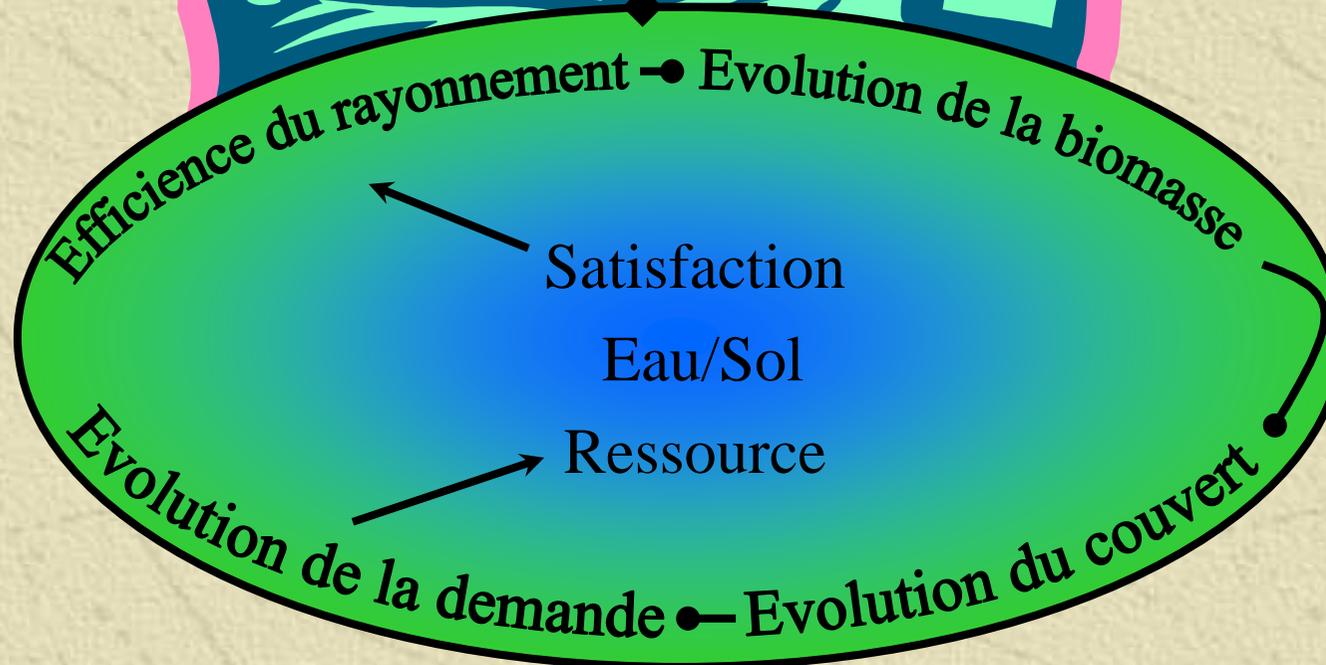


SarraH



Exemple : CEREALES

Présentation : Christian Baron

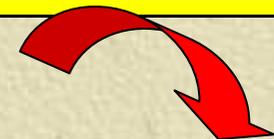
Le modèle a besoin de :

données de forçages et de paramètres

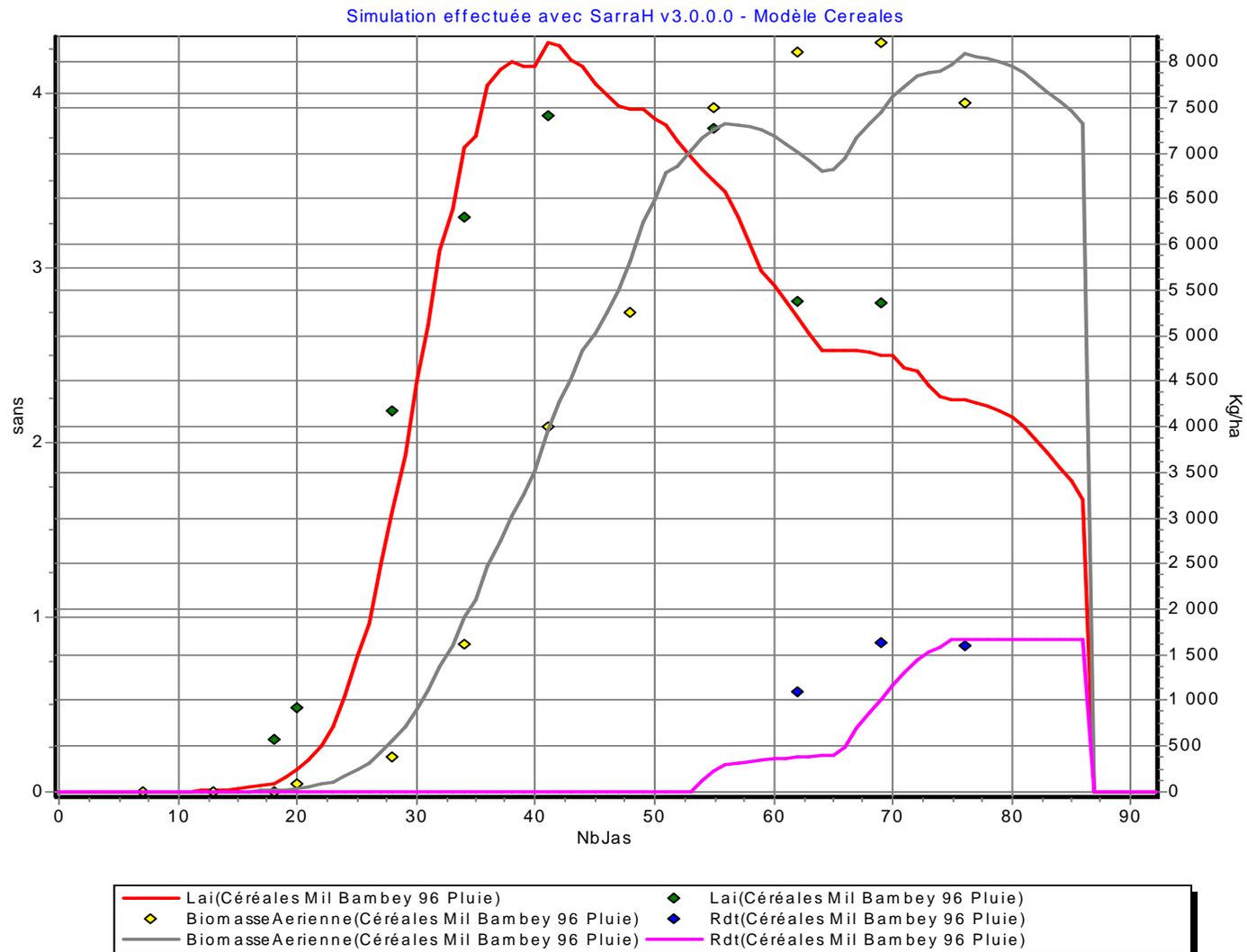
pour modéliser des processus LOCAUX

Environnement.....	Agronomique.....	Génotype.....
Rayonnement global/Pluie	Date de semis (simulée)	Seuil de températures
Eto (demande climatique)	Densité de semis (pb)	Sensibilité photopériode
Température de l'air	Paquet technique (fertilité, travail sol...)	Coefficient d'extinction
Photopériode	Irrigation	Paramètre de partition des assimilats
Texture du sol (RU, RUE)	Mulch	Potentiel d'efficience du rayonnement
...	...	Dynamique et potentiel d'enracinement
...

Exemples

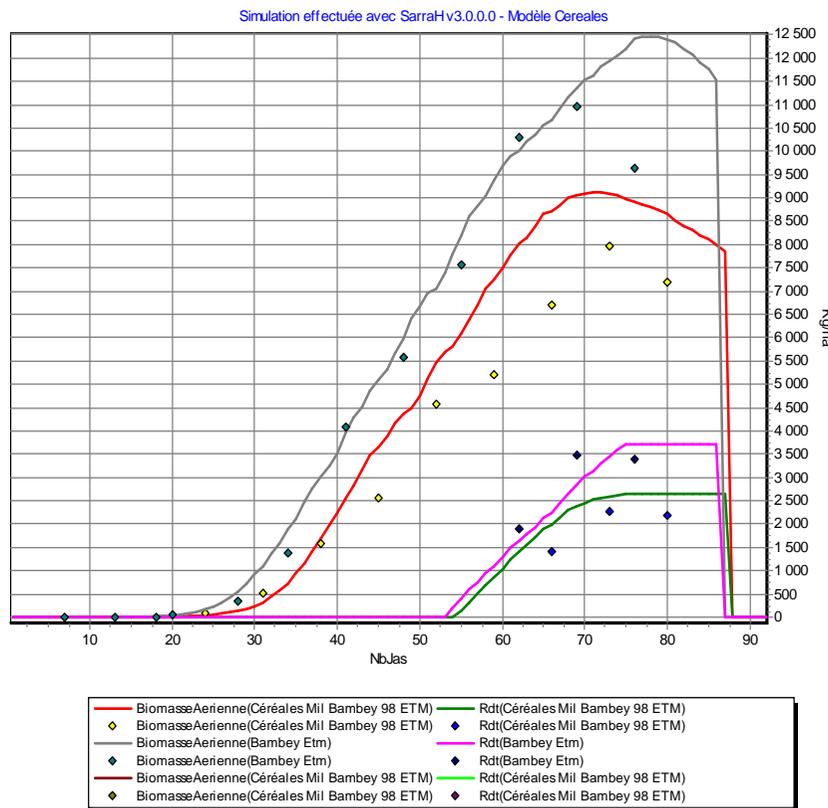


Calibration en milieu contrôlé : expérimentation 1996 en pluviale stricte

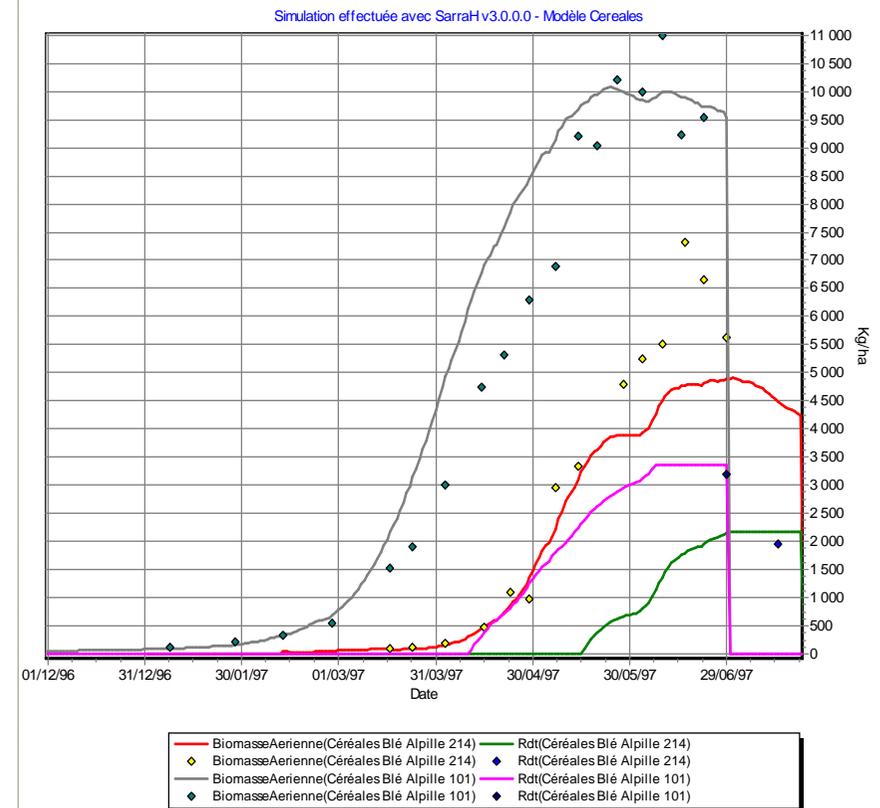


Robustesse du modèle : climats contrastés et autres céréales

Expérimentation, Mil Souna 3,
Sénégal, Bambey (1996, 1998)



Champs paysans, Blé dur Armet,
Avignon, semis en oct. 96 et fév. 97



Même modèle céréale, seuls changent les paramètres plantes :
C3, C4... vivaces...

Objectifs

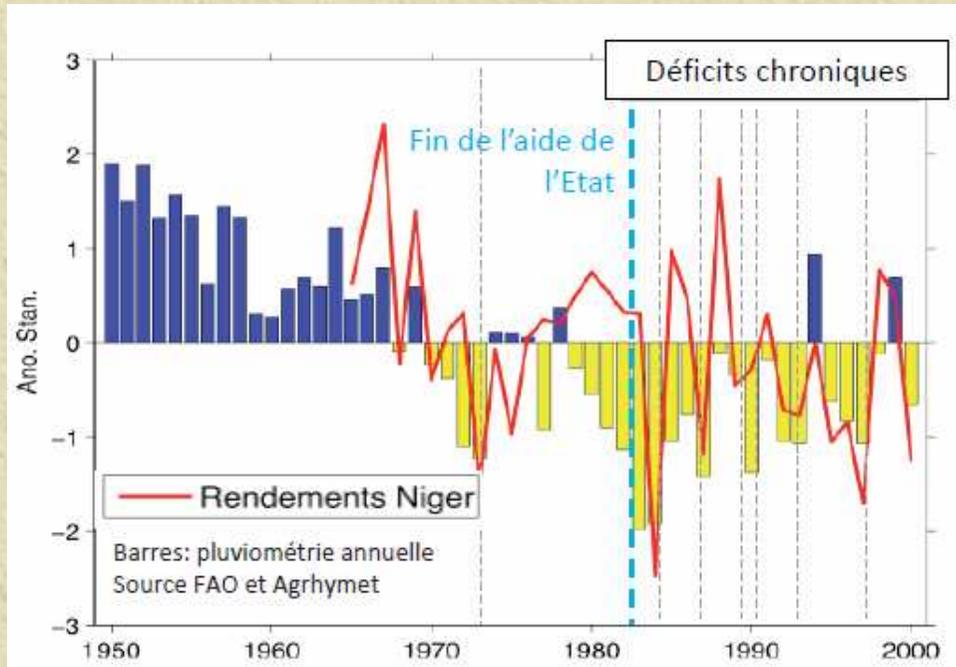


- Diagnostic et suivi
- Système d'alerte précoce
- Prévisions à court terme, saisonnière
- Base de décision pour la sélection variétales

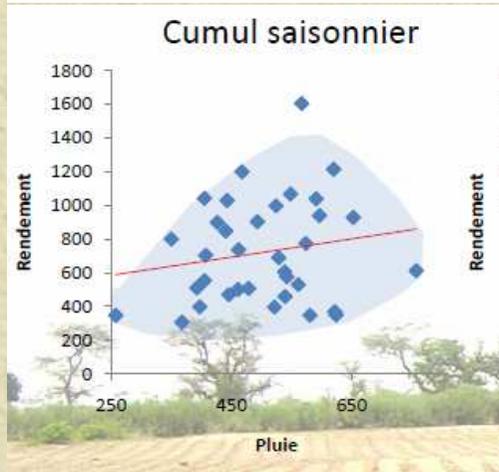
Il faut définir des :

- Scénarios climatiques vs stratégie paysannes (pratiques & variétés)

Mais de quoi parle t'on ?

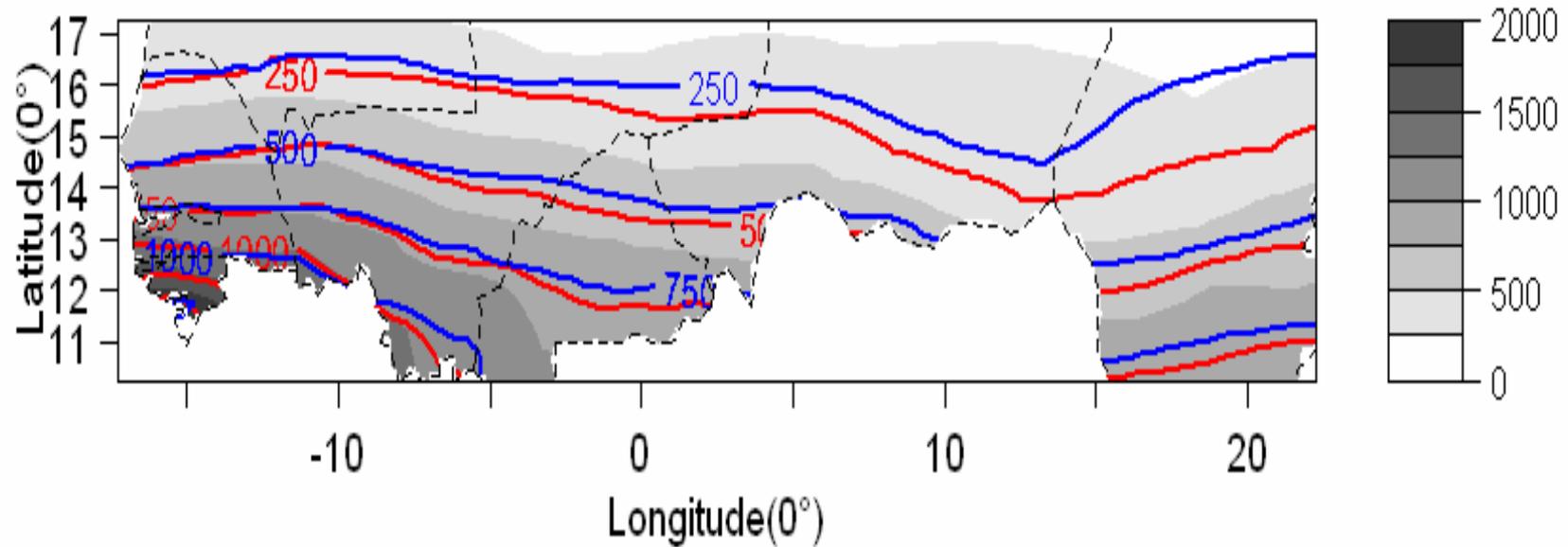


- Des contraintes socio économiques (marchés, états...)
- des contraintes environnementales (sol, climat..)
- des pratiques agricoles
- ...



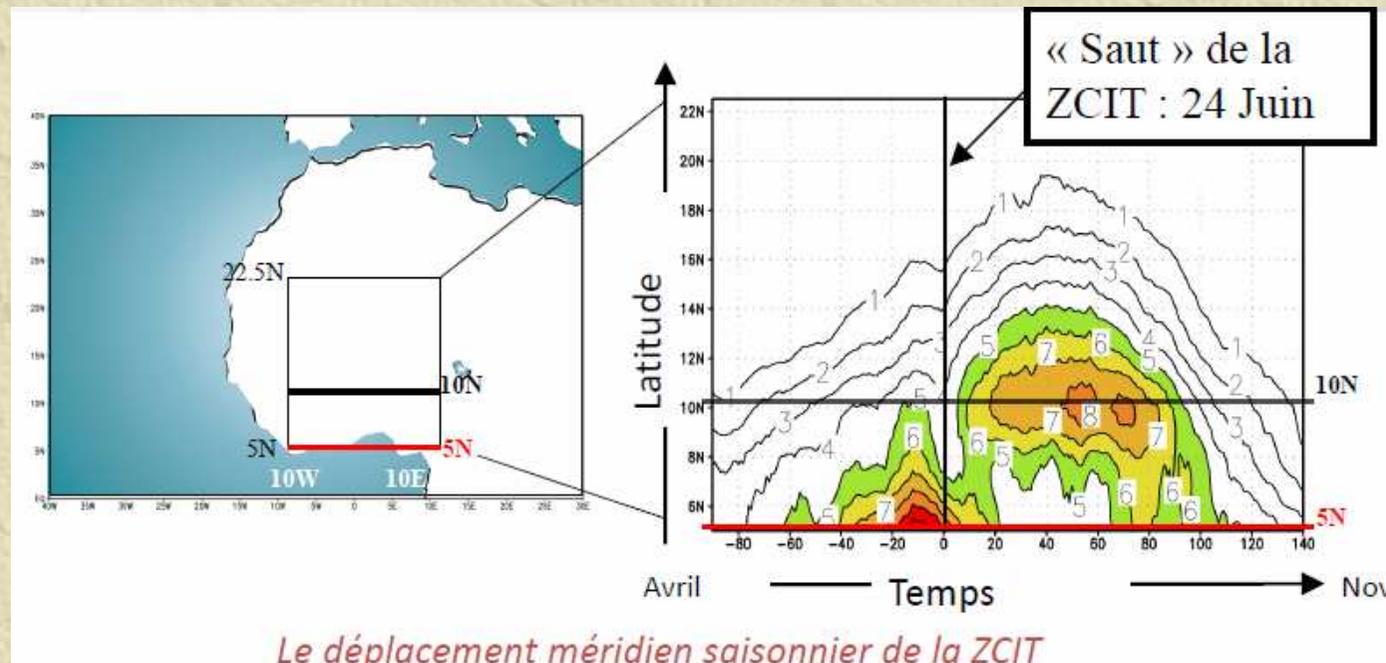
Un simple cumul saisonnier ne suffit pas

A quelle échelle de temps et d'espace ?



1950 – 1969 : bandes grises, 1970 – 1989: traits rouges, 1990 – 2009: traits bleu
Présentation Abdu Ali, SMHI, Ouaga 2010

Une saison des pluies ?



**Du Sud au Nord une forte variabilité saisonnière,
une saison des pluies bi-modale à modale,
mais aussi des constantes (Sultan & Janicot, 200,2003)**

Il faut s'adapter

Même Plante



Semis 17 Juin

Même personne



Semis 17 juillet

Différentes
dates de semis

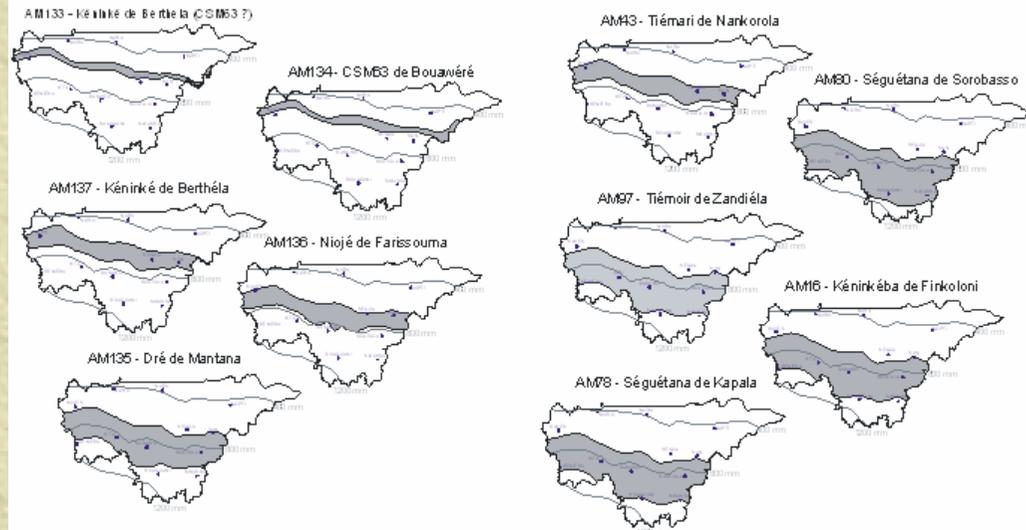


Semis 17 Aout

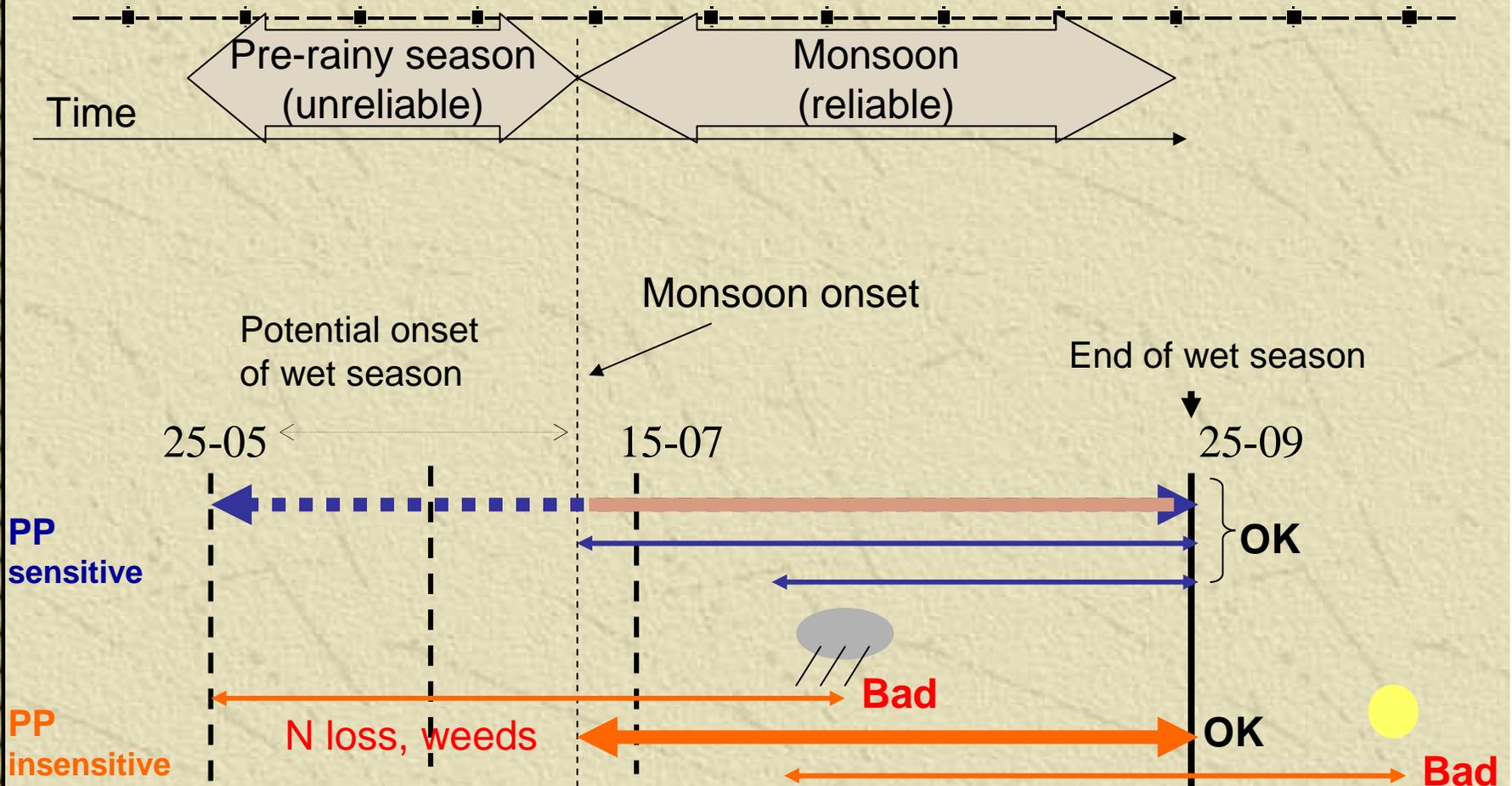
Donc simuler
la biodiversité &
les choix paysans

Donc localiser
cette diversité

Détermination des zones optimales de cultures



Il faut modéliser ces adaptations



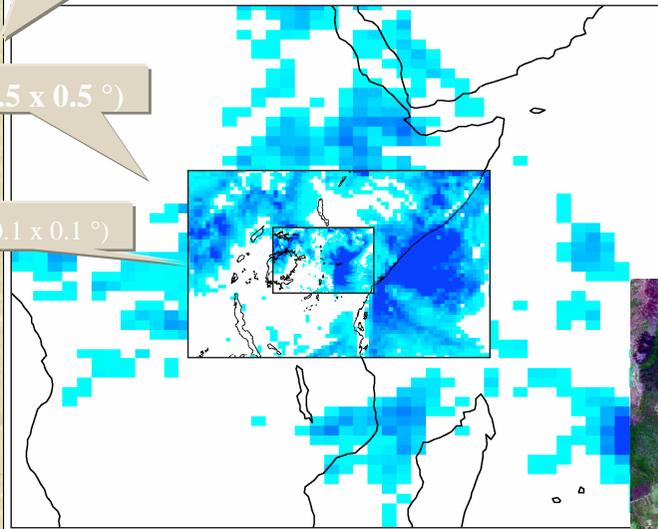
Dingkuhn & al., A model of sorghum photoperiodism using the concept of threshold-lowering during prolonged appetence, 2007

Il faut adapter les échelles

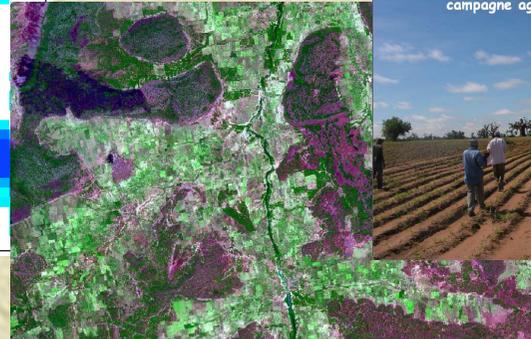
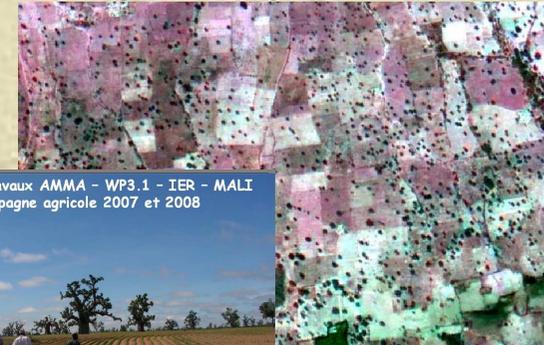
GCM (2.5 x 2.5 °)

RCM (0.5 x 0.5 °)

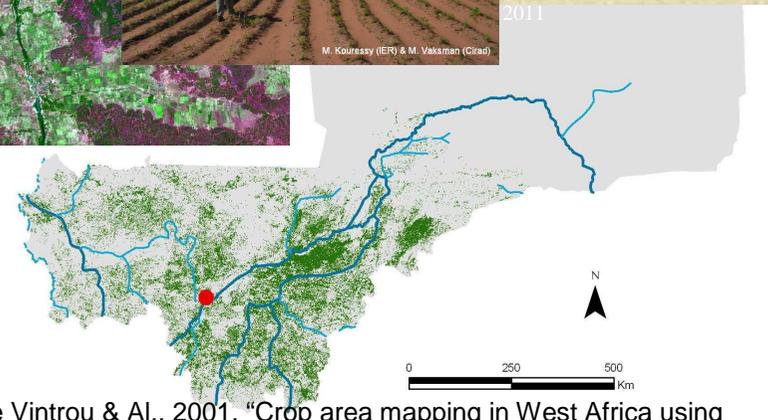
RCM (0.1 x 0.1 °)



Pour les cultures/productions il faut agréger à des échelles plus grandes :
parcelle -> village -> région

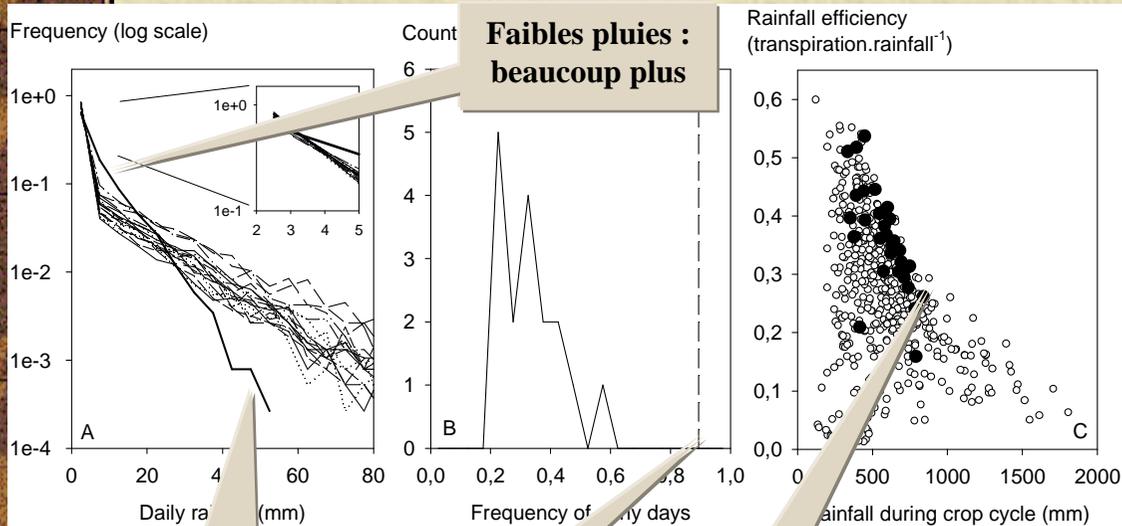


Pour le climat il faut désagréger à des échelles plus fines :
de 62 500 km² à 100 km² à 1 km²...



Elodie Vintrou & Al., 2001, "Crop area mapping in West Africa using landscape stratification of MODIS time series and comparison with existing global land products"

Pour éviter le trop globale !



Les fortes pluies : il y en a moins et sont plus faibles

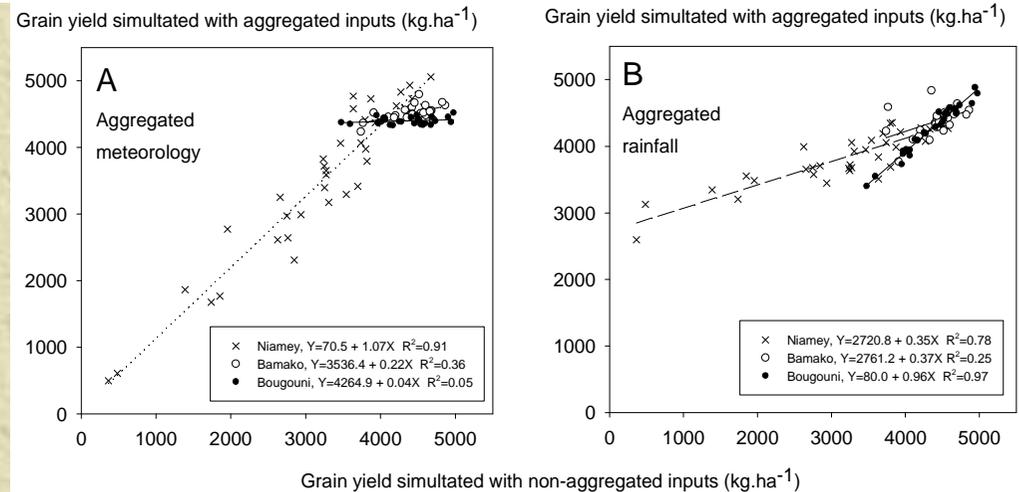
Il pleut presque tous les jours !

Elles sont plus efficaces pour les plantes

Les GCM sont calibrés avec des séries historiques ré-analysées sur des grilles dont chaque point représente une surface d'environ 62 500 km²

Au Sénégal sur cette grille nous avons effectué la moyenne journalière des 17 stations climatiques situées sur ce point GCM (données agrégées).

Du Nord au Sud les effets ne sont pas les mêmes



A l'échelle locale, des plantes, la mousson Africaine ressemble à la mousson indonésienne !!!



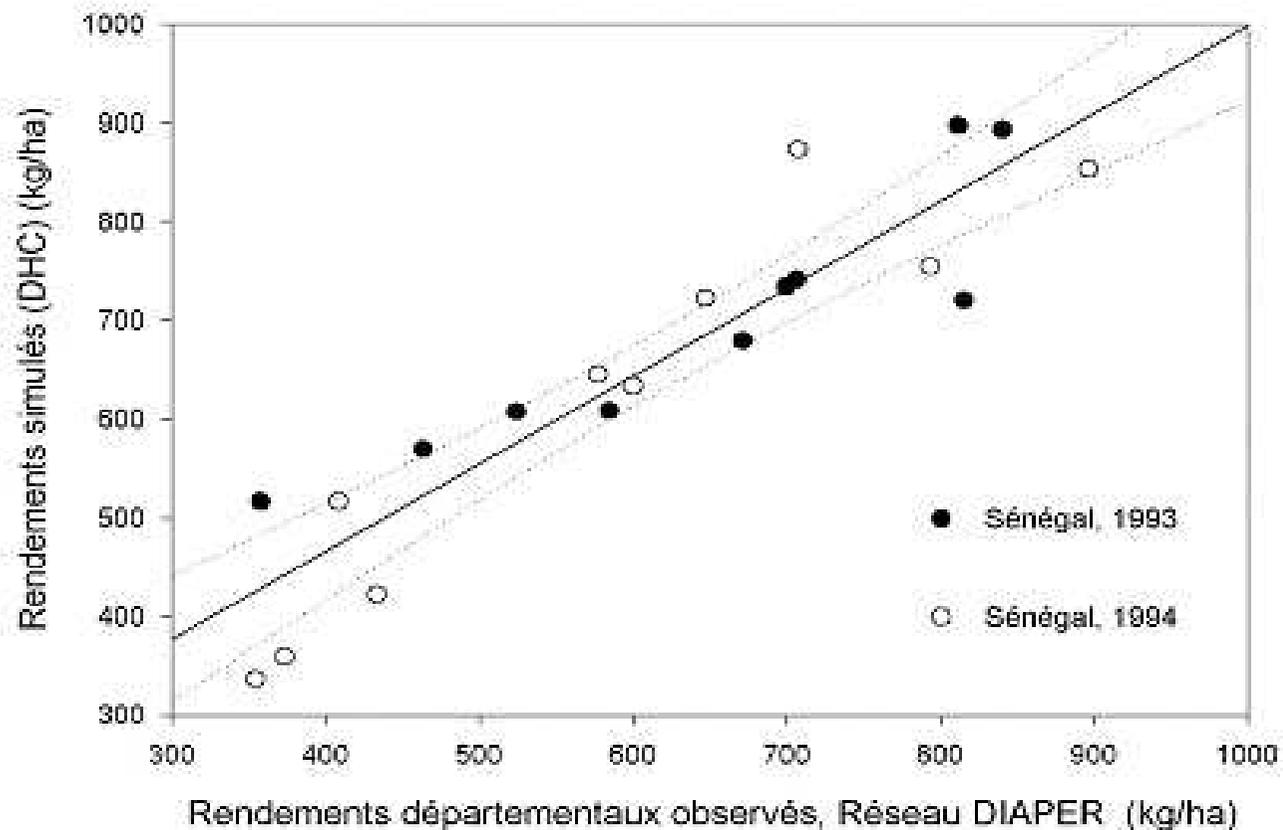
SARRAH

Processus de bases simulés par le
modèle de culture

DE Sarra : bilan hydrique et rendement empirique (Utilisé en AO, Au Brésil...)

✦ relation empirique en fin de cycle :

$$\text{Rdt} = a + b \text{ IRESP}$$



à SARRAH

-
- ✦ *Gestion des dates de semis fn(pluies)*
 - ✦ Phénologie, photopériodisme
 - ✦ Elaboration & répartition de la biomasse
 - ✦ LAI fn(biomasse) -> *Coef.culturaux (Kc)*
 - ✦ *Bilan hydrique (réservoirs, Tr & Evap)*
 - ✦ Elaboration du rendement

Combiner deux approches de modélisation

✦ Sous le contrôle d'un « moteur »
phénologique

- ✦ Water Use Efficiency (WUE) :

Eau -> biomasse (BH type réservoirs, KC)

- ✦ Radiation Use Efficiency (RUE) :

Energie radiative -> biomasse

(BC type Sinclair, LAI)

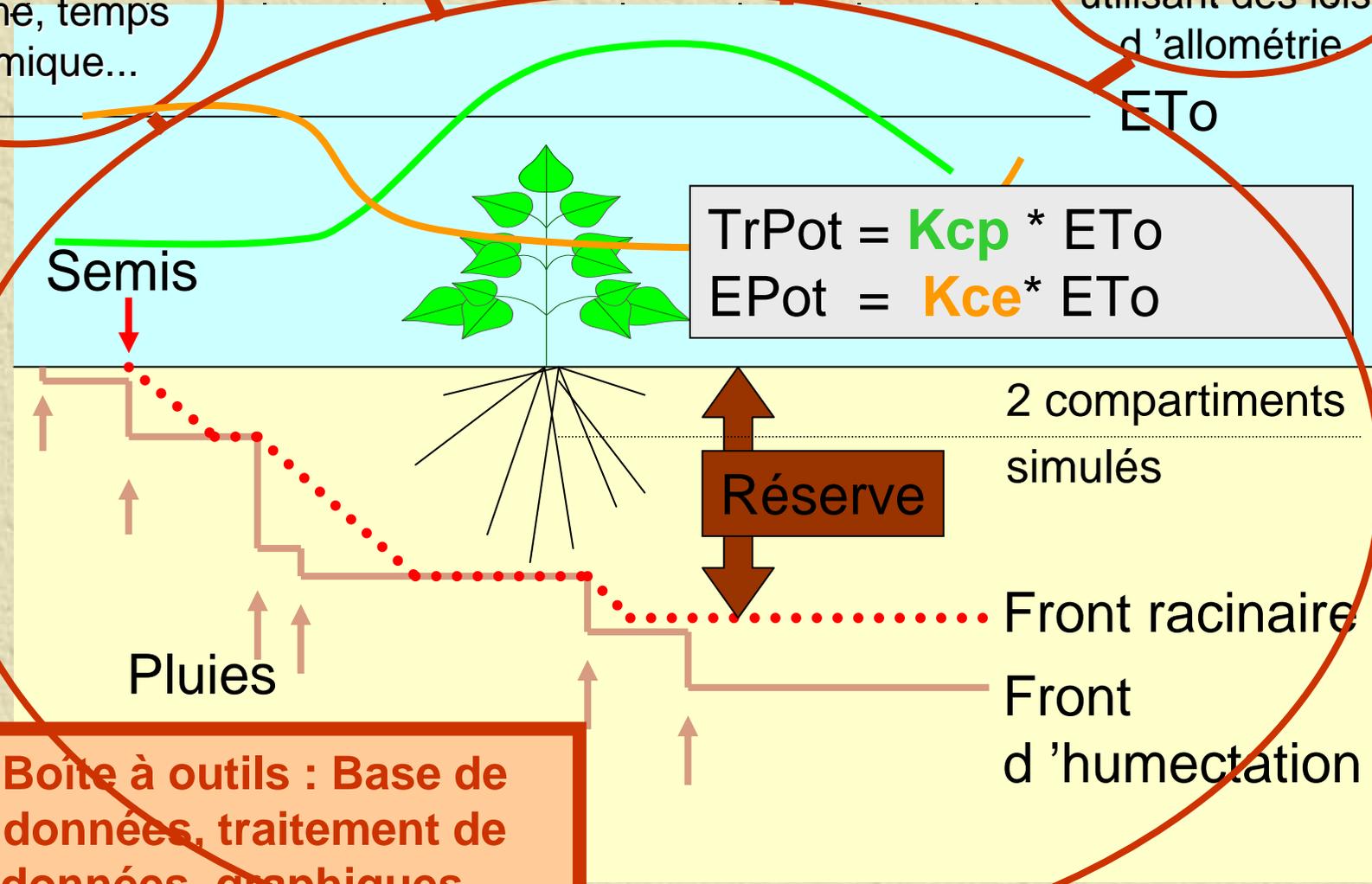
De SARRA à H

Phénologie
(PPisme, temps thermique...)

Dynamique du Kc
(fonction de LAI utilisant la loi de Beer, **séparation E et Tr**)

Assimilation de C
(fonction de ϵ_a et ϵ_b , frein hydrique **FAO** ou **Eagleman...**)

Répartition de la BM
utilisant des lois d'allométrie



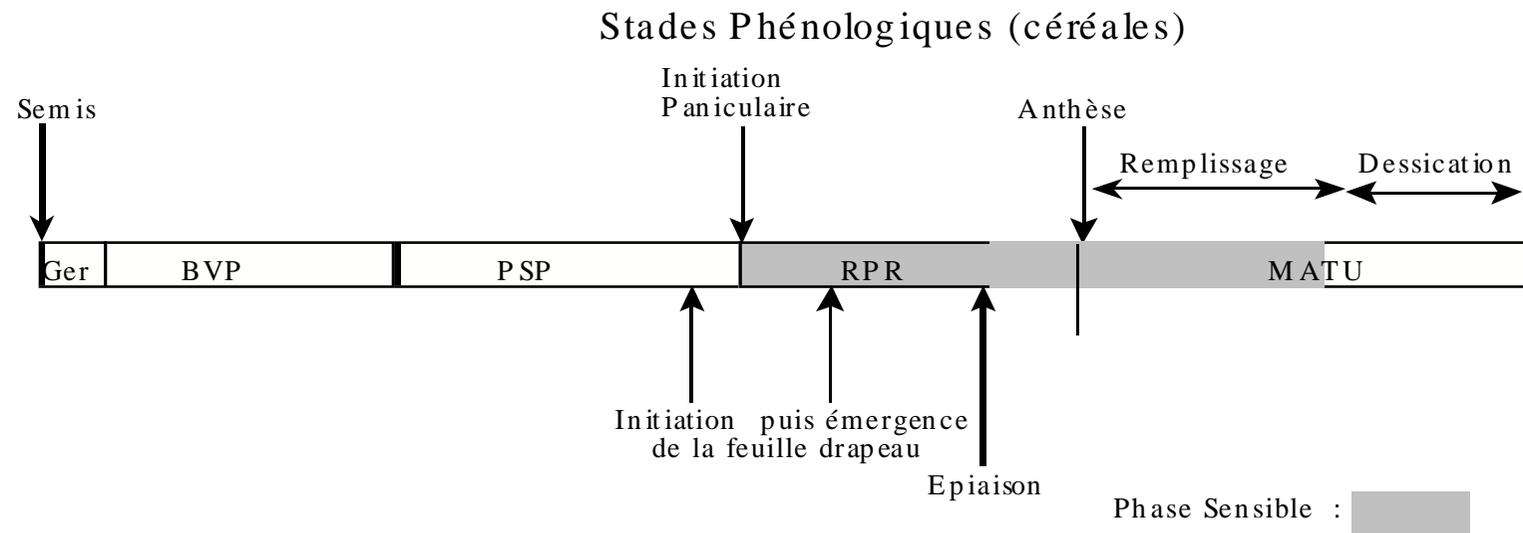
Boîte à outils : Base de données, traitement de données, graphiques...

SARRAH : BH & BC (WUE x RUE)



- ✦ Un moteur phénologique, base d'évolution des processus
- ✦ *Bilan hydrique : une dynamique réservoirs*
- ✦ *Bilan carboné : une dynamique de la biomasse*

Six phases phénologiques



- Les phases phéno. sont définis par des seuils de somme de températures, elles évoluent en fonction des degrés jours
- Le photopériodisme (PSP) est basé sur la longueur du jour $fn(\text{latitude}, \text{Jour julien})$

SARRAH : BH & BC (WUEX RUE)



- ✦ *Un moteur phénologique, base d'évolution des processus*
- ✦ Bilan hydrique : une dynamique réservoirs
- ✦ *Bilan carboné : une dynamique de la biomasse*

Bilan hydrique :

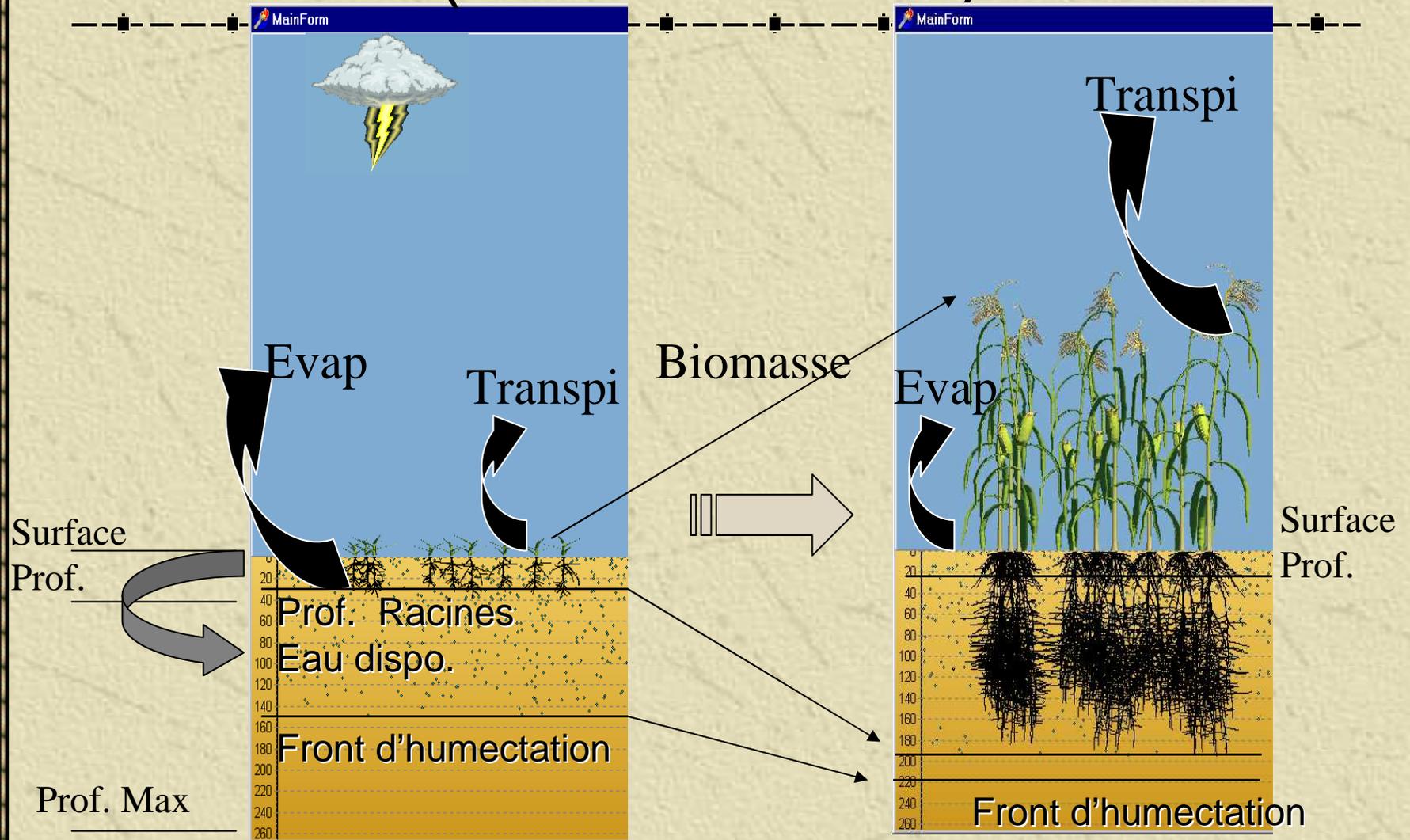
Une dynamique réservoirs - bilan de stocks



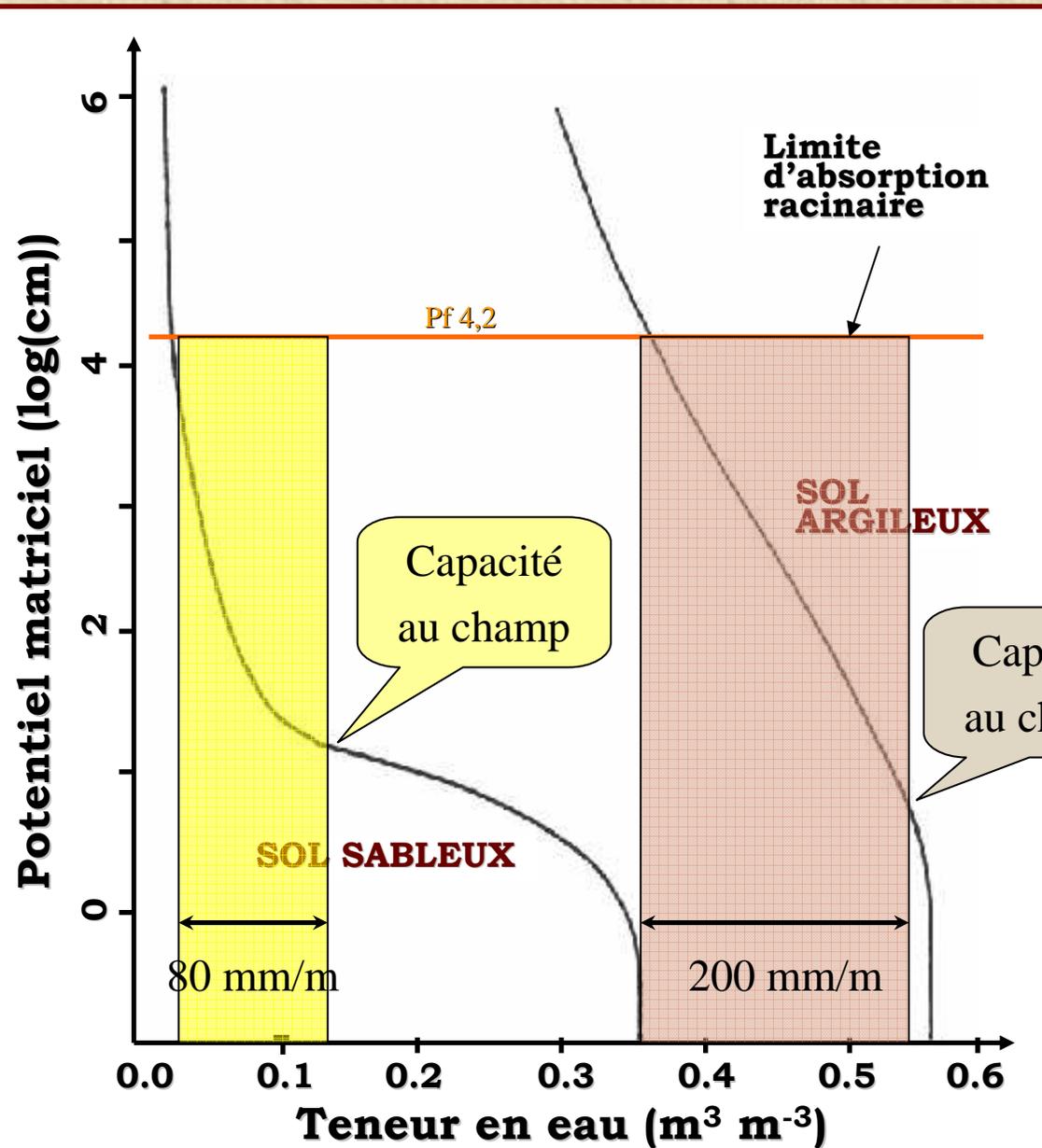
$$\text{PLU} + \text{IRR} - \text{RUIS} - \text{ETR} - \text{DR} = \Delta S$$

- ✦ **Apport d'eau : pluie - Ruissellement + irrigation net**
- ✦ **Ruissellement : méthode seuil**
- ✦ **Remplissage : homogène sur l'ensemble du réservoir
(surface puis débordement sur le suivant)**
- ✦ **Drainage : débordement du dernier réservoir**
- ✦ **Evaporation : sur le réservoir de surface uniquement**
- ✦ **Transpiration : sur la fraction des réservoirs contenant des racines**

Bilan hydrique : 2 réservoirs (base SARRA)



Potentiel Matriciel et Réserve Utile



Capacité au champ :
teneur en eau du sol
24 à 48 h après
humectation
complète, notion de
vitesse d'écoulement

Nota :
humidité volumique
 $HV = HP * da$
avec
 $da \sim 1.5$ pour sableux
1 pour argileux

Processus à l'échelle du champ cultivé

✦ LTR : taux de lumière transmise au sol
 $\exp(-kdf * LAI)$

- kdf indice d'angle foliaire,
- LAI indice de surface foliaire (0 à 5-6)

✦ Evaporation réservoir sol:

- EvPot : $ETo * LTR$
- Ev : $EvPot * (FESW)^2$

✦ Transpiration réservoirs ayant des racines:

- TrPot : $ETo * (1-LTR) * KcMax$
- Tr : $TrPot * Cstr$
 - Cstr : $fn(FTSW, ETo) Pfactor$ FAO

SARRAH : BH & BC (WUEX RUE)



- ✦ *Un moteur phénologique, base d'évolution des processus*
- ✦ *Bilan hydrique : une dynamique réservoirs*
- ✦ **Bilan carboné : une dynamique de la biomasse**

Assimilation : quantité de sucre

✦ On simule la quantité totale d'assimilat produite en équivalent sucre.

✦ Assimilats :

$$\text{PAR} * \epsilon_a * \epsilon_b * \text{Contrainte Hydrique}$$

Avec :

PAR : part du rayonnement photosynthétiquement active ($\sim 0,5 * \text{RG}$)

ϵ_a : Taille du capteur (1- LTR)

LTR : $\text{Exp}(-kdf * \text{LAI})$

ϵ_b : Efficience de conversion (génotype, ie C3 (céréales à paille, colza, tournesol, soja...), C4 (sorgho, mil, canne à sucre ou maïs)

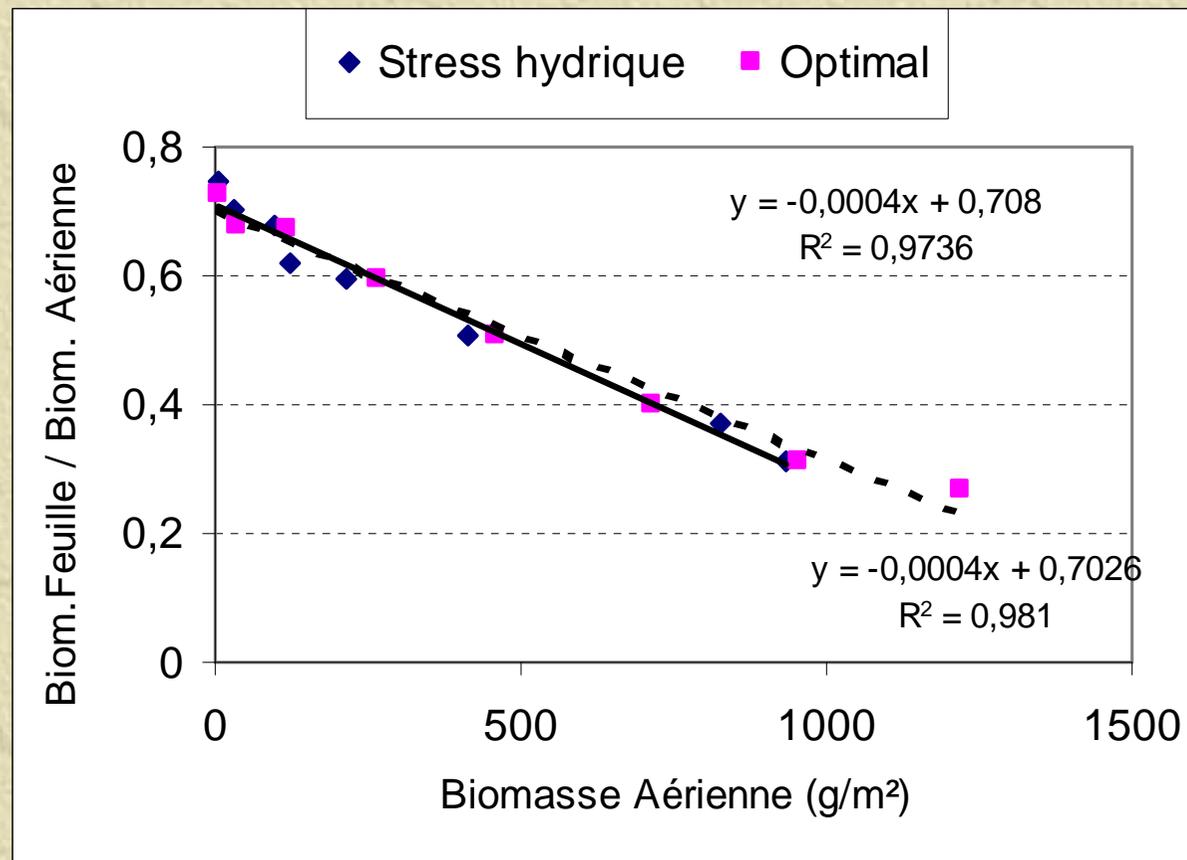
Contrainte Hydrique : Tr/TrPot ... ou autre indice de bilan hydrique

Dynamique de la biomasse

✦ Deux grandes dynamiques de répartition des assimilats en fonction de deux grandes phases:

- ◆ Avant floraison : phase végétative et reproductrice (élaboration de la biomasse totale et dimensionnement des organes reproducteurs)
- ◆ *Après floraison : élaboration du rendement, (phase remplissage et phase dessiccation)*

Robustesse basée sur : la relation allométrique



Expérimentation en station, B. Sarr, Ceraas, Sénégal, 1996

Elaboration de l'indice foliaire (LAI) : concepts originaux

$$\text{Assim} = f(\text{RG}, \varepsilon_a, \varepsilon_{\text{btot}}, \text{freins})$$

$$f(T, \text{BM}_i)$$

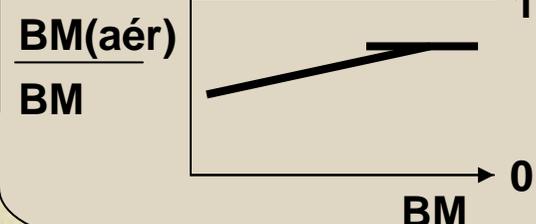
$$\text{BM}_{i+1} = \text{BM}_i + \text{dBM} - \text{Rm}$$

$$\text{BM(aér)} + \text{BM(rac)}$$

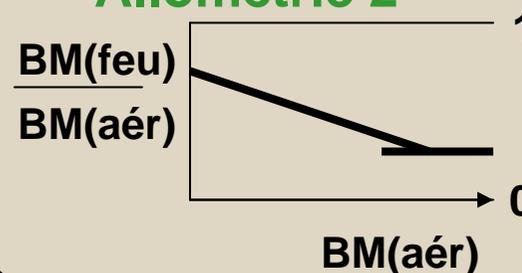
$$\text{BM(feuil)} + \text{BM(tig)}$$

$$\text{LAI} = \text{BM(feuil)} \times \text{SLA}$$

Allométrie 1



Allométrie 2



SLA(max)

SLA(min)

Biomasse feuille et taille du capteur : LAI

$$\text{LAI} = \text{BM}(\text{feuille}) \times \text{SLA}$$


SLA(max)
SLA(min)

Elaboration de la surface spécifique des feuilles (SLA)

-----■-----■-----■-----■-----■-----■-----■-----■-----■-----■-----■-----
Objectif : Simuler le passage masse foliaire => surface foliaire

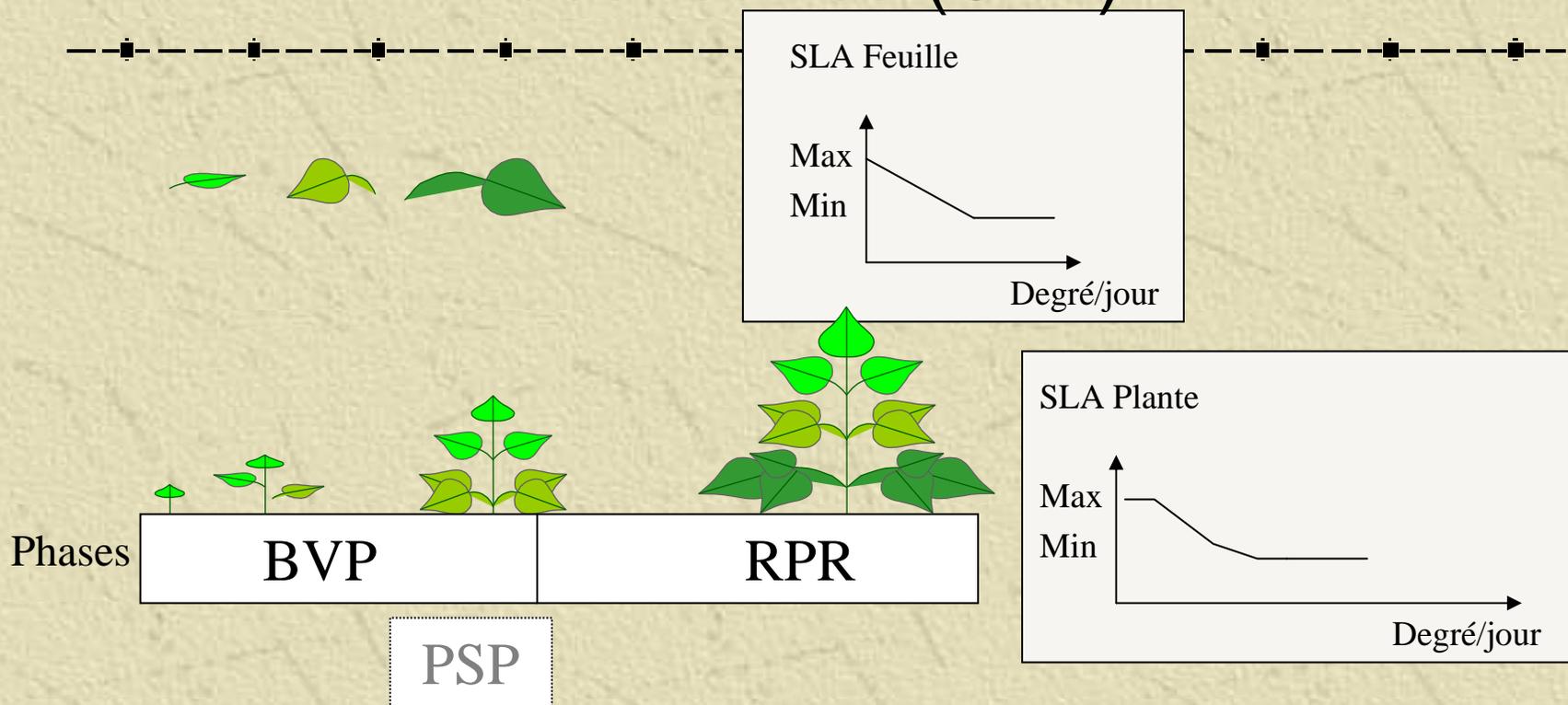
- Chute du SLA = épaisseur des feuilles
 - échelle feuille (phyllochron)
 - échelle plante (cycle végétal)

Principe innovant:

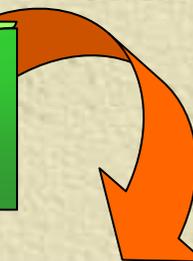
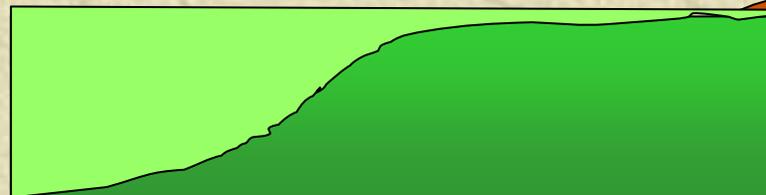
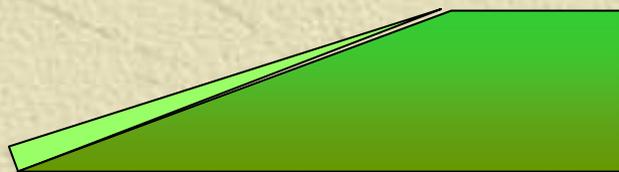
- Feuille : SLA_{\max} , SLA_{\min} , pente = paramètres génétiques
- Couvert : un SLA_{jour}
 - Toute nouvelle production foliaire commence par SLA_{\max} puis chute
 - Calcul d'un SLA_{jour} pondéré par...
 - nouvelles feuilles = SLA_{\max}
 - feuilles existantes (SLA entre min et max)

Résultat : l'évolution du SLA est une fonction du taux de croissance relative

Dynamique de la surface spécifique des feuilles (SLA)



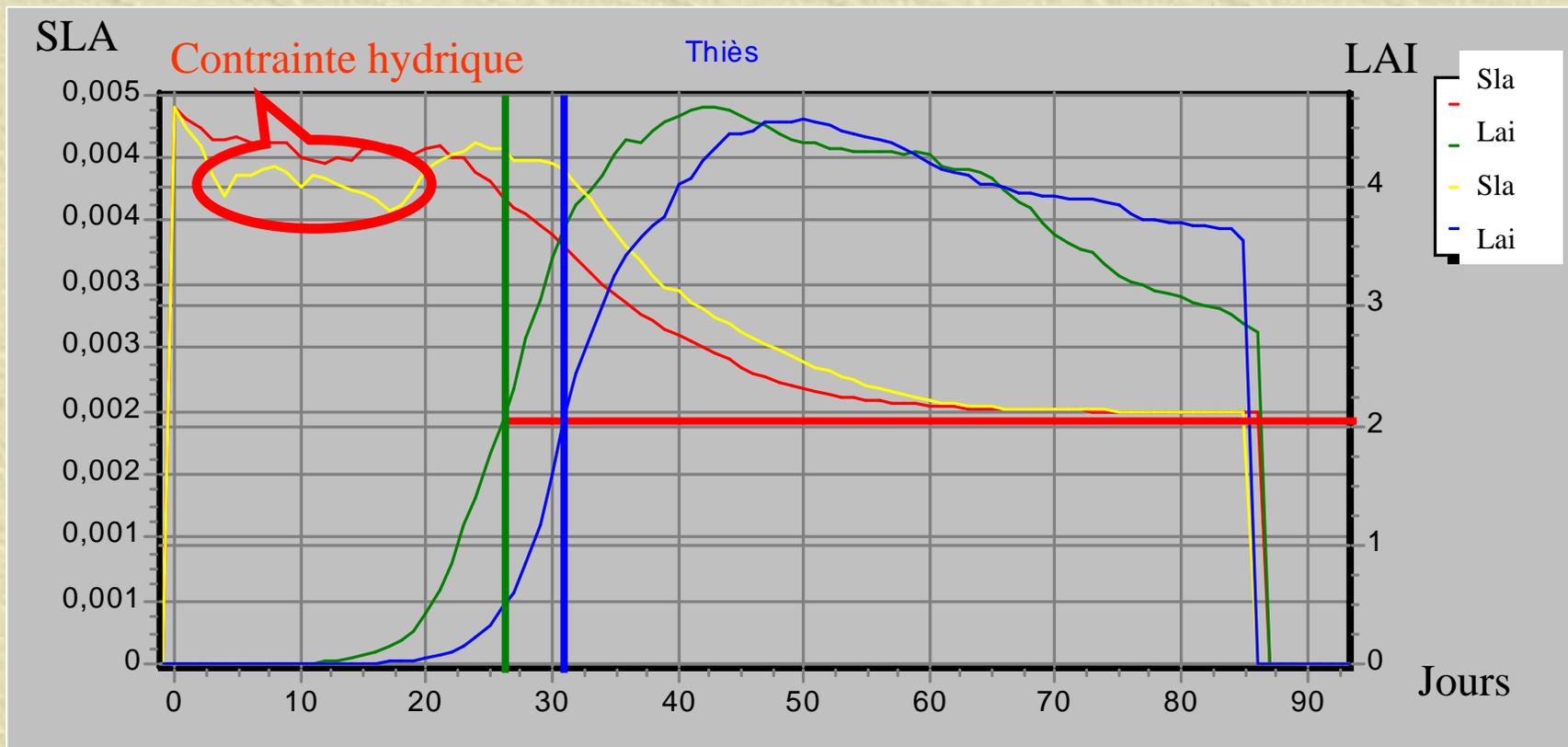
SLA du Couvert : une grosse Feuille → Taux de croissance relative



Relation trophique : LAI & SLA

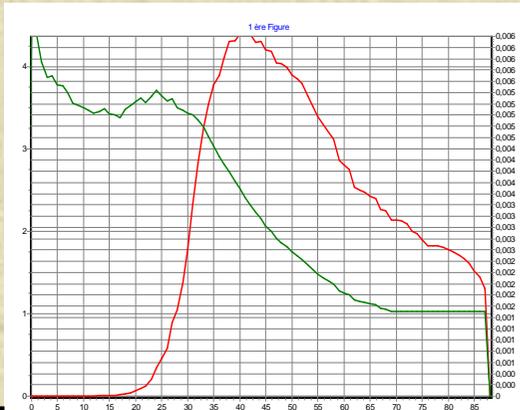
$$\text{LAI} = \text{Biomasse Feuilles} * \text{SLA}$$

$$\text{SLA} = \text{Fn}(\text{dBMFeuilles}/\text{BMFeuilles} \dots)$$

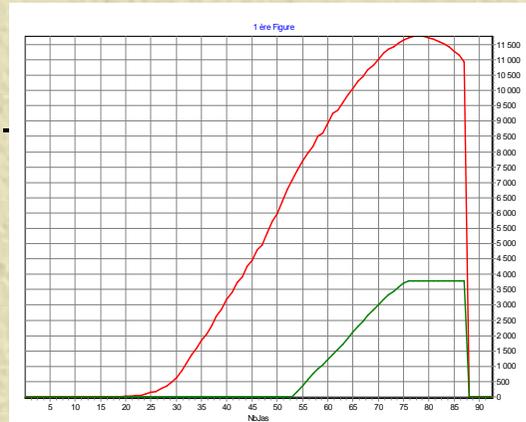


Contraintes et dynamiques

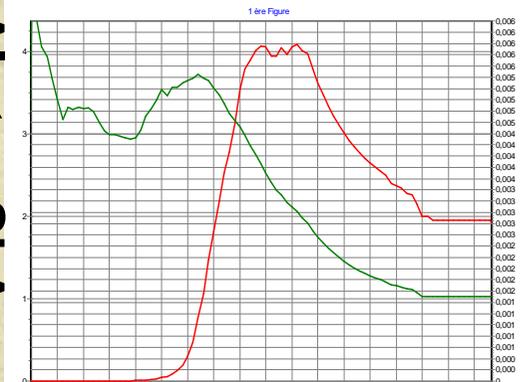
LAJ et SLA



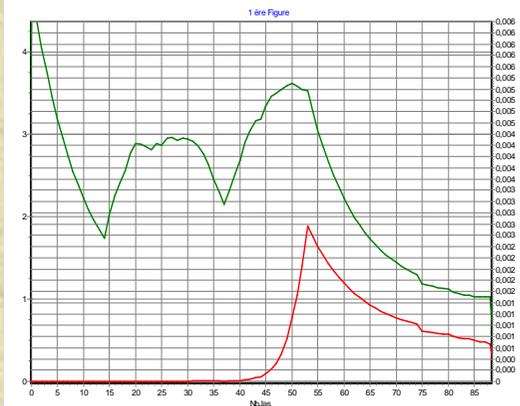
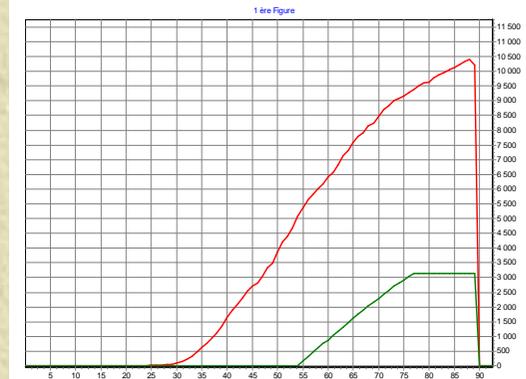
Faibles contraintes
Dynamique normale



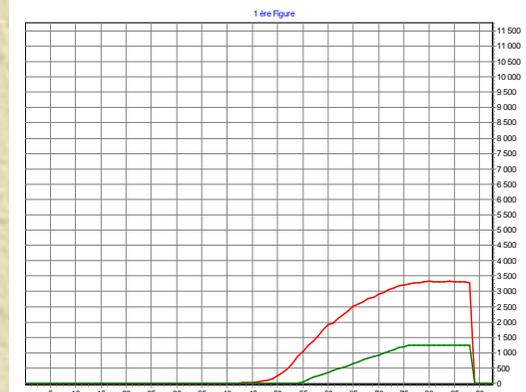
BiomAero et RDT



Forte contrainte initiale
Plante vivace reprise de la dynamique



Fortes contraintes sur 2 périodes
dynamique totalement perturbée



Justification des choix

Contrôle trophique du LAI :

- Réalité physiologique, sensibilité aux ressources
- Permet la maîtrise de l' hypersensibilité aux valeurs initiales :
 - Grâce au contrôle de la répartition des assimilats par des relations allométriques (concept des courbes de dilution) et **NON par le stade phénologique**
 - Facile à paramétrer (mesurable), robuste

Adoption du concept du SLA :

- Distinction entre écotypes (=> écologie fonctionnelle)

Dynamique de la biomasse

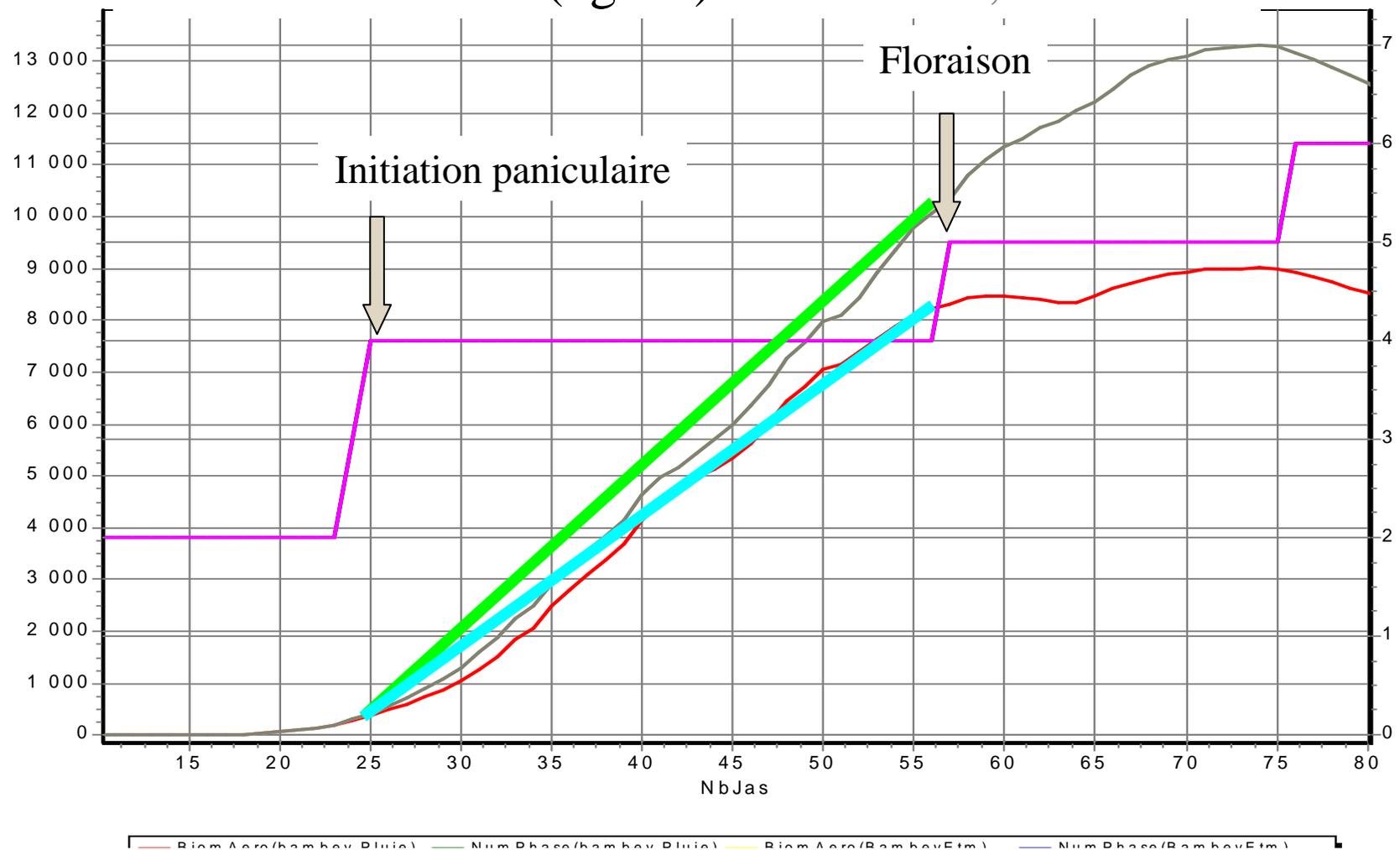
- ✦ Deux grandes dynamiques de répartition des assimilats en fonction de deux grandes phases:
 - ◆ *Avant floraison : phase végétative et reproductive (élaboration de la biomasse totale et dimensionnement des organes reproducteurs)*
 - ◆ **Après floraison : élaboration du rendement, (phase remplissage et phase dessiccation)**

Elaboration du rendement

- ✦ **Dimensionnement du puits (nbre de grains) lors de la phase reproductive en fonction de l'état de la plante**
RPR : initiation des panicules à floraison,
Etat : fn(dynamique de la biomasse)
- ✦ **Remplissage des grains, concept source/puit : indice de compétition (IC = Offre/demande)**
ie : assimilats net / demande reproductive
- ✦ **Ré allocation des feuilles : IC < 1 et sénescence (réduction de la capacité d'assimilation ϵ_b)**
- ✦ **Réduction de la biomasse verte**

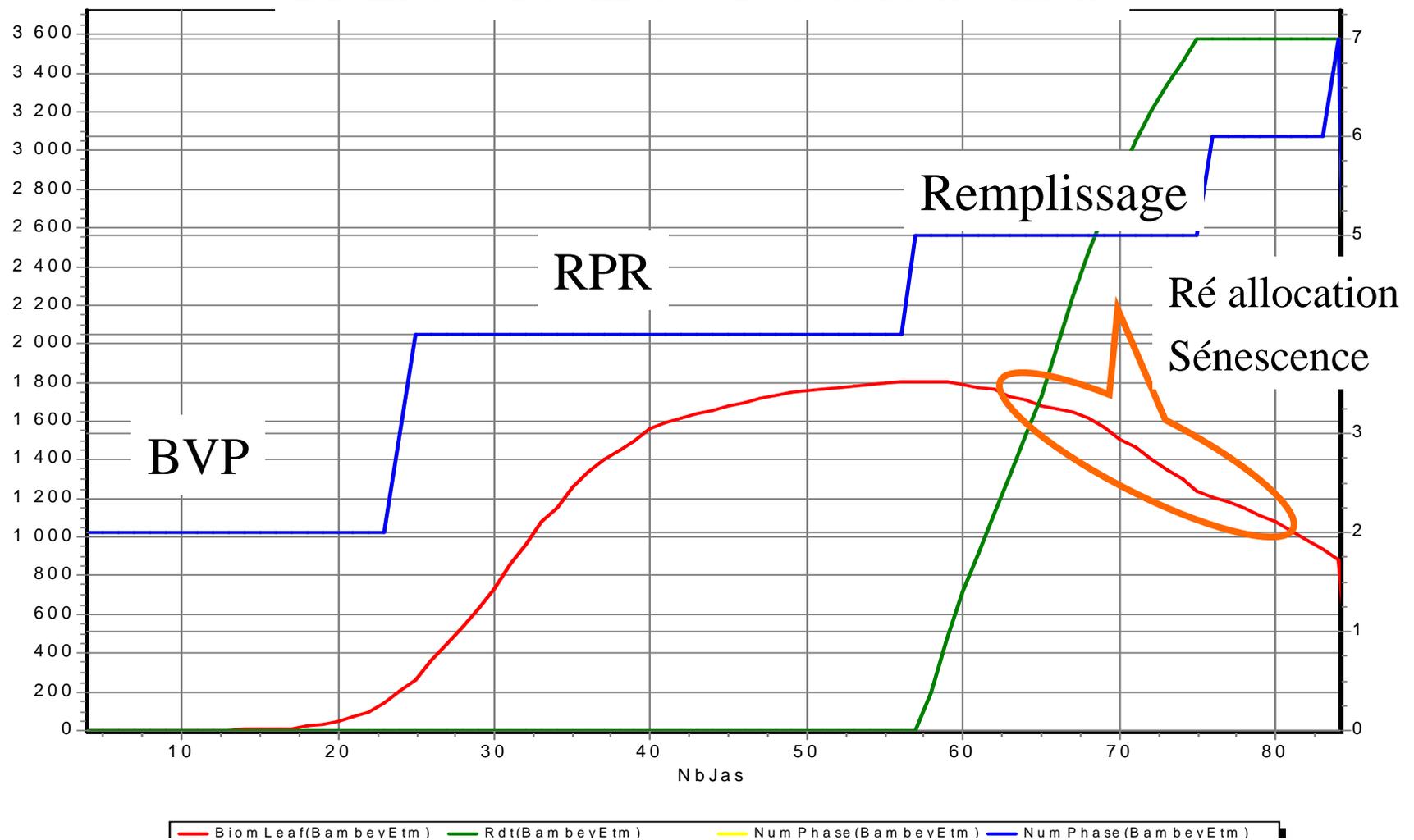
Dimensionnement du puit

Biomasse aérienne (kg/Ha) : sans Stress, avec stress



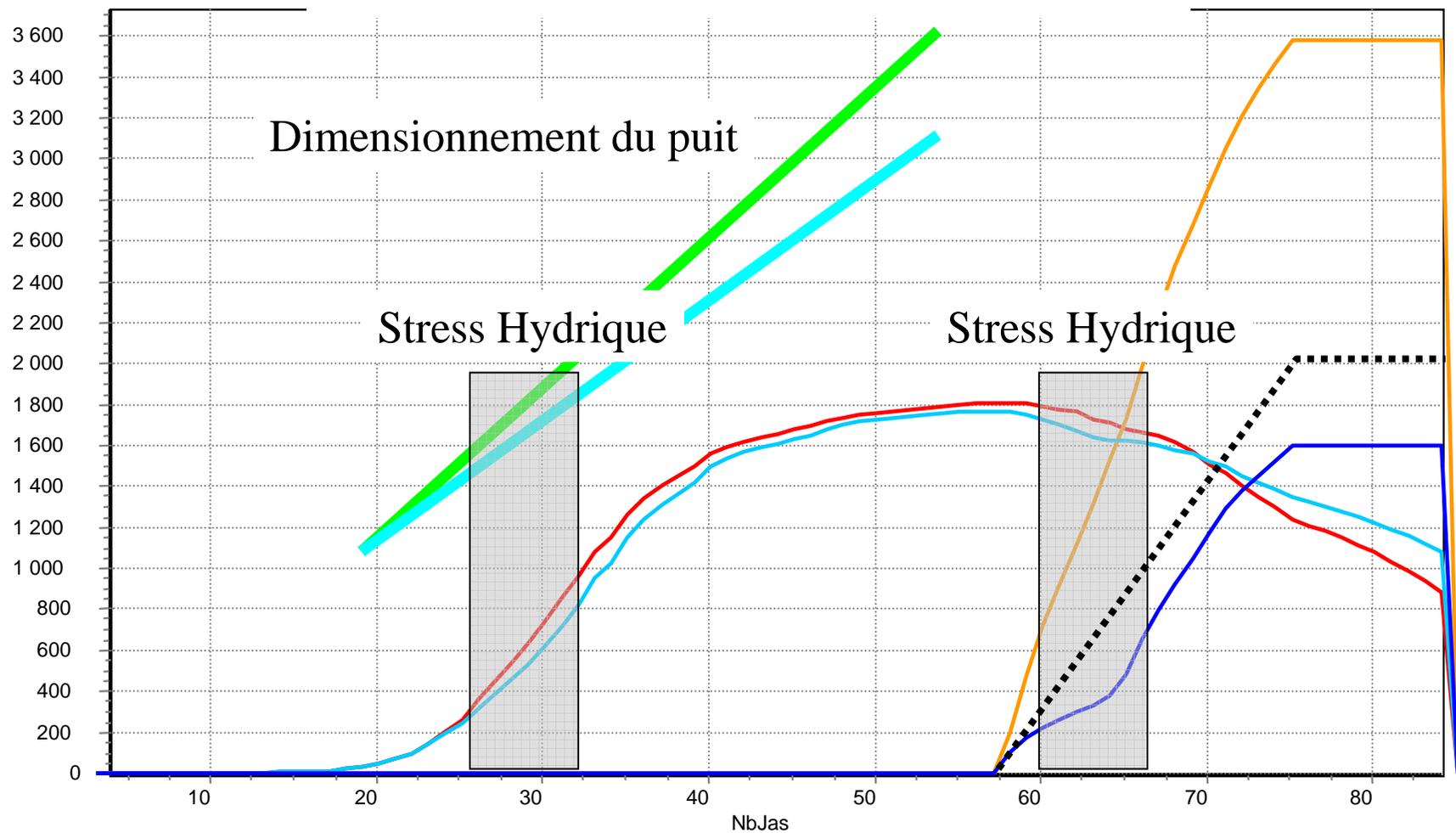
Compétition source/puit (IC)

Biomasse Feuilles vertes et Rendement



Compétition : stress et sans stress

Biomasse Feuilles vertes et Rendement



Conclusion

-
- Principes connus et confirmés (SARRA, Sinclair...)
 - Originalités (allométries, LAI & SLA fn(dyn. trophique))
 - Robustesse (faible sensibilité aux valeurs initiales)
 - Applications :
 - Diagnostic
 - Zonage et analyse des risques climatiques
 - Optimisation des calendriers culturales, densités...
 - Aide à la sélection variétale

Quelques références biblio sur SARRAH

-
- ▲ **Vintrou, E., Desbrosse A., Traoré P.C.S., Baron C., Lo Seen D., Bégué A.** (2011). "Crop area mapping in West Africa using landscape stratification of MODIS time series and comparison with existing global land products". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. JAG-D-10-00244R2
- ▲ **Oettli P., Sultan B., Baron C., Vrac M.** (2011). "Are regional climate models relevant for crop yield prediction in West Africa". *Environmental Research Letters*, Vol 6, pp014008
- ▲ **Roudier P., Sultan B., Quirion P., Baron C., Alhassane A., Traoré S.B., B. Muller** (2011) "An ex-ante evaluation of seasonal forecasting for millet growers in SW Niger". *Int. J. Climatol.* DOI: 10.1002/joc.2308
- ▲ **Genesio L., Bacci M., Baron C., Diarra B., Di Vecchia A., Alhassane A., Hassane H., Ndiaye M., Philippon N., Tarchiani V., Traoré S.B.,** (2011) "Early Warning Systems for Food Security in West Africa: Evolution, Achievements and Challenges". *Atmos. Sci. Let.*, DOI: 10.1002/asl.332.
- ▲ **Traoré, S. B., Alhassane, A., Muller, B., Kouressy, M., Somé, L., Sultan, B., Oettli, P., Siéné L., Ambroise C., Sangaré, S., Vaksman, M., Diop, M., Dingkuhn, M., Baron, C.** (2011) "Characterizing and modeling the diversity of cropping situations under climatic constraints in West Africa". *Atmos. Sci. Let.*, DOI: 10.1002/asl.332.
- ▲ **Marteau R., Sultan B., Moron V., Alhassane A., Baron C., Traoré S.B.,** (2011) "The onset of the rainy season and farmers' sowing strategy for pearl millet cultivation in Southwest Niger". *Agricultural and Forest Meteorology*, Ref. No.: AGRFORMET-D-11-00017R2
- ▲ **Mishra A., Hansen J.W., Dingkuhn M., Baron C., Traoré S.B., Ndiaye O., Ward M.N.** 2008. Sorghum yield prediction from seasonal rainfall forecasts in Burkina Faso. *Agricultural and forest meteorology*, **148** (11) : 1798-1814. [20081024]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.06.007>
- ▲ **Baron C., Sultan B., Balme M., Sarr B., Traoré S.B., Lebel T., Janicot S., Dingkuhn M.** 2005. From GCM grid cell to agricultural plot : Scale issues affecting modelling of climate impact. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Biological sciences*, **360** (1463) : 2095-2108. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2005.1741>
- ▲ **Sultan B., Baron C., Dingkuhn M., Sarr B., Janicot S.** 2005. Agricultural impacts of large-scale variability of the West African monsoon. *Agricultural and forest meteorology*, **128** (1-2) : 93-110. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.08.005>
- ▲ **Sultan B., Janicot S., Baron C., Dingkuhn M., Muller B., Traoré S., Sarr B.** 2008. Les impacts agronomiques du climat en Afrique de l'Ouest : une illustration des problèmes majeurs = Agronomical impacts of the climate in West Africa: An illustration of the main problems. *Sécheresse*, **19** (1) : 29-37.