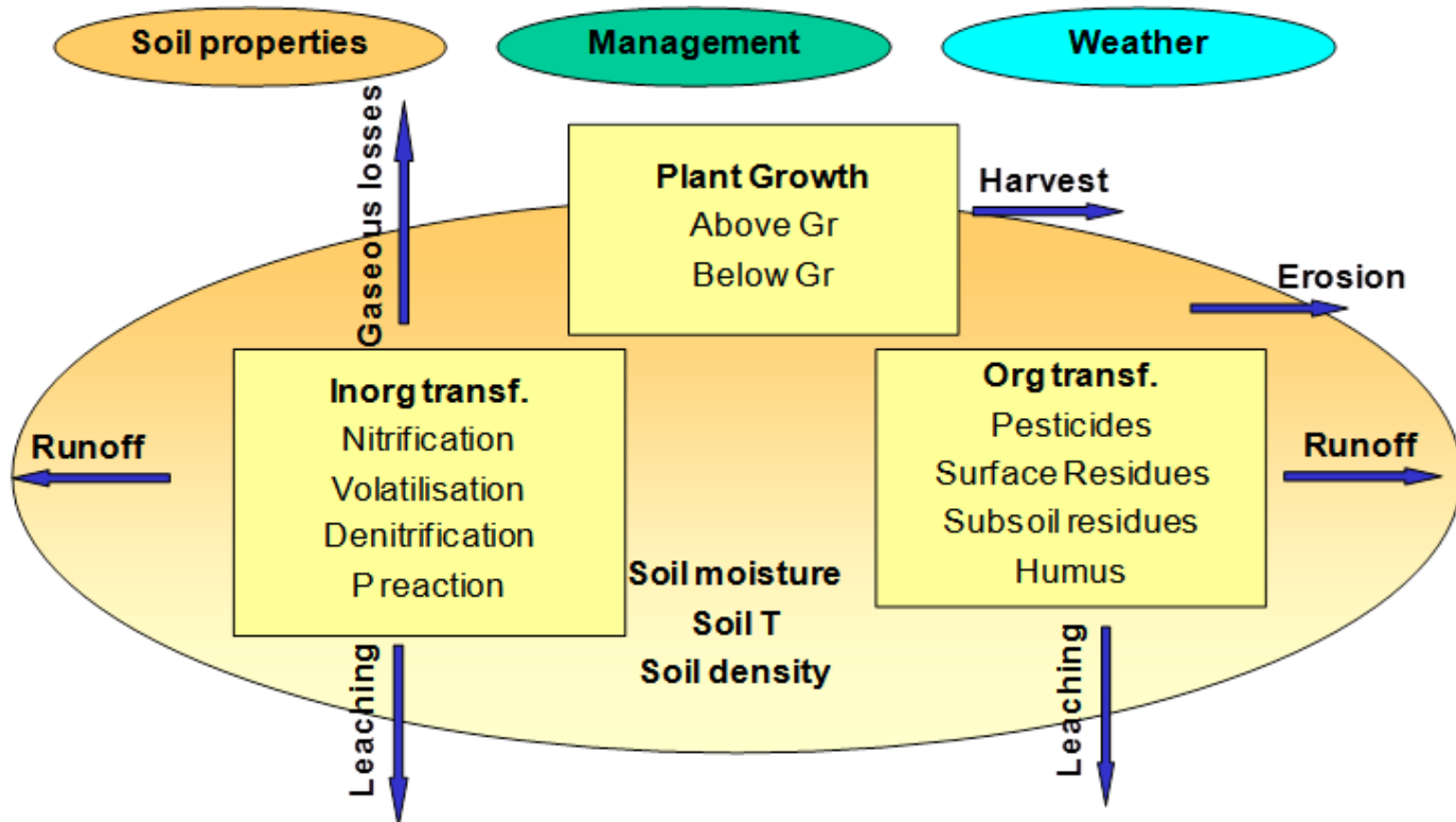
# Modèle EPIC

❑ **Input:** Entrées facilement disponibles

- Entrée basée sur les caractéristiques bio-physiques
- EPIC utilise des données d'entrée facilement disponibles. Sa mise en œuvre peut s'adapter à la disponibilité des données existantes.

❑ **Output:** Le modèle permet des simulations à long terme à un pas de temps journalier

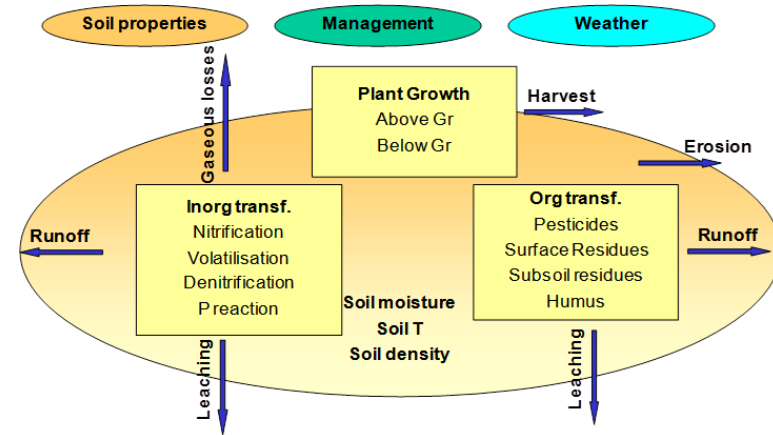
# Modèle EPIC





# Modèle EPIC

Il est capable de simuler une multitude de processus dont:



❑ la croissance de la culture: la croissance journalière de la culture affectée par le climat/sol et les pratiques de gestion, la productivité des rendements de biomasse totale, la croissance des racines, le facteur de stress impactant les rendements.

❑ Bilan hydrique simplifié: le ruissellement de surface, la percolation et le flux latéral de sub-surface, évapotranspiration

❑ Qualité du système Sol-Eau: le cycle des nutriments et la balance de l'N et P sont considérés avec calcul du processus de transformation, des prélèvements de la plante et les mouvements dans le sol

# Modèle EPIC

## Structure

### Climat



### WATER

Irrigation

Usage de l'eau et besoins

Evaporation au niveau du Sol

Transpiration Plante

Surface et flux sub-surface  
(ruissellement)

Flux sous la zone racinaire  
(percolation)



### SOIL

Croissance des racines

### Culture

Développement phénologique

Leaf Area Index (LAI)

Adsorption du rayonnement  
solaire

Croissance potentielle de la  
biomasse

Efficacité de la récolte (HI)

### Nutriments

Fertilisation

Besoins en N

Dynamique N : fixation,  
minéralisation, SOM  
décomposition, Fumiers,  
dénitrification, ...

# Modèle EPIC

## Caractéristiques principales (structure)

- ❑ Le modèle peut être divisés en 9 composantes séparées :
  - Météo
  - Hydrologie
  - Erosion,
  - Nutriments
  - Temperature des sols
  - Croissance de la plante
  - Contrôle de la plante
  - Labourage
  - Budget économique.

# Modèle EPIC

## Composant Météo

- ❑ Les variables météo incluses dans le modele EPIC sont à un pas journalier:
  - ❑ Précipitation, maximum et minimum de température, radiation solaire, et vitesse du vent et humidité relative (utilisée avec Penman méthodes pour le calcul de ETP)
  - ❑ Plusieurs options sont disponibles: toutes les variables entrées par l'utilisateur lui-même, des variables générées (par les statistiques mensuelles) et toutes les variables générées.

# Modèle EPIC

## Composant Bilan hydrique

Le bilan hydrique journalier, calcule la variation du stockage de l'eau du sol en fonction des:

- ☐ précipitations quotidiennes (P)
- ☐ de l'Écoulement de surface (SR)
- ☐ de l'évapotranspiration (ET)
- ☐ de l'infiltration dans la zone vadose du sol (zone non saturée) (INF)
- ☐ du Flux latéral

# Bilan hydrologique

**Plusieurs entrées sont requises pour le calcul de ces composantes**

Les processus clés sont:

Ecoulements de surface: estimé avec méthode SCS Curve Number (USDA Soil Conservation Service)

Ecoulements souterrains superficiels: flux correspondant à la percolation des eaux et flux latéral: eau qui entre dans le sol qui peut être prélevé par la plante, évaporer ou se déplacer latéralement. Quand la capacité de rétention maximum en eau du sol est dépassé, l'eau devient disponible pour la percolation et le déplacement latéral etc....

Evapotranspiration

# Bilan hydrologique

## Ecoulement de surface

estimé avec méthode SCS Curve Number (USDA Soil Conservation Service)

$$ES(Q) = (P - 0.2 * s)^2 / P + 0.8 * s, P > 0.2s$$

$$ES(Q) = 0, P \leq 0.2s$$

P: précipitation

s: est le paramètre de rétention qui est une fonction du nombre de courbe journalier (curve number (CN) for the day). CN est une fonction de perméabilité, de l'utilisation et des conditions d'humidité du sol.

$$s = 254 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) [\text{mm}]$$

S est ensuite corrigé en fonction de l'humidité du sol

# Bilan hydrologique

## Flux de Sub-surface

Inclut une composante verticale et horizontale, calculée simultanément en utilisant les équations de routage de stockage et de réseau d'eau.

Les flux verticaux et horizontaux sont partitionnés en 2 composantes: une fonction du temps de voyage vertical et horizontal.

La composante du flux vertical (ou percolation) qui va dans l'aquifère souterrain n'est pas simulé dans EPIC. Cette eau est considérée comme perdue pour le système.

Les drains passent à travers des couches successives en suivant l'approche du routage de stockage qui est une fonction de paramètres clés du sol:

→ Eau contenue par la capacité du champs (rétention max d'eau), conductivité saturée et porosité des sols.



# Bilan hydrologique

## Evaporation Potentielle (ETP)

5 options différentes peuvent être utilisées pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP):

- Hargreaves (Hargreaves and Samani, 1985)
- Penman (1948)
- Priestley-Taylor (1972)
- Penman-Monteith (Monteith, 1965)
- Baier- Robertson (1965)

La méthode Penman-Monteith nécessite les valeurs de radiation solaire, température, vitesse du vent et humidité relative.

# Erosion de l'eau

## Conceptualisation générale des sédiments par le modèle EPIC

Plusieurs méthodes peuvent être sélectionnées par l'utilisateur afin d'estimer l'érosion

En général dans EPIC, l'eau qui induit l'érosion est calculée en réponse à :

Précipitations, ruissellement et pratiques d'irrigation

*Les méthodes "USLE" et "RUSLE" sont généralement utilisées and dépendent principalement des pluies qui est un Indicateur de l'énergie érosive*

Water erosion equations:

- a. MUSLE variation 1 (MUST) (Williams, 1995)
- b. Onstad-Foster modification of the USLE (AOF) (Onstad and Foster, 1975)
- c. Universal Soil Loss Equation (USLE) (Wischmeier and Smith, 1978)
- d. MUSLE variation 2 (MUSS) (Williams, 1995)
- e. Modified USLE (MUSLE) (Williams, 1975b)
- f. MUSLE with input coefficients (MUSI)
- g. Revised USLE (RUSLE) (Renard et al., 1997)
- h. RUSLE2 (Foster, 2005)

Options to calculate the slope length and steepness factor:

- a. RUSLE slope length and steepness factor (preferred for steep slopes >20%)
- b. MUSLE slope length and steepness factor

# Cycle des nutriments

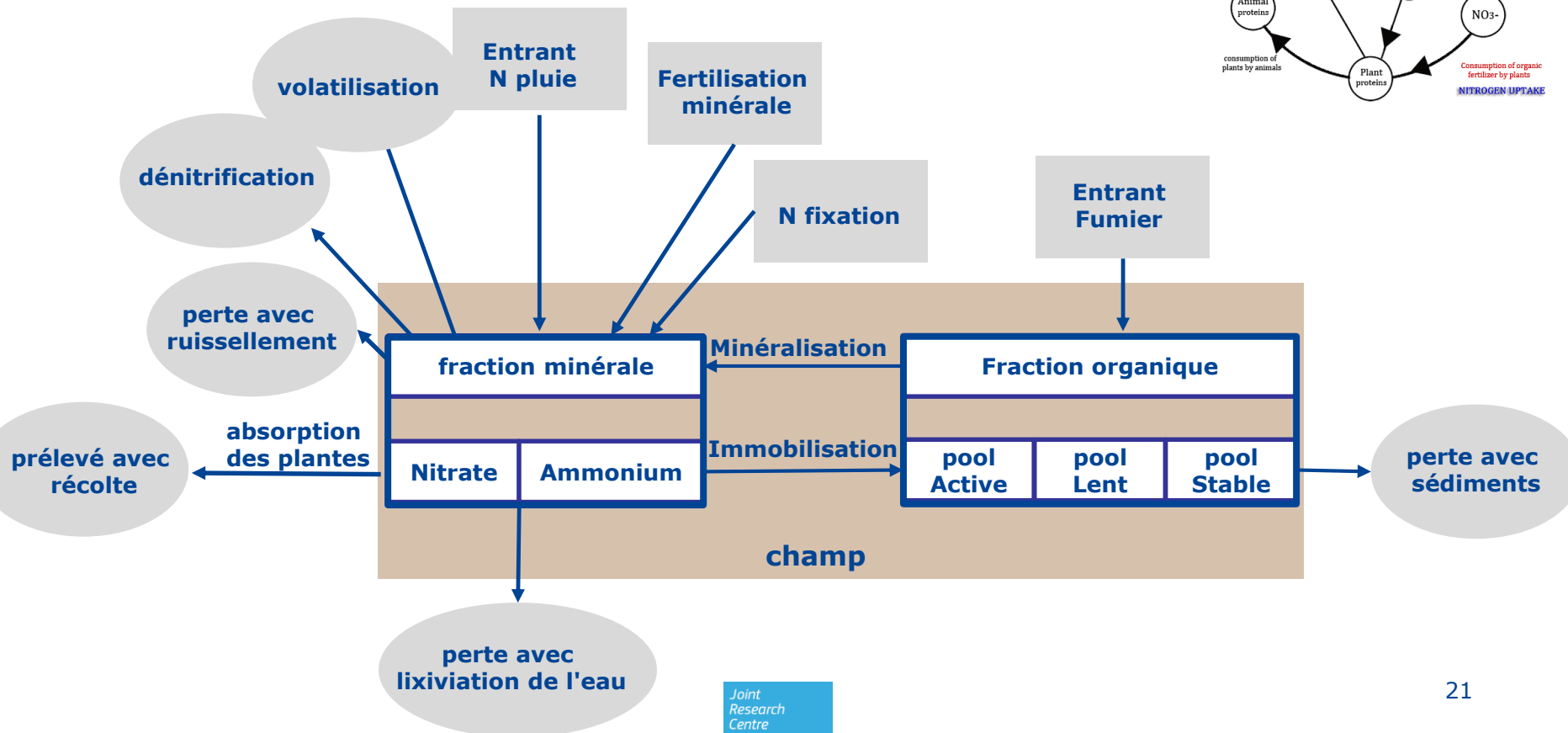
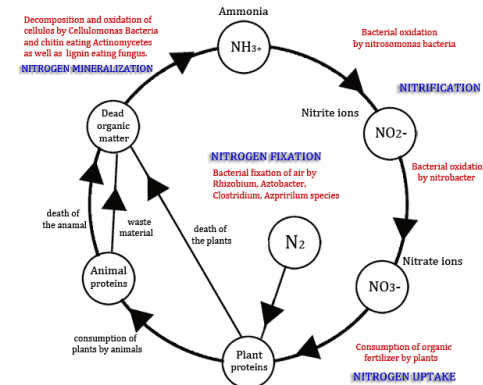
## Conceptualisation générale de la balance des nutriments par le modèle EPIC

- ❑ *Les nutriments sont les entrants pour la croissance et la productivité d'une culture*
- ❑ *EPIC prend en compte tant le cycle de l'azote que le cycles du phosphore*
- ❑ *Un cycle complet du N est simulé dans EPIC:  
Entrant de l'azote Atmosphérique, fertilisant mineral et entrant organiques (fumiers), prelevement de la plante, dénitrification, minéralisation, immobilisation, nitrification, volatilization, transports avec les sediments et l'eau.*

# Cycle des nutriments

## Conceptualisation générale de la balance des nutriments

### NITROGEN CYCLE



# Cycle des nutriments

## Conceptualisation générale de la balance des nutriments par le modèle EPIC

- ❑ Les Pertes en Nitrates : sont relatives à de processus de percolation , ruissellement et flux latéral de sub-surface
- ❑ La Dénitrification est considérée par le model comme un fonction exponentielle de la température, du carbone organique, de la concentration de nitrate et la quantité d'eau du sol. La Dénitrification se produit quant l'eau contenue dans le sol dépasse 90% ou plus de saturation (conditions anaérobique requises)
- ❑ La Nitrification, est la conversion de l'ammoniac en nitrate. Elle est estimée avec un taux de premier ordre cinétique et en fonction de la température , la capacité de rétention d'eau du sol et le pH du sol.

# Cycle des nutriments

## Conceptualisation générale de la balance des nutriments par le modèle EPIC

- ❑ *La Volatilisation, la perte de l'ammoniaque dans l'atmosphère est simulée de manière simultanée avec la nitrification comme fonction de la température et de la vitesse des vents.*
- ❑ *La Minéralisation (transformation de la forme organique à ammoniaque) est simulée avec la modification du modèle de minéralisation PAPRAN (Seligman and Van Keulen, 1981): minéralisation peut se faire à partir de la matière organique fraîche (fresh organic pool) qui sont associées avec les résidus de cultures et la biomasse microbienne et des réserves organiques stables (stable organic pool) qui sont associées à l'humus du sol. La minéralisation de la matière organique fraîche est principalement contrôlée par les ratios de C:N et C:P, l'eau du sol, la température et le stade de décomposition des résidus.*
- ❑ *L'immobilisation est calculée grâce à une modification du modèle PAPRAN en soustrayant la quantité de N contenu dans les résidus de cultures de la quantité absorbées par les micro-organismes.*

# Cycle des nutriments

## Conceptualisation générale de la balance des nutriments par le modèle EPIC

- ❑ *Le Prélèvement par la culture est aussi un processus très important*
  
- ❑ *Il est estimé en utilisant une approche offre-demande:  
La demande journalière de N est un produit de la croissance de la biomasse et de la concentration optimale de N dans la plante (selon son stade de développement). L'approvisionnement du sol en N est conditionné par le flux de nitrates vers les racines.*
  
- ❑ *Avec une approche similaire les cycles de P et C cycle sont simulés par EPIC*

# Processus de croissance des cultures

## Conceptualisation générale croissance des cultures par le modèle EPIC

- ☐ un modèle simple est utilise pour simuler toutes les cultures considérées
- ☐ Evidement , chaque culture a des valeurs de paramètres uniques dans le modèle
- ☐ EPIC est capable de simuler la croissance de cultures annuelles ou pérennes: les cultures annuelles croient des semis a la date de la récolte , les culture pérennes maintiennent leur système racinaires tout au long de l'année, même s'il peut devenir dormant.
- ☐ Le modèle est aussi capable de simuler un mixed de plantes ( jusqu'a 10 cultures peuvent croitre dans le même espace et temps).



# Processus de croissance des cultures

## La croissance des plantes par le modèle EPIC

- La croissance des plantes est modélisée en simulant le développement de la zone foliaire (LAI index), l'interception de la radiation et la conversion de la radiation interceptée en biomasse → le développement phénologique de la plante est basé sur les unités de chaleur accumulées (Phenologic Heat Unit - PHU) qui sont fonction de la température de l'air.
- La croissance des plantes peut être réduite en raison des températures extrêmes, de l'eau et des nutriments insuffisants
- Lorsque la maturité de la plante est atteinte, la plante cesse de transpirer et d'absorber de l'eau et des nutriments.
- La biomasse de la plante simulée reste stable jusqu'à ce que la plante soit récoltée: un indice de récolte (Harvest Index) est utilisé pour définir la fraction de biomasse sèche récoltée (rendement - yield)

# Processus de croissance des cultures

## La croissance des plantes par le modèle EPIC

Le développement phréologique de la culture est basé sur la unité journalière de chaleur (HU) cumulées, après les semis :

$$HU_i = \frac{T_{mx,i} + T_{mn,i}}{2} - T_{b,j}$$

*HU<sub>i</sub> : number of Heat Units accumulated during a day*

*T<sub>mx,i</sub> : Maximum temp. of the day i*

*T<sub>mn,i</sub> : Minimum temp. of the day i*

*T<sub>b,j</sub> : crop specific base temperature: no crop growth below this temperature*

$$HUI_i = \sum_{k=1}^i \frac{HU_k}{PHU_j}$$

*HUI<sub>i</sub> : heat unit index ranging from 0 to 1 for day i*

*PHU<sub>j</sub> : total PHU required for crop maturity*

# Processus de croissance des cultures

## La croissance des plantes par le modèle EPIC

### Croissance potentielle

- La croissance potentielle journalière de la culture est estimée grâce à une fonction de la radiation solaire

Interception de la radiation active photosynthétique

$$\Delta B_{p,i} = 0.0001 BE_j (PAR)_i$$

Potential biomass production per day

$$PAR_i = 0.02092 (RA)_i (1.0 - e^{-0.65 LAI})_i$$

per day adjusted daily total biomass production

$$B_m = \sum_{ndays} \Delta B_i$$

***PAR<sub>i</sub> : radiation active photosynthétique/  
photosynthetic active radiation***

***RA<sub>i</sub> : Radiation solaire pour le jour i /solar radiation  
for the day i***

***LAI : Leaf Area Index pour le jour i***

***BE<sub>i</sub> : paramètre spécifique de la culture de  
conversion énergétique/ crop specific parameter for  
Energy conversion***

***Bi : Biomasse de la culture/crop biomass*** 28

# Processus de croissance des cultures

## Limites de la croissance

- ❑ La croissance potentielle de la culture et son rendement ne sont généralement pas atteints en raison de contraintes imposées par l'environnement de la plante.
- ❑ Le modèle estime les stress relatifs à l'eau, nutriments, température, aération et radiation. Ces stress ont une valeur entre 0.0 et 1.0 et affectent les plantes de plusieurs manières.

→ La croissance de la culture est ajustée journalièrement, si un des facteurs de stress de la plante est de moins de 1.0, utilisant le facteur le plus limitant.

→ Calcul de Stress : exemple pour l'eau

$$WS_i = \frac{AEP_i}{EP_i}$$

***WS<sub>i</sub> : facteur de stress lié à l'eau par jour de culture i / water stress factor for crop day i***

***AEP<sub>i</sub> : eau utilisée par la plante (mm) pour une jour i / water used by plant (mm) of the day i***

***EP<sub>i</sub> : Potentiel journalier d'utilisation de l'eau pour la culture (mm) / potential crop daily water use rate (mm)***

# Les pratiques de gestion

- ❑ Le contrôle de l'environnement de la plante inclut des mécanismes d'application d'irrigation, fertilisants, pesticide ou pratiques de système de labours.

Les pratiques de gestion les plus importantes sont:

- gestion de la culture (Planification des semis, labours et récoltes)
- gestion de l'irrigation
- gestion de la fertilisation (chimique et utilisation de fumiers)
- Autres opérations (pesticides, labours, systèmes de drainage, etc)

# Les pratiques de gestion

## IRRIGATION

- ❑ L'utilisateur EPIC à l'option de simuler les terres sèches et les zones agricoles irriguées .
- ❑ L'irrigation avec arroseur ou par sillon peut être simulée et un programme d'irrigation appliqué.
- ❑ les applications d'irrigation peuvent être simulées a des dates (et quantités) spécifiques (défini par l'utilisateur) ou avec une routine d'auto-irrigation (calculer par rapport au stress hydrique journalier de la plante)
- ❑ Routine d'auto-irrigation:
  - niveau de stress hydrique de la plant ( $[0-1]$ : 1 où 1= pas de stress);
  - volume max appliqué dans la saison vegetative (mm);
  - Fraction perdue du ruissellement;
  - Chaque apport min et max en volumes (mm);
  - l'intervalle de temps min entre deux irrigation en jours



# Les pratiques de gestion

## FERTILISATION

- ❑ Application de fertilisants fonctionne de la même façon que celle pour l'irrigation – une programmation peut être mise en place ou automatique – de manière fixe ou variable.
- ❑ Entrées requises pour une version automatique inclus:  
Required inputs for the automatic version include:
  - Un seuil (stress N de la plante entre (0-1))
  - Un max annuel de N apporté à la culture en kg ha<sup>-1</sup>
  - Un minimum de temps entre les apports en jours.
- ❑ Les Apports Automatiques sont déclenchés seulement que l'azote représente une limite active de croissance de la culture, même si le seuil est dépassé. Les apports annuels N et P variant selon les besoins de la culture, la capacité des sols à subvenir à ces besoins et la magnitude du stress N par rapport aux stress hydrique et des températures.



# **EPIC dans le bassin du fleuve Mekrou**

## ***Spatialisation du modèle & Données d'entrée***



## Liens EPIC-GIS:

- Les modèle EPIC est développé avec l'hypothèse d'un terrain/champs homogène (sol, climat, occupation et gestion homogènes) à appliquer à l'échelle d'une ferme (localisation spécifique, à l'échelle de la parcelle)
  - l'objectif est d'étendre l'application à l' échelle régionale  
=> multitude de sols, météo, occupation des sols et conditions de gestion .
  - Passer de l' échelle du champs à l' échelle régionale
- = gérer des échelles de temps et spatiales différentes + des données avec des résolutions différentes

## SOLUTION

Créer une geo-database pour permettre les simulations EPIC

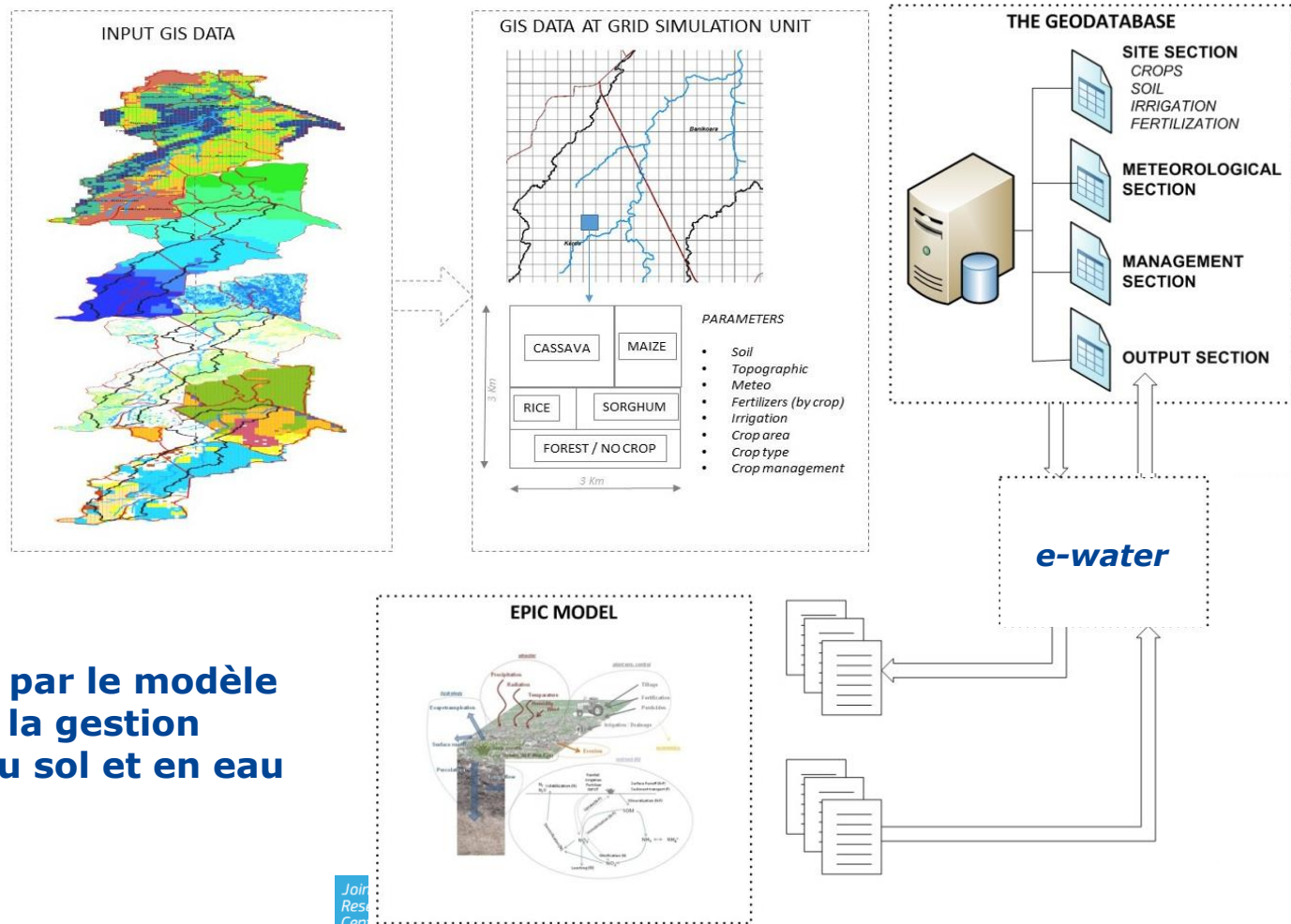
## Trois composantes

### La géo-database

**Contient toutes les données nécessaires (sols, caractéristiques des cultures, fertilisation... )**

**Composante e-water**  
**Contrôle les entrées et sorties de la géodatabase**

**Modèle EPIC** :  
**simulations continues par le modèle selon paramétrage de la gestion agricole, ressources du sol et en eau**

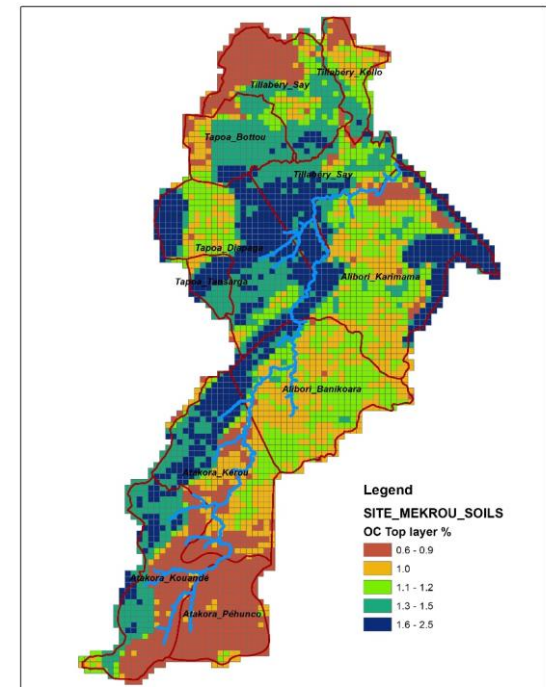


## DONNEES DES SOLS REQUISES

=> **FAO Harmonized World Soil Database** avec une résolution de **1 km** afin de renseigner chaque unité de sols avec sa topologie et les caractéristiques de deux couches

**Données disponibles dans BD : texture, drainage, AWC, profondeur des sols, carbone organique, % graviers, densité, CaCO<sub>3</sub>, TSB, etc.**

FIELD NAME	DESCRIPTION	UNIT	SOURCE
Silt	Silt content	% <sub>w</sub>	HWSD v.11
Sand	Sand content	% <sub>w</sub>	HWSD v.11
Clay	Clay content	% <sub>w</sub>	HWSD v.11
pH	pH	-	HWSD v.11
OC	Organic carbon	% <sub>w</sub>	HWSD v.11
OM	Organic matter	% <sub>w</sub>	Calculated; [OM = OC * 1.714]
Gravel	Gravel content	% <sub>vol</sub>	HWSD v.11
CEC	Cation exchange capacity	cmol kg <sup>-1</sup>	HWSD v.11
CaCO <sub>3</sub>	Carbonate content	% <sub>w</sub>	HWSD v.11
Bd	Bulk density	kg dm <sup>-3</sup>	HWSD v.11
Ks	Saturated conductivity	mm h <sup>-1</sup>	Calculated; [Ks = Exp(7.755 + 0.0352*Silt + 0.93 - 0.967*Bd <sup>2</sup> - 0.000484*Clay <sup>2</sup> - 0.000322*Silt <sup>2</sup> + 0.001/Silt - 0.0748/OM - 0.643*Ln(Silt) - 0.01398*Bd*Clay - 0.1673*Bd*OM + 0.02986*Clay - 0.03305*Silt) (Wösten et al. (1999))]

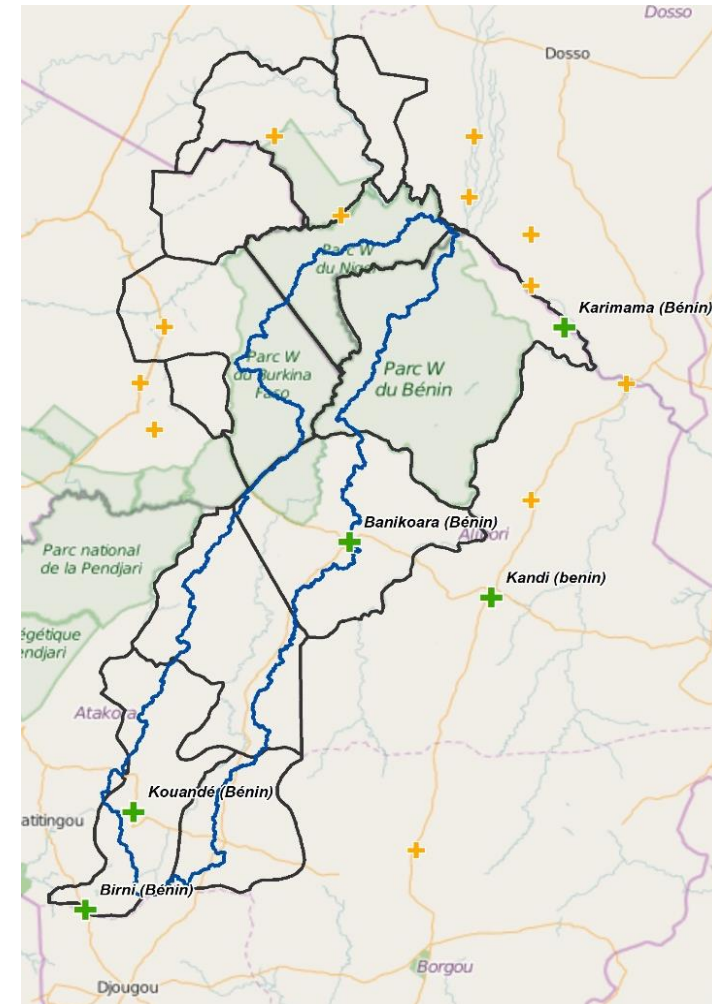


## DONNEES METEO DATA REQUISES

**8 variables climatiques: precipitation, fréquence des jours pluvieux, température, Intervalle de températures diurnes, humidité relative, durée d'ensoleillement, fréquence de sol gelé, vitesse du vent.**

**Exemple de serie journaliere requises par EPIC:**

Year	Mon.d	SRad	Max T	Min T	Rain	RH	Wind v.	
1990	1	1	20.4	34.84	21.28	0.00	0.20	3.63
1990	1	2	20.7	34.80	19.67	0.00	0.19	3.46
1990	1	3	20.9	35.19	19.22	0.00	0.19	2.79
1990	1	4	20.9	34.70	18.00	0.00	0.21	2.33
1990	1	5	20.8	35.45	18.68	0.00	0.22	2.14
1990	1	6	20.9	35.54	19.58	0.00	0.21	2.61
1990	1	7	20.8	35.42	19.84	24.00	0.19	3.63
1990	1	8	20.8	33.49	20.83	0.00	0.16	4.36
1990	1	9	20.7	34.39	20.72	0.00	0.18	3.98



## Données METEO Locales

les données locales sont essentielles  
produire des analyses précises en  
particulier sur les données journalières

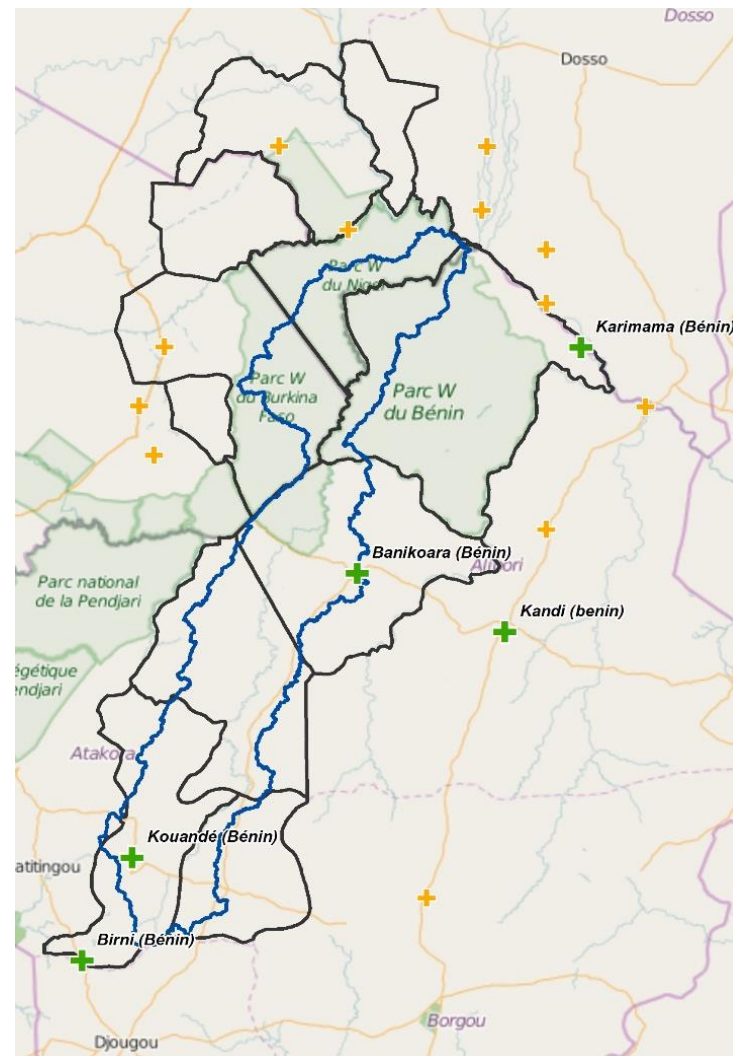
Les données globales sont suffisantes pour des analyses de long terme avec des statistiques mensuelles.

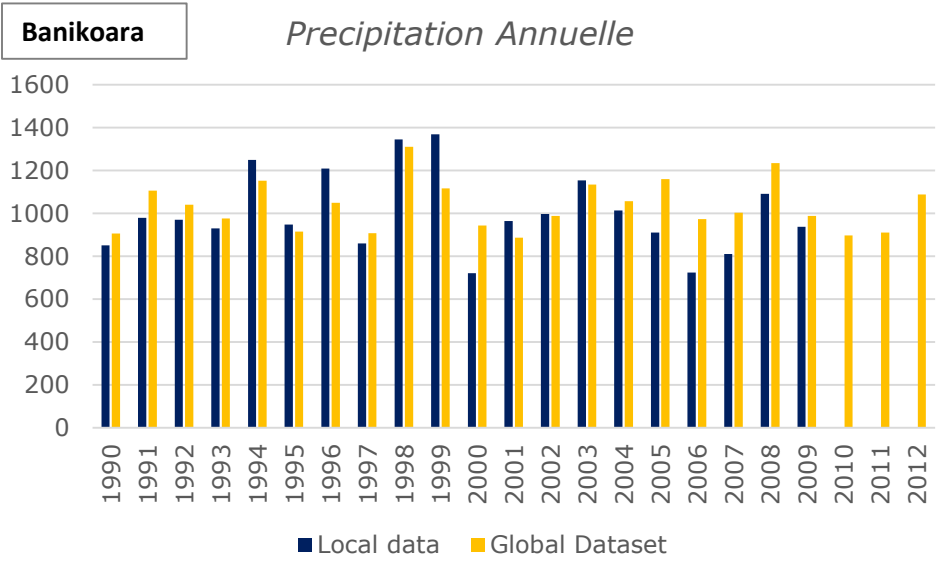
Le modèle n'accepte pas de données manquantes

## **5 stations identifiées dans la BD locale**

### **Etapes d'intégration:**

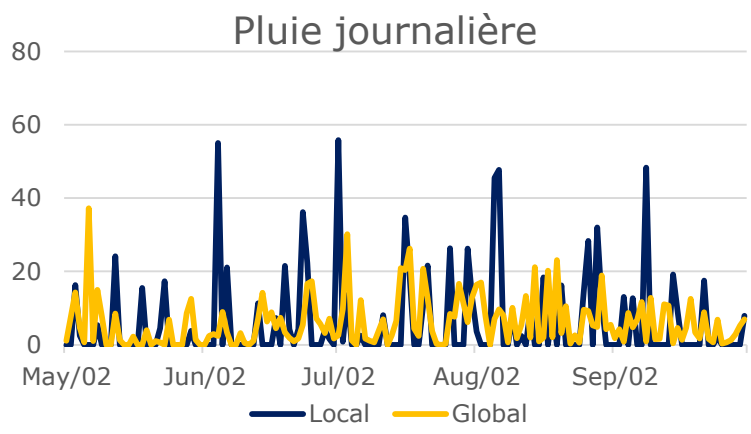
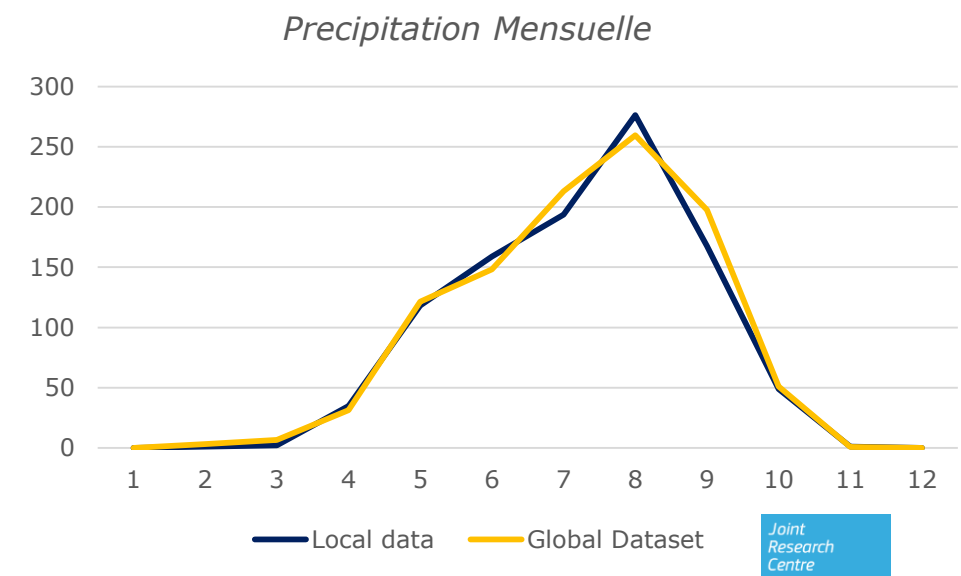
- DONNEES MANQUANTES complétées avec les données globales (ERA-Interim global atmospheric reanalysis, resolution 0.1 degree 1989 - 2015)
- Chaque cellule est associée à un ID de station météo selon la proximité et gradient Nord-Sud.





Généralement bonne concordance entre les 2 séries de données

- Précipitations annuelles sont similaires
- Précipitations mensuelles (periode1990-2010) ont une courbe similaire





# Données utilisées

## *Données climatiques*



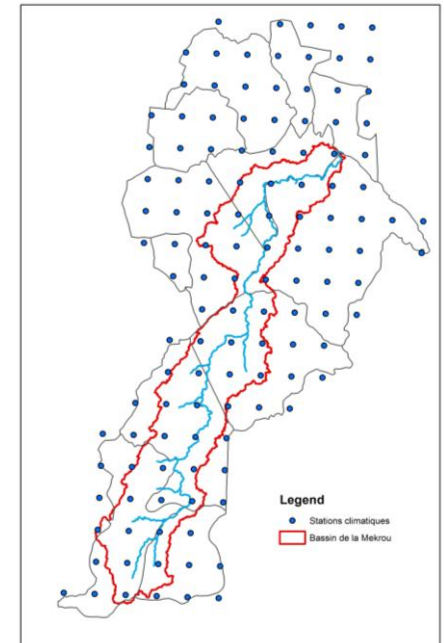
### □ Données ERA-Interim (ECMWF)

**1990-2012 au pas de temps journalier**

**10' de résolution**

**125 points sur l'ensemble du bassin du Mekrou**

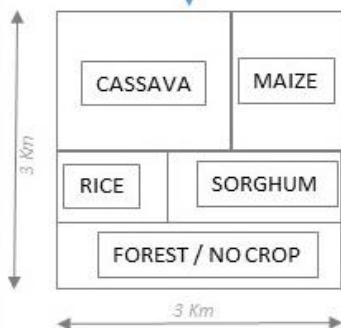
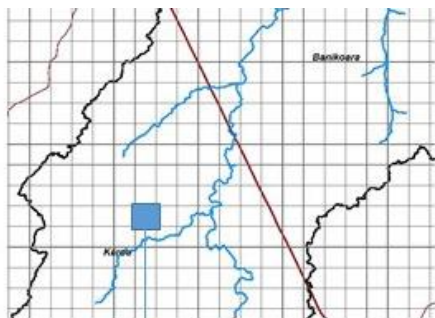
**Paramètres: Précipitation, Températures max et min, Radiation solaire, Humidité Relative, Vent**



## DONNEES OCCUPATION DES SOLS REQUISES

- Classes d'occupation des sols dominantes dans le BV Mékrou : prairies arbustives, prairies herbacées et Forêt
- Terres cultivées = 20-24 % du BV de la Mékrou même si le secteur agricole est le secteur économique principal de cette zone.

### UNITE de SIMULATION



#### PARAMETERS

- Soil
- Topographic
- Meteo
- Fertilizers (by crop)
- Irrigation
- Crop area
- Crop type
- Crop management

### Le modèle EPIC exige:

Le type spécifique de culture (et la gestion correspondante) par UNITE de simulation.

Pour avoir une distribution préliminaire, une série de données dérive des données censitaires, ajustées à la taille de la cellule:

Unité simulation = 3km (résolution originale 5 arcminutes)

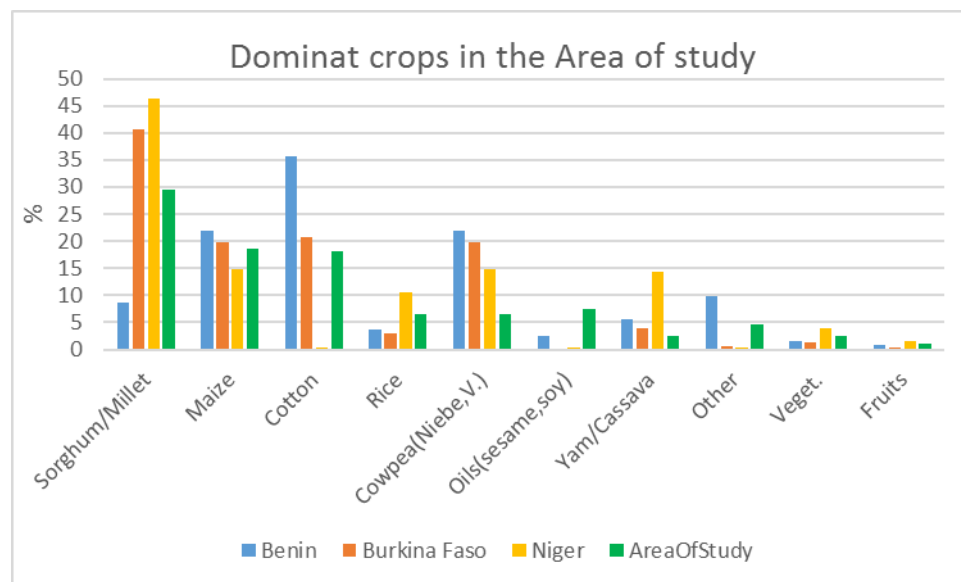
**Source** : données disponibles gratuitement  
<http://mapspam.info/> Spatial Production Allocation Model (SPAM) 2005 Ver 1.0.

La cohérence avec les statistiques agricoles locales, la surface totale des cultures calculées correspondent à celles recensées pour chaque commune.



## DONNEES d'OCCUPATION des sols

- Le coton est dominant à Kerou (69%), Banikoara (44%) et Pehunco (32%) du total des terres cultivées;
- Le maïs est dominant à Banikoara et Pehunco au Bénin, et assez important dans les communes du Niger (autour de 22%);
- Le riz est important in Karimama (22% des terres cultivées) et dans le parc W (11%);
- Les tubercules (Manioc et Igname) sont dominant à Kouandé (24% des zones moissonnées) et Pehunco (17%).
- Les haricots (Niébé ou voandzou) sont localement dominant à Karimama au Bénin (23% des terres cultivées) et à Birni pour le Niger (12%).



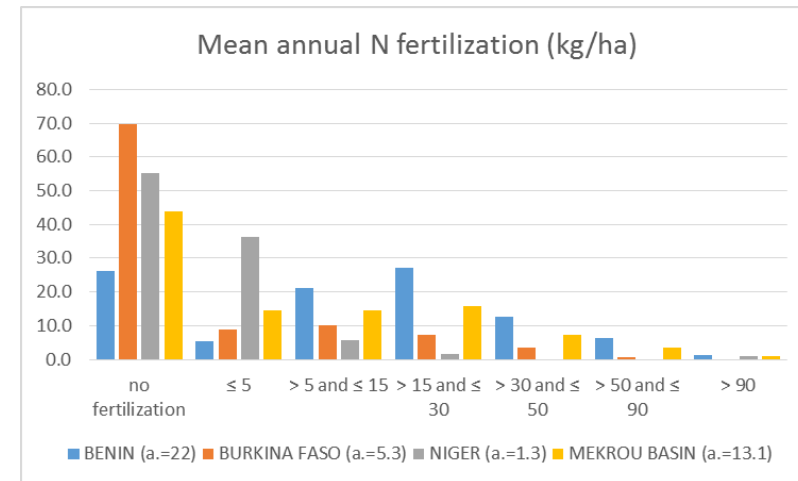
## GESTION DE LA CULTURE

**Les pratiques de gestion agricoles sont des données très important dans le modèle EPIC, soient:**

- **Planning et caractéristiques des opérations agricoles : planification des semis, labours et récoltes, fertilisation chimique, utilisation de fumiers, irrigation. POUR CHAQUE CULTURE**
- **Ces pratiques peuvent être considérer homogène à l'échelle administratif de la commune . Il n'est pas nécessaire de détailler les pratiques agricole a une résolution plus grande (comme celle d'une grille de 3 km).**
- **Les pratiques agricoles sont considérées homogènes à l'intérieur d'une même commune**

## GESTION DE LA CULTURE

- **FERTILISATION ( organique et minérale)**
  - **Les statistiques nationales rapportent un faible niveau d'utilisation des fertilisants <20 kg/ha d'Azote au Benin, Niger et Burkina Faso**
  - **Selon l'enquête des ménages la moyenne de fertilisation Azotée (N) est supérieur au Benin avec 22 kg/ha**
  - **au Burkina Faso avec 5.3 kg/ha en moyenne et Niger 1.3 kg N / ha.**
- **Fumier est également important pour la productivité et la fertilisation des sols**



## GESTION DE LA CULTURE

- **FERTILISATION ( organique et minérale)**
  - **Numéro total d'animaux par commune permet d'estimer la quantité potentiel N disponible pour l'agriculture grâce a des coefficients d'excrat de référence**
  - **C'est une valeur potentielle parce cela suppose une distribution uniforme de ces fertilisants sur les cultures**

NUTS_ID	Commune	Country	tot n ° of animals					cropland [km <sup>2</sup> ]	Average annual N from manure [kg N/ ha]
			Cattle	Sheep	Goats	Pigs	Chicken		
1062	Banikoara	Benin	181,887	63,859	51,783	2,463	253,626	1300	10.2
1063	Karimama	Benin	42,621	23,009	37,448	501	53,140	1290	2.6
1064	Kerou	Benin	93,861	21,660	25,992	8,664	59,205	483	14.2
1065	Kouande	Benin	72,779	32,924	20,505	3,610	50,469	957	5.6
1066	Pehunco	Benin	55,595	19,639	6,642	289	36,101	283	13.8
1067	Bottou	Burkina Faso	35,000	47,400	69,200	9,500	110,000	543	6.5
1068	Diapaga	Burkina Faso	23,150	27,200	37,300	10,600	82,000	275	8.7
1069	Tansarga	Burkina Faso	10,400	14,200	19,300	5,100	45,000	231	4.9
1070	Kirtachi	Niger	17,500	14,100	15,600	0	690	735	1.8
1071	Tamou	Niger	62,500	51,200	58,800	14	2,500	1805	2.7
1072	Birni Ngaoure	Niger	72,300	81,000	92,700	240	125000*	2867	2.1
1073	Parc W	Niger	1,030	600	860	0	38	973	0.1

\*data corrected from National statistics because calculated value from Global Dataset was very high (450000)

Animal	Wheights [kg]	N excr. per anim. kg [kg/kg]	N excr. per animal [kg/yr]	Recov. %	N manure [kg/ha]
Cattle	110	0.20	22.0	30	6.6
Pigs	28	0.15	4.2	70	2.9
Sheep	10	0.67	6.7	10	0.7
Goats	8	0.83	6.7	10	0.7
Poultry	0.8	0.30	0.2	60	0.1

$Total\ N\ from\ livestock = n.of\ cattle * 6.6\ kg/N/yr + n.of\ pigs * 2.9\ kg/N/yr + n.of\ goats/sheep * 0.7\ kg/N/yr + n.of\ chicken * 0.1\ kg/N/yr$

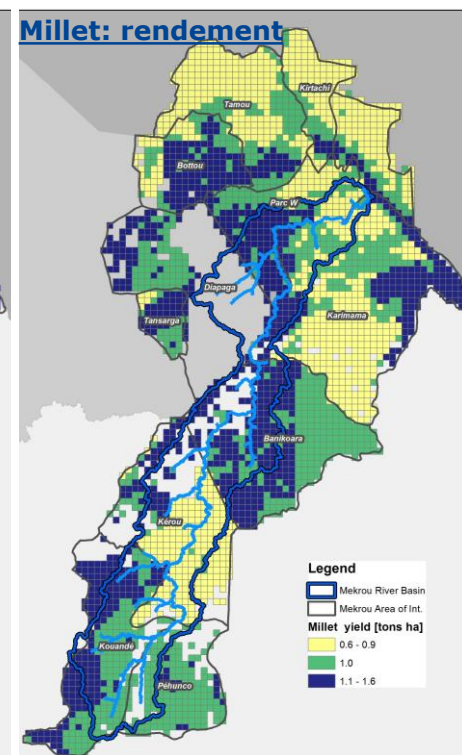
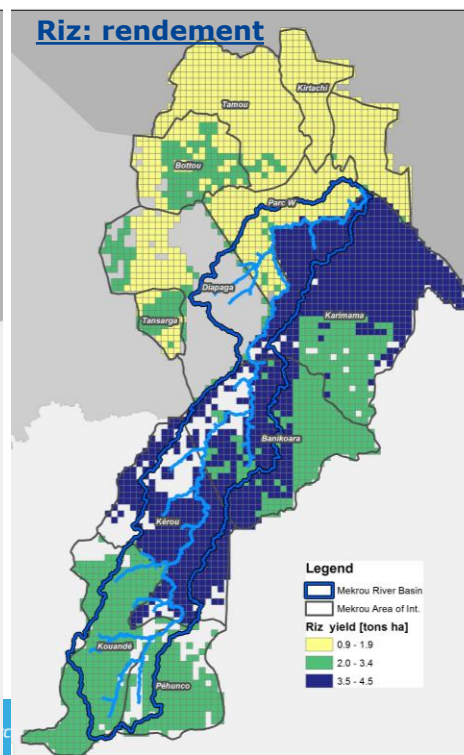
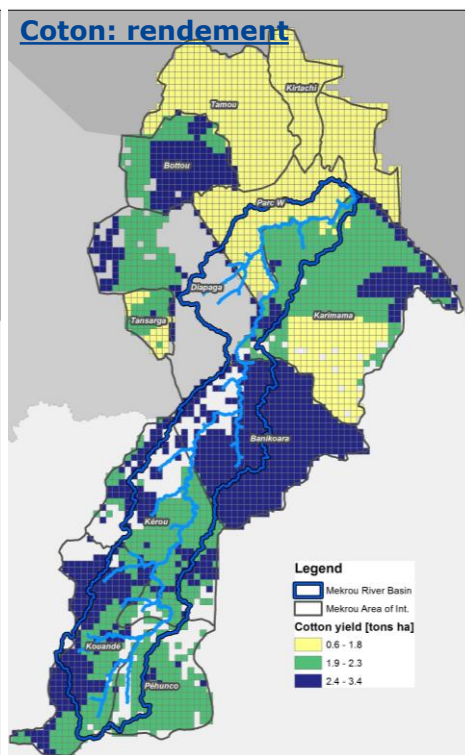
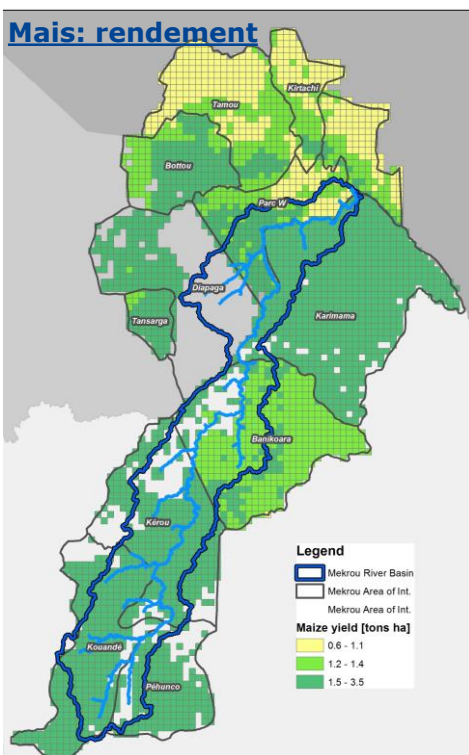
## GESTION DE LA CULTURE: Calendrier de gestion

- Actuellement, la planification des semis et de la récolte a été dérivée à partir des précipitations
- **Date de récolte**: calculée en croissant les caractéristiques du climat et le temps de maturation à partir du stade de semis;
- **Date déplacement de la culture** = Date de récolte + 1 jour. Cela correspond au déplacement physique de la récolte en dehors du champs;
- **Date de labourage**: date de semis -3 jours ;
- **Date d'irrigation**: quand l'irrigation est active, l'option EPIC de planification de celle-ci est utilisée = planification et quantité de l'irrigation sont calculer par rapport au stress hydrique journalier de la plantes. D'autre paramètres sont disponibles pour décrire irrigation ( type, planification des arrosages, pratiques locales...)
- **Fertilisation de culture**: fertilisation minéral est faite après la date de semis (+15 jours) quand l'utilisation des fumiers est ajoutée à 2 périodes distinctes ( -10 jours) et juste après la récolte (+10 jours).

# **EPIC dans le bassin du fleuve Mékrou**

## ***Exemples d'analyses du modèle***

## IDENTIFICATION des zones avec une faible production/contribuant à l'insecurité de alimentaire dans le bassin

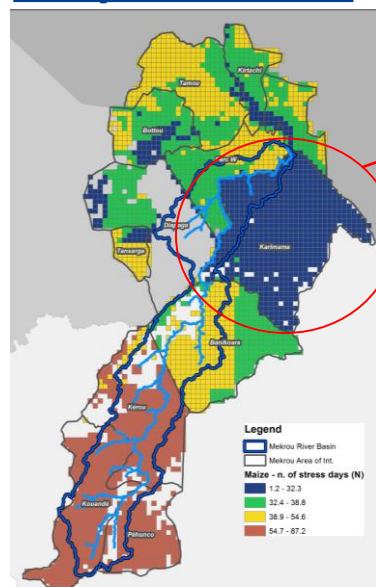


augmenter la production, gestion des engrais minéraux, améliorer la gestion de l'irrigation, améliorer la fertilité des sols, changement de culture, gestion des engrais organiques

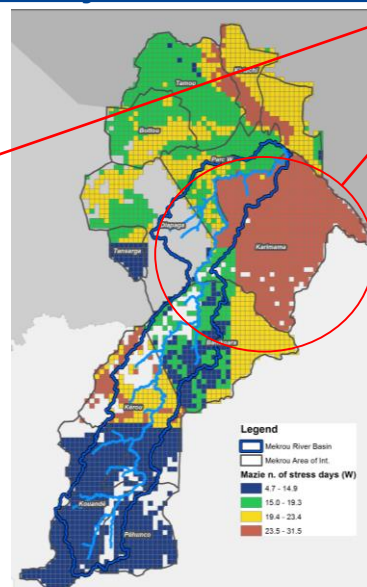
## IDENTIFICATION des stress agronomiques qui limitent la production /contribuant à l'insecurité alimentaire dans le bassin

Zone avec stress N faible (fertilisée) et un  
stress hydrique fort (haut rendements = forte  
demande en eau)

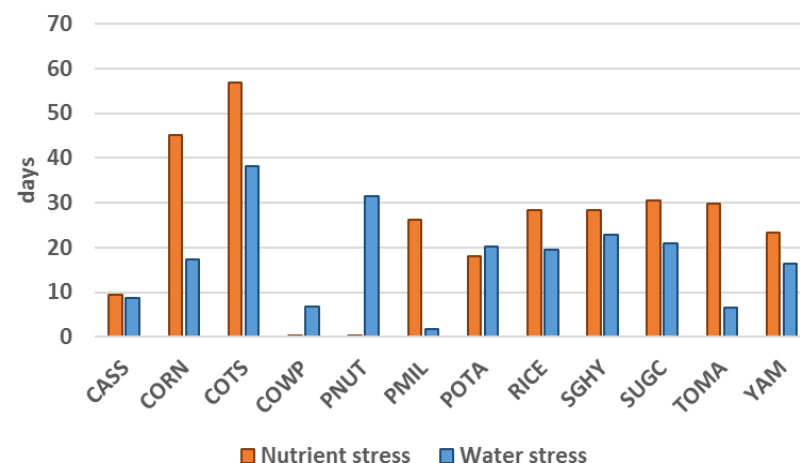
**Maïs: jours de N stress**



**Maïs: jours de stress Eau**



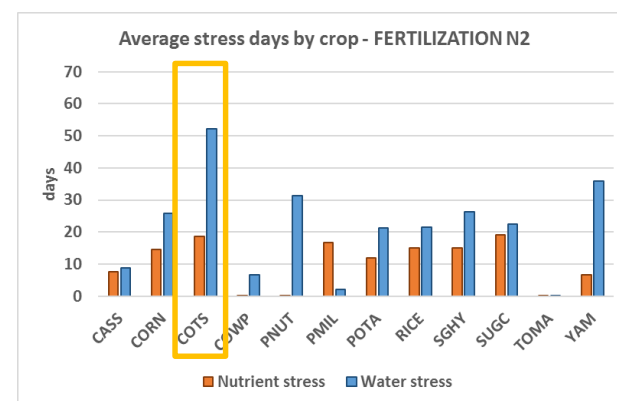
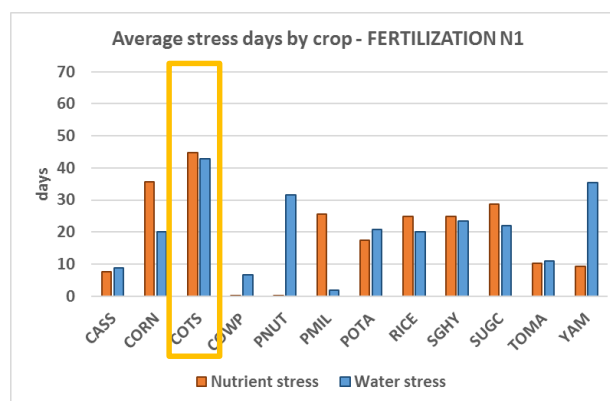
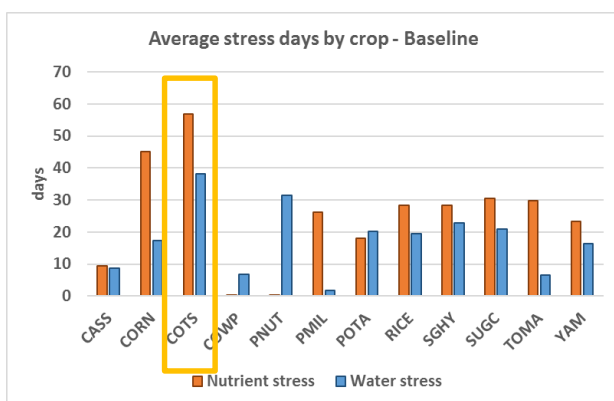
Average stress days by crop - Baseline





## FACTEURS LIMITANTS LA PRODUCTIVITÉ

- La disponibilité de l'Azote N est plus important pour toutes les céréales comme le maïs, coton, sorgho, millet et riz, mais aussi le sucre et légumes
- Exemple : dans le cas du maïs et du coton, 45-55 jours de stress correspondent à un stress de longue durée impacterait de manière forte la production.
- Il est possible d'identifier comment les fertilisant peuvent augmenter le stress hydrique: par exemple les figures si dessous montre comment le stress hydrique évolue selon le niveau de fertilisation selon les scenarios N1, N2 et N3: l'augmentation du N implique une augmentation parallèle de la consommation d'eau.



## Variabilité de la productivité des cultures dans un contexte de changement climatique.

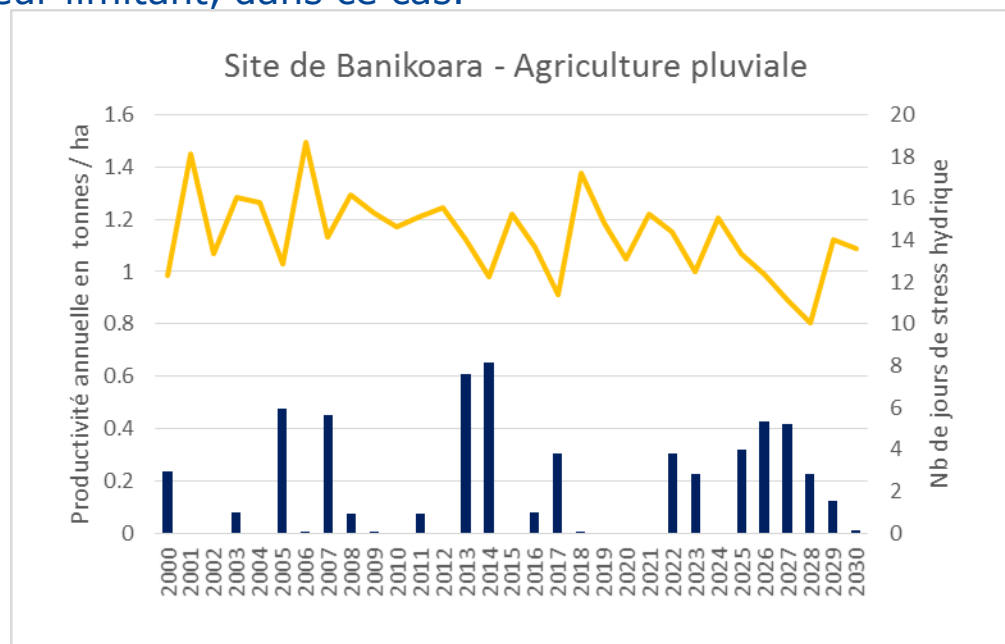
- La variabilité de la production agricole dépend de plusieurs facteurs dont les plus importants sont les facteurs climatiques et de gestion de la culture.
- Le facteur climatique est généralement central dans le cas de l'agriculture pluviale où les variables climatiques, températures et précipitations affectent la croissance de la culture.
- 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.

**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).**

## La variabilité de la production agricole annuelle avec EPIC

- Dans les conditions du scénario Baseline/courant (Scenario 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.

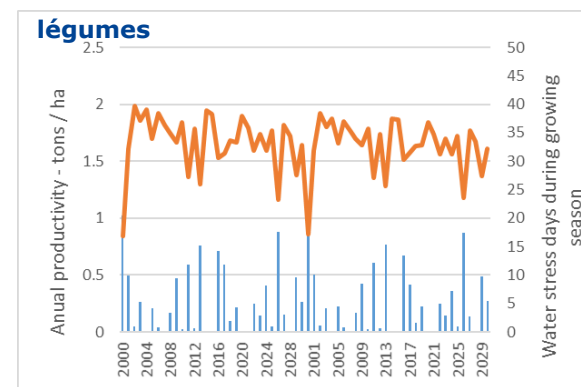
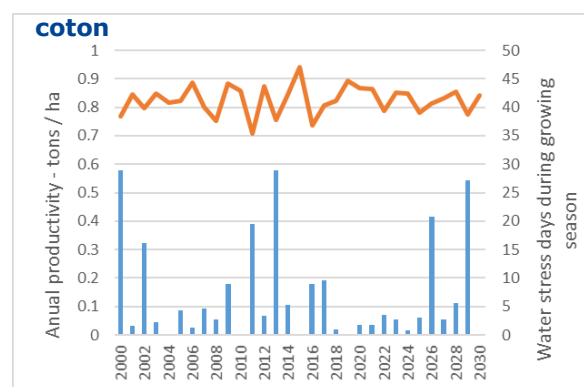
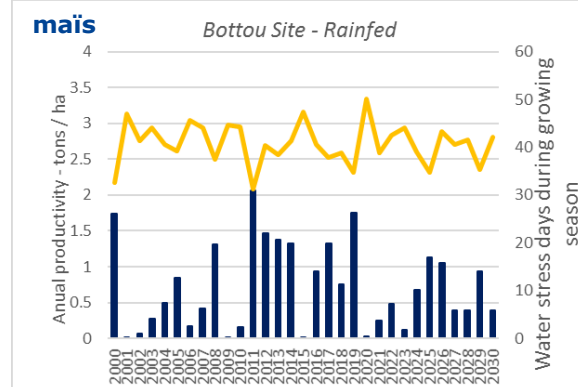
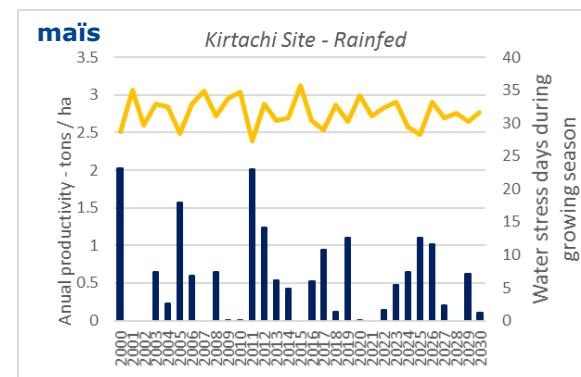
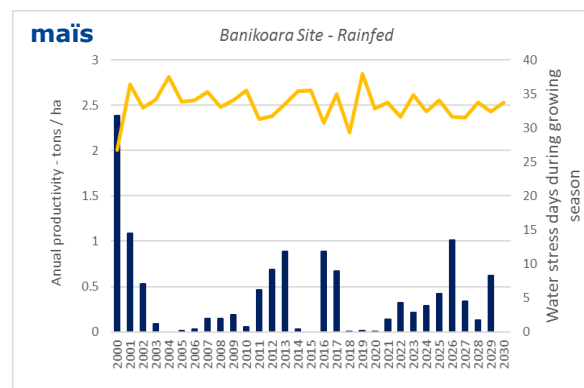
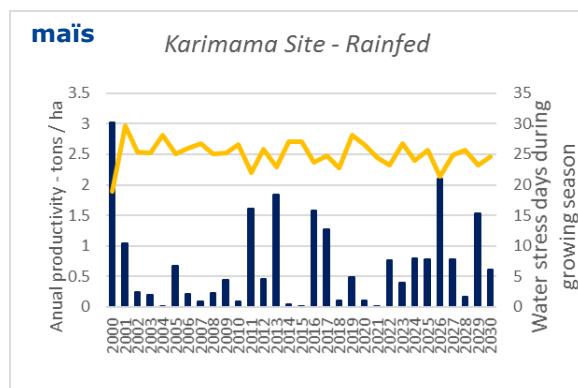
→ un effet du stress hydrique sur la productivité peut être observé, du moins durant les années sèches:



## La variabilité de la production agricole annuelle sous contrainte climatique

### SCENARIO : agriculture pluviale – stress N modéré

- 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



## La variabilité de la production agricole annuelle sous contrainte climatique

### SCENARIO: agriculture pluviale – stress N modéré - culture du maïs (1/2)

- **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.

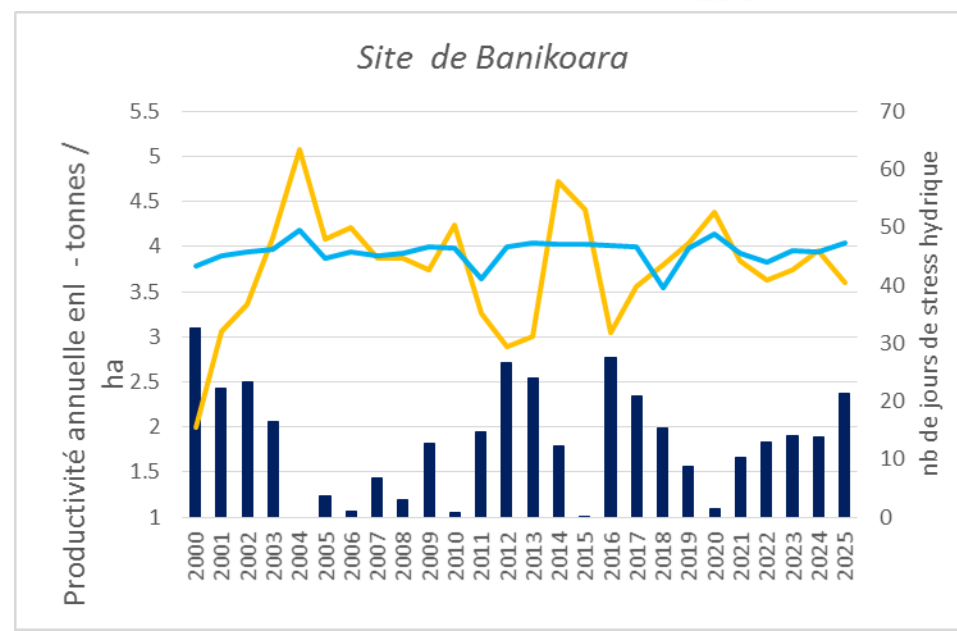
## La variabilité de la production agricole annuelle sous contrainte climatique

### Simulations SCENARIO 2a et 2b incluant une STRATEGIE d'IRRIGATION

- 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 (2.a ligne jaune) est bien plus prononcée que dans le cas l'irrigation (2.b ligne bleue).

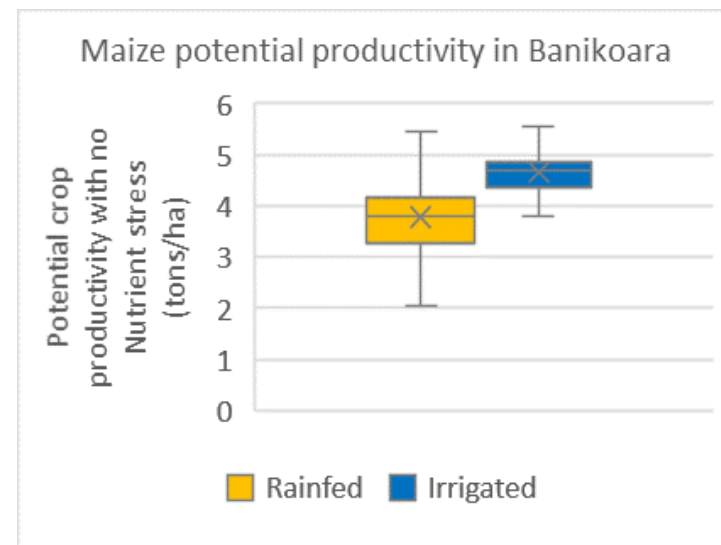
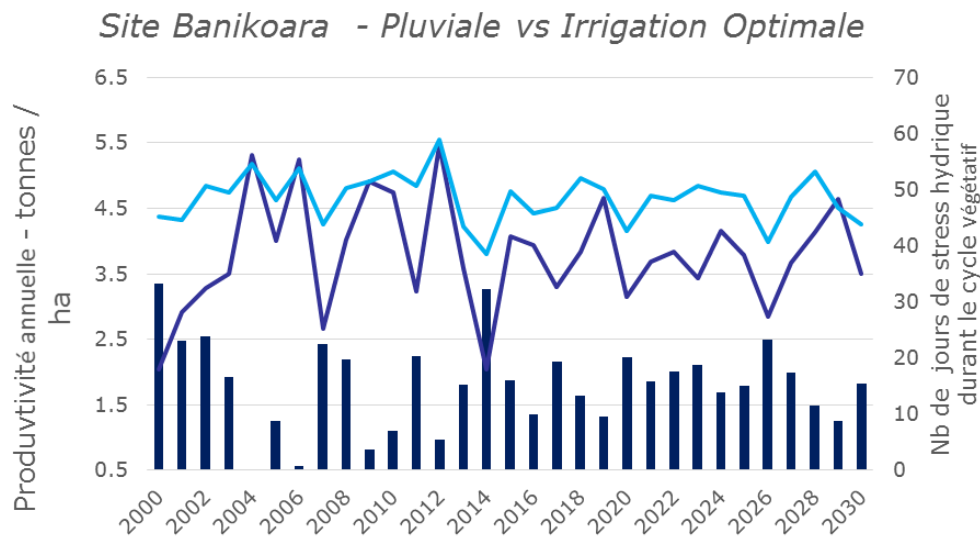


## La variabilité de la production agricole annuelle sous contrainte climatique

### SCENARIO 3: IMPACT de l'IRRIGATION et FERTILISATION OPTIMALE

- 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 (la contrainte des nutriments est importante. Avec EPIC, cette contrainte peut être totalement annulée en autorisant le model a fournir toutes les quantités de nutriments nécessaires)
- Période 2000-2030

#### EXEMPLE Maïs



## Résultats pour le maïs

- En considérant cette hypothèse sans stress nutritif, la contribution de l'irrigation durant les jours de stress hydrique est plus visible.
- 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 et le rendement minimum réduit.
- 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.



**Merci pour  
votre attention**

**EPIC**  
Environmental Policy Integrated Climate model

