

# LIMITES CONCEPTUELLES DU MODELE STICS POUR LA SIMULATION DE CULTURES PARTIELLEMENT OMBRAGEES.

H. Marrou<sup>1</sup>, A. B. Balde<sup>2</sup>, G. Talbot <sup>1</sup>, C. Dupraz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INRA, UMR SYSTEM 2, place Viala 34060 Montpellier, France

<sup>2</sup> CIRAD, UMR SYSTEM 2, place Viala 34060 Montpellier, France

\*Auteur correspondant :

## Introduction

Les systèmes de culture associant des arbres ou des panneaux photovoltaïques à des cultures de sous-étage ouvrent des perspectives prometteuses pour l'avenir. Dans ces systèmes pluristratifiés, les interactions entre les différentes composantes sont nombreuses. L'ombrage partiel modifie le microclimat de la parcelle et peut affecter le développement des strates les plus basses. Chez les céréales à paille, la réduction du rayonnement peut limiter l'accumulation de biomasse (Chirko *et al.*, 1996, Li *et al.*, 2008, et modifier l'élaboration du rendement (Desmotes 1994 cité par Gate, 1995 ; Chirko, 1996). Le modèle STICS est-il capable de rendre compte de ces modifications de la dynamique de croissance et de développement en condition d'éclairement réduit ? Peut-il être utilisé pour simuler ces systèmes de culture innovants ?

## Matériel et Méthode

Une expérience au champ, répétée deux années consécutives sur le même site (Restinclières, Hérault) a permis de mesurer la réponse d'une culture de blé à l'ombre. L'ombrage a été créé artificiellement avec deux lots d'ombrières installées à 2 m de hauteur, et simulant l'ombre d'un arbre à débourrement précoce (peuplier, à partir de début mars) et d'un arbre à débourrement tardif (noyer, à partir de la mi-avril). L'ombre a été rendue progressivement plus dense au cours de la saison (de 27% à 64% d'ombrage), en superposant des couches d'ombrières. L'essai a fait l'objet de deux suivis : (i) mesure des variables caractérisant le microclimat au soleil et sous ombrière (Températures de l'air, du couvert et du sol, Rayonnement global), (ii) mesure de la croissance (Indice foliaire -IF-, masse surfacique des feuilles, (MSF), matière sèche (MS)) et des composantes du rendement (Poids de mille grains, nombre de grains par épi, nombre de grains par m<sup>2</sup>). Les mesures sur le traitement « plein soleil » ont permis de calibrer le modèle STICS pour cette situation (conditions pédo-climatiques, variété de blé, pratiques). Le modèle calibré a ensuite été utilisé pour simuler le développement du blé sous ombrière, en utilisant en entrée la température de l'air et le rayonnement mesurés. Nous avons aussi utilisé le modèle pour réaliser des simulations complémentaires pour des niveaux et des dates d'ombrage différents. Les variables intermédiaires simulées (indices de stress) ont été utilisées pour interpréter les résultats. Ces simulations ont été réalisées pour 5 années climatiques générées avec Lars-WG (Semenov, 1998) pour le site de Restinclières.

## Résultats

En 2007, la réduction du rayonnement affecte légèrement la croissance végétative et la production de biomasse. On observe une baisse de 15 à 20% de l'IF et une diminution de 3 à 9% de la biomasse sous les ombrières, même si dans les deux cas, les analyses de variance ne révèlent pas de différences significatives entre le traitement plein soleil et les traitements ombre. Ces résultats concordent avec ceux de Peri *et al.* (2007) et de Li *et al.* (2008). En 2008, l'IF mesuré est identique entre les traitements ombre et plein soleil le 24 avril. Au contraire, le modèle prédit une augmentation de l'IF maximum à l'ombre par rapport au plein soleil. Lorsque l'on désactive le stress azoté, l'IF simulé à l'ombre est identique à celui simulé au soleil, montrant que cette augmentation simulée résulte d'une levée de la contrainte azotée à l'ombre. Le modèle surestime fortement la réduction de biomasse à l'ombre : -27% simulé en 2007 et -38% en 2008 contre -9% observé en 2007 (ombrière peuplier) et -5% en 2008 (ombrière noyer).

Les mesures de température de l'air et du couvert végétal, au cours des campagnes 2007 et 2008 sous ombrière et en plein soleil, montrent que :

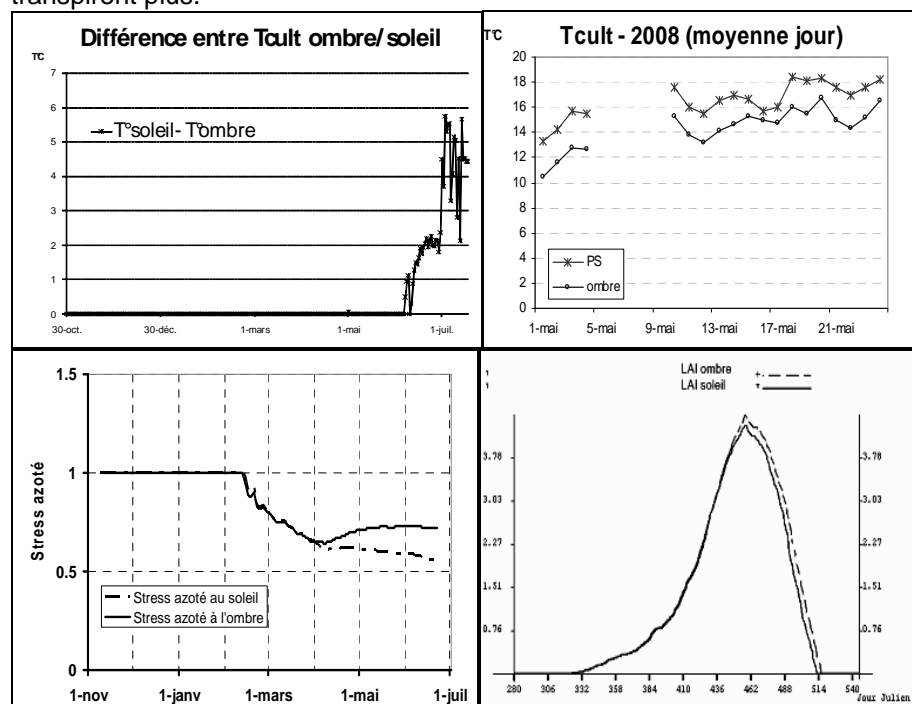
- 1) La température de l'air n'est pas modifiée entre la situation plein soleil et sous ombrière (table 1)
- 2) la température de culture (moyenne journalière) sous ombrière est plus faible qu'en plein soleil. Pendant la journée (7 :00 – 18 :00), la température en plein soleil est supérieure de 3.5 °C à la température à l'ombre, en moyenne sur 2007 et 2008 ( $p < 2.2E-16$ ) (table 1 ; fig. 1).
- 3) La température du sol (à 10, 30 et 40 cm de profondeur) est plus faible sous les ombrières par rapport au soleil (table 1).

	2007			2008		
	Tair	Tsol	Tcult	Tair	Tsol	Tcult
p value	0.9429	5.37E-05	0.15	0.087	2.17E-05	8.11E-08

**Table 1 :** probabilités critiques des analyses de variance : l'effet ombrage sur les températures de l'air du couvert et du sol mesurées 2007 et 2008.

En revanche, les températures de culture simulées avec STICS à l'ombre et au soleil sont identiques (fig.2), et égales à la température de l'air. En conséquence, STICS ne simule aucune différence entre les températures de sol, qui sont déduites des températures de couvert. On remarque cependant que les

courbes de températures de couvert simulées à l'ombre et au soleil ne se superposent plus exactement en fin de cycle. Le décrochage correspond au début de la phase de sénescence lorsque les feuilles ne transpirent plus.



**Figure 1 :** Différence entre les températures de culture journalières simulées à l'ombre et en plein soleil, en 2008

**Figure 2 :** Températures de culture moyennes diurnes mesurées à l'ombre et en plein soleil (PS), en 2008

**Figure 3 :** Indices de stress simulés à l'ombre et au soleil (ombrage de 62% à partir du 2 avril 2008

**Figure 4 :** IF simulé à l'ombre et au soleil, 2007

## Discussion

A l'ombre STICS prédit une forte réduction de la biomasse et une diminution du stress azoté. Ceci concorde avec les travaux de Gate (1996) : lorsque le rayonnement intercepté est réduit, la production de biomasse est ralentie, et les besoins instantanés en azote sont réduits. Dans nos simulations, cela conduit à une faible augmentation de IFmax à l'ombre. Un tel résultat est rendu possible par le découplage entre le gain de biomasse et la croissance foliaire dans les formalismes du modèle. L'IF est piloté par la température de culture et les indices de stress, et n'est contrôlé par la biomasse qu'à travers la MSF (plafond SLAmax) à partir du stade AMF. Deux mécanismes permettraient d'expliquer la divergence entre LAI mesuré et simulé à l'ombre : (1) un contrôle inefficace de la disponibilité en carbone sur le LAI, et/ou (2) une répercussion de la mauvaise simulation des températures de culture.

En absence de stress hydrique, STICS simule des températures de culture égales à la température de l'air, à l'ombre comme au soleil. Pour les deux années simulées, STICS ne prévoit aucun stress hydrique avant la phase de sénescence. Deux causes sont envisageables pour expliquer les différences entre observations et simulations : (1) une mauvaise simulation des stress hydriques, ou (2) un formalisme mal-adapté pour le calcul de la température de culture en absence de stress hydrique. La mauvaise simulation de la température de culture en condition ombragée se répercute sur d'autres variables de développement calculées par STICS. On peut en particulier craindre une mauvaise estimation du calendrier phénologique, des stress thermiques, de la croissance racinaire et donc aussi des stress hydriques.

## Conclusion

Le modèle STICS nécessite des adaptations pour simuler correctement le développement des cultures à l'ombre. Des pistes ont été proposées et doivent maintenant être approfondies pour rendre le modèle plus performant.

## Références

- Chirko C. P, Gold M.A, Nguyen P V, Jiang J.P (1996). Influence of direction and distance from trees on wheat yield and photosynthetic photon flux density (Qp) in a Paulownia and wheat intercropping system. *Forest Ecology and Management* 83(3): 171-180.
- Gate P. (1996). *Ecophysiologie du blé: de la plante à la culture*. ITFC & Lavoisier, 429 p.
- Semenov, M.A., R.J. Brooks, E.M. Barrow and C.W. Richardson (1998): Comparison of WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research* 10: 95-107.
- Peri P.L, Lucas R.J, Moot D.J (2007). Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. *Agroforest System* 70:63-79.
- Li F, Meng P (2008). Light distribution, photosynthetic rate and yield in a Paulownia-wheat intercropping system in China. *Agroforestry Systems* 74:163-172
- Brisson N, Launay M, Mary B, Beaudoin N (2008). Conceptual Basis, formalisations and parameterization of the STICS crop model. Ed. Quae INRA