

## Mesurer et prédire les rendements du *Miscanthus* (*Miscanthus X giganteus*) en parcelles agricoles

Mathieu Bazot<sup>1</sup>, Claire Lesur<sup>1</sup>, Fadel Bio Beri<sup>1</sup>, Mathieu Lorin<sup>1</sup>, Philippe Béjot<sup>2</sup>,  
Chantal Loyce<sup>3</sup>

**Résumé.** Originaire d'Asie, *Miscanthus x giganteus*, graminée pérenne en C4 dotée d'une forte productivité, s'est récemment développée en France pour produire de la biomasse. Du miscanthus a ainsi été implanté en parcelles agricoles en Bourgogne à partir de 2009 à l'initiative de la coopérative Bourgogne Pellets. Or, si les rendements du miscanthus sont souvent estimés en conditions expérimentales, le miscanthus reste très peu étudié en parcelles agricoles. Nous avons donc mis en place un protocole de mesure des rendements annuels obtenus sur 19 parcelles agricoles entre 2011 et 2013. Ont été estimés les rendements « machine » (sur l'ensemble de la parcelle) et les rendements « placette » (sur une surface de deux placettes de 25 m<sup>2</sup>) pour étudier la qualité d'estimation des rendements « machine » par les rendements « placette ». Cette qualité d'estimation a été appréciée par la RMSE (Root Mean Square Error), à savoir l'écart moyen entre les rendements « placette » et « machine ». Par ailleurs, nous avons défini et comparé différents indicateurs non destructifs à l'échelle des placettes (hauteur des tiges, nombre de tiges, produit entre le nombre de tiges et la hauteur) pour prédire les rendements « placette » et « machine ». Sur l'ensemble des observations réalisées, la RMSE est de 4,8 t MS/ha (ce qui correspond à une RMSE relative de 44,1%). La décomposition de l'écart moyen au carré, à savoir le MSE (Mean Square Error) fait apparaître un biais : le rendement « placette » est généralement plus élevé que le rendement « machine ». Au vu de ces résultats, il convient donc d'être très vigilant quand on utilise des résultats de rendement à l'échelle d'une placette pour estimer des rendements parcellaires. Pour la campagne de mesure à venir, nous proposons de mesurer la hauteur de coupe issue de la récolte « machine » et d'ajouter une placette de mesure dans des zones moins productives (bordure par exemple). Il serait intéressant également de mieux préciser la hauteur de coupe pratiquée sur les placettes. Enfin, l'indicateur « nombre de tiges x hauteur » est celui qui permet le mieux de prédire le rendement « placette ». Il a de plus une qualité prédictive du rendement « placette » supérieure au rendement « machine ». Cet indicateur présente l'avantage d'être non destructif et de mobiliser beaucoup moins de matériel (débroussailluse, étuve, balance) que pour effectuer une pesée, nécessaire à l'estimation du rendement « placette ». Au vu de ces premiers résultats, nous recommandons cet indicateur pour prédire le rendement du miscanthus en parcelle agricole.

**Mots-clés :** *Miscanthus x giganteus*, rendement, nombre de tiges, hauteur de tiges, échantillonnage

### Introduction

Originaire d'Asie, *Miscanthus x giganteus*, graminée pérenne en C4 dotée d'une forte productivité, s'est récemment développée en France pour produire de la biomasse en vue d'une valorisation énergétique (pour la combustion en particulier). Compte tenu du fort pouvoir absorbant des pailles, cette culture est aussi utilisée pour constituer des litières pour les animaux (Lignoguide, 2012). A l'initiative de la coopérative Bourgogne Pellets, du miscanthus a été planté en parcelles agricoles en Bourgogne depuis 2009.

Nous avons mené une étude diagnostique sur une partie de ces parcelles afin de caractériser la variabilité inter-parcellaire des rendements de *Miscanthus x giganteus* et d'identifier les principaux facteurs expliquant cette variabilité. Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un travail de thèse (Lesur, 2012) qui porte sur la conception et l'évaluation de systèmes de culture à vocation énergétique et qui a été mené en collaboration avec P. Béjot, responsable agronomique et commercial de la coopérative Bourgogne Pellets. Le réseau de parcelles agricoles

<sup>1</sup> INRA, UMR Agronomie 211, AgroParisTech, F-78350 Thiverval-Grignon, France ; Mathieu.Bazot@grignon.inra.fr

<sup>2</sup> Bourgogne pellets, « La Sucrierie », F-21110 Aiserey, France

<sup>3</sup> AgroParisTech, UMR Agronomie 211, AgroParisTech, F-78350 Thiverval-Grignon, France

constitué pour mettre en œuvre le diagnostic agronomique régional couvre la gamme des types de sol et des systèmes de culture de la région d'étude. Il est important d'estimer avec précision les rendements de ces parcelles. Or, si les rendements du miscanthus sont souvent estimés en conditions expérimentales (Miguez et al., 2008), le miscanthus demeure très peu étudié en parcelles agricoles. Nous avons donc mis en place un protocole de mesure des rendements en parcelles agricoles.

Dans une première partie, nous décrivons le dispositif d'enquêtes en parcelles agricoles que nous avons établi, ainsi que le protocole que nous avons élaboré pour estimer les rendements « placette » (sur une partie de la parcelle agricole) et « machine » (sur la totalité de la parcelle agricole). Ensuite, nous étudierons la qualité des relations entre les rendements « placette » et les rendements « machine » pour voir dans quelle mesure l'estimation des rendements sur des placettes permet de bien apprécier les rendements d'une parcelle agricole. Enfin, nous définirons et comparerons différents indicateurs (plus simples à apprécier au champ que le rendement « placette ») pour prédire les rendements « machine ».

## Matériel et méthodes

### Dispositif et organisation des récoltes de miscanthus

Il s'agit d'un dispositif en parcelles agricoles localisé autour d'Aiserey sur la plaine de Dijon (Côte d'Or) et dans le Jura, qui est constitué de 19 parcelles. Les sols rencontrés sur ces parcelles sont des limons battants (5 parcelles), des limons argileux (2 parcelles), des sols argileux (8 parcelles) profonds (plus de 120 cm de profondeur). Des limons argilo-sableux plus superficiels (entre 60 et 120 cm de profondeur) sont aussi rencontrés dans le Jura (4 parcelles).

Ce sont des parcelles de jeunes miscanthus : neuf d'entre elles ont été plantées en avril 2009 et les dix autres en avril 2010. Les miscanthus n'ont pas été récoltés l'année de leur plantation mais simplement broyés pendant l'hiver. Ils ont ensuite été récoltés à partir de leur deuxième année de culture. Pour la récolte de 2011, l'ensemble des parcelles a été fauché et bottelé, tandis que pour les récoltes 2012 et 2013, il y a eu aussi des parcelles récoltées en vrac en ensileuse (**Tableau 1**). En 2013, quatre parcelles n'ont pas été utilisées pour comparer le rendement « placette » au rendement « machine » car elles n'ont pas encore été réceptionnées par Bourgogne Pellets (mesure du rendement « machine » non réalisée).

**Tableau 1.** Répartition des parcelles selon les dates de plantation, de récolte et le mode de récolte du miscanthus

	Récolte 2011		Récolte 2012		Récolte 2013	
	Récolte en bottes	Récolte en ensilage	Récolte en bottes	Récolte en ensilage	Récolte en bottes	Récolte en ensilage
Implantation 2009	9	0	8	0	4	3
Implantation 2010	0	0	8	3	4	4

La récolte des placettes est effectuée en février par l'UMR Agronomie tandis que la récolte de l'ensemble de la parcelle pour l'estimation du rendement « machine » est organisée par Bourgogne Pellets courant mars, une fois qu'un niveau d'humidité faible de la culture (environ 20%) est atteint.

## Mesures

### Rendement « machine »

Dans le cas des récoltes en bottes, l'estimation des rendements se fait en multipliant le nombre de bottes par parcelle, mesuré au moment de la récolte, et la masse moyenne des bottes sèches, mesurée lors de la livraison à la coopérative. L'humidité des bottes est estimée au moment de la livraison à la coopérative Bourgogne Pellets grâce à une sonde à paille qui permet de déterminer la matière sèche à payer. Bourgogne Pellets réalise, sur une botte sur neuf, deux à trois sondages dans la même botte car il n'est pas rare d'avoir des écarts de plus de 5-10% d'humidité sur une même botte.

Pour les parcelles récoltées en vrac (ensilage), deux cas sont à distinguer :

- pour les agriculteurs possédant une seule parcelle récoltée en vrac, le rendement est estimé lors de la livraison à Bourgogne Pellets, soit au moment de la récolte, soit ultérieurement,
- lorsque plusieurs parcelles par agriculteur sont récoltées en vrac, l'estimation du rendement repose sur un comptage du nombre de bennes récoltées par parcelle et sur la mesure de la masse des bennes (Bio Beri, 2012).

L'humidité est estimée à partir de 4-5 prélèvements de 50 g par livraison qui sont mis à l'étuve à 105°C pendant 24 h (ou quelque fois 18h pour aller plus vite sachant qu'en dessous de 20% d'humidité, la matière sèche est atteinte en 15h).

Quel que soit le mode de récolte retenu, la récolte est soit stockée par l'agriculteur, soit livrée directement à Bourgogne Pellets.

### Rendement « placette »

Nous avons défini le protocole suivant pour le prélèvement au champ et le traitement des échantillons de plantes au laboratoire.

Au champ, délimiter au hasard deux placettes de 25 m<sup>2</sup> (pas trop près du bord). Chaque placette doit contenir six rangs. Sur chaque placette, placer deux jalons qui délimitent le départ de la zone de référence, de part et d'autre des six rangs en veillant à ne pas couper de pied. Le segment délimité par ces jalons doit avoir une largeur qui équivaut à six pieds (deux fois l'écartement inter-rang) afin de ne pas couper de pied de miscanthus (un pied étant constitué de tiges issues d'un même rhizome). Dans les deux inter-rangs extérieurs, mesurer la longueur correspondant à la largeur mesurée pour obtenir une surface de 25 m<sup>2</sup>. Au bout de cette longueur, poser un jalon sur chaque inter-rang extérieur. La surface de la zone de référence est alors délimitée. Positionner une des longueurs de façon à ne pas couper de pied de miscanthus. Tendre une ficelle tout le long de cette zone pour faciliter le comptage de tiges ultérieur. Si un pied est « à cheval » sur la zone (avec une partie seulement des tiges dans la zone), la ficelle doit « couper » ce pied pour respecter précisément la surface indiquée.

Compter l'ensemble des tiges de la placette (NT25m<sup>2</sup>) puis en couper 250 à l'aide d'une débroussailleuse (à une hauteur de 10-15 cm environ) et les peser au champ à l'aide d'une balance à bascule (PT250 en kg). La pesée se fait au champ car il n'est pas possible de transporter les échantillons de tiges issues des placettes de 20 parcelles (pour une pesée au laboratoire) compte tenu du volume important de biomasse en jeu.

Parmi les tiges coupées, prélever des tiges au hasard pour obtenir environ 2,5 à 3 kg de matière fraîche, sectionner les tiges au sécateur et les mettre dans un sac portant le numéro de la parcelle et de la placette.

Au laboratoire, peser la matière fraîche sur le sous-échantillon de 2,5 à 3 kg de matière fraîche défini plus haut. Mettre à l'étuve 48h à 80°C. Peser la matière sèche. En déduire le taux de matière sèche du miscanthus (MS en %).

Le calcul de rendement (R), exprimé en t de MS.ha<sup>-1</sup> pour chaque placette s'effectue comme suit :

$$R = NT \times PT \times (MS/100)$$

avec NT : nombre de tiges (/ha) et PT : poids d'une tige (t)

$$NT = NT_{25m^2} \times (10000/25)$$

$$PT = (PT_{250}/250)/1000$$

Le rendement « placette » correspond à la moyenne des rendements obtenus sur chaque placette.

### Mesures pour le calcul d'indicateurs simples de prédiction des rendements

Ces mesures concernent la hauteur des tiges (sur 20 tiges par placette) et le nombre de tiges sur 25 m<sup>2</sup> (NT25m<sup>2</sup> : voir plus haut) des deux placettes. Parmi les tiges coupées prendre 20 tiges au hasard. Mesurer la hauteur de chacune des 20 tiges.

NB : le temps passé sur chaque parcelle agricole pour l'ensemble des mesures au champ (NT25m<sup>2</sup>, hauteur, poids des tiges) est de 2 h environ (ce qui permet de faire les mesures sur 4-5 parcelles agricoles par jour).

### Méthode d'analyse des données

Dans un premier temps, nous avons graphiquement mis en relation les rendements « placette » (avec une ou deux placettes pour le calcul du rendement) et les rendements « machine » et calculé les RMSE et RRMSE. La RMSE représente l'écart moyen entre les rendements « placette » et « machine » (en t MS /ha). Il constitue ainsi un indicateur de la capacité du rendement « placette » à estimer le rendement « machine ». La RRMSE représente ce même écart, mais exprimé en relatif, par rapport à la valeur moyenne des rendements « machine » (en %).

$$\text{RMSE (en t MS/ha)} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{Rp}_i - \text{Rm}_i)^2}$$
$$\text{RRMSE (en \%)} = \frac{\text{RMSE}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{Rm}_i} * 100$$

Avec N=nombre de parcelle-années suivies

Rp= Rendement placette (t MS/ha)

Rm= Rendement machine (t MS/ha)

Nous avons décomposé la MSE (   savoir le carré de la RMSE) en faisant apparaître le biais, la dispersion (la différence des écart-types au carré, dénommé SDS) et l'incertitude liée au bruit (LCS) pour avoir une appréciation plus fine de la structure de l'écart et identifier éventuellement des pistes d'amélioration (Wallach et Goffinet, 1987) :

$$\text{MSE} = \text{biais}^2 + \text{SDS} + \text{LCS}$$

$$\text{Avec biais}^2 = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{Rp}_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{Rm}_i \right)^2$$

$$\text{SDS} = (\sigma_{\text{Rp}} - \sigma_{\text{Rm}})^2 * \frac{N-1}{N}$$

$$\text{LCS} = 2\sigma_{\text{Rp}}\sigma_{\text{Rm}}(1 - \text{coefficient de corélation}) * \frac{N-1}{N}$$

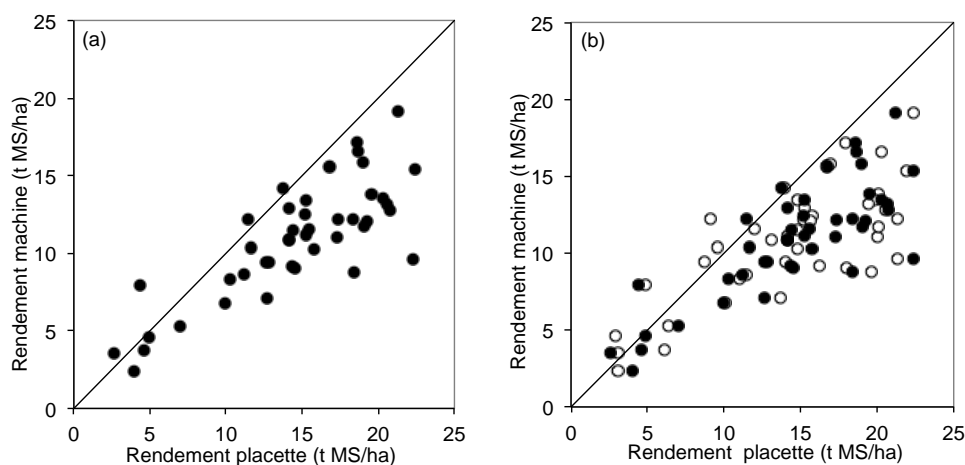
Ensuite, nous avons comparé la qualité prédictive de plusieurs indicateurs de prévision des rendements (via le R<sup>2</sup> de la régression linéaire entre un indicateur donné et le rendement « placette » ou le rendement « machine »). Nous avons retenu comme indicateurs intéressants à tester la hauteur, le nombre de tiges et le produit entre le nombre de tiges et la hauteur (nombre de tiges \* hauteur).

## Résultats

### Relation entre rendement placette et rendement machine

On observe sur la **Figure 1a** un lien entre le rendement « placette » et le rendement « machine ». La RMSE est de 4,8 t MS /ha, soit une RRMSE de 44.1 %.

Voir Figure 1 (a et b) page suivante



**Figure 1.** Relation entre les rendements « placette » et « machine » (estimé avec 2 placettes moyennées) (a) et comparaison des rendements « placette » et « machine » selon le nombre de placettes utilisées (1 ou 2) pour la mesure du rendement « placette » (b). ○ = 1 placette ; ● = 2 placettes moyennées.

On observe sur la **Figure 1b** que la qualité de l'ajustement entre le rendement « machine » et le rendement « placette » est similaire quand on moyenne les deux placettes des parcelles (ronds noirs) et quand on prend une seule placette (rond blanc) : la RMSE est de 5 t MS/ha (et la RRMSE de 46.1 %) si on prend une placette et de 4,8 t MS/ha (et la RRMSE de 44,1 %) avec les deux placettes moyennées. Il n'est donc pas utile d'effectuer des prélèvements sur deux placettes par parcelle au lieu de faire des prélèvements sur une placette. Le gain de précision associé à l'ajout d'une mesure est en effet faible au vu du temps passé à réaliser les prélèvements et mesures sur une placette supplémentaire.

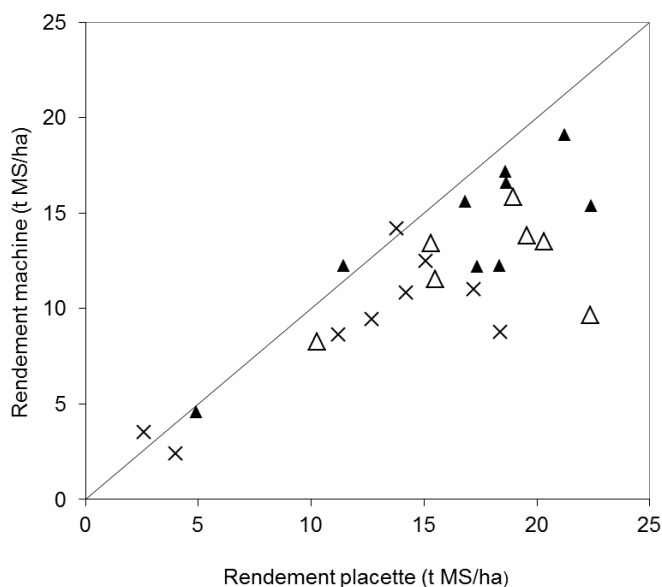
La décomposition de la MSE nous indique la présence importante d'un biais dans les deux cas de figure (**Tableau 2**). Ce résultat est cohérent avec le fait que l'on observe graphiquement une surestimation systématique du rendement « machine » quand on considère la valeur du rendement « placette ». La structure de la MSE est peu modifiée quand on passe de deux placettes à une placette.

**Tableau 2.** Décomposition de la MSE quand le rendement « placette »  $R_p$  est estimé à partir de 2 placettes et d'une seule placette

$R_p$	MSE (t MS/ha) <sup>2</sup>	Biais <sup>2</sup> (t MS/ha) <sup>2</sup>	SDSD (t MS/ha) <sup>2</sup>	LCS (t MS/ha) <sup>2</sup>
Mesuré sur 2 placettes moyennées	23,04	13,68	2,12	7,24
Mesuré sur une seule placette	25,16	12,56	2,96	9,64

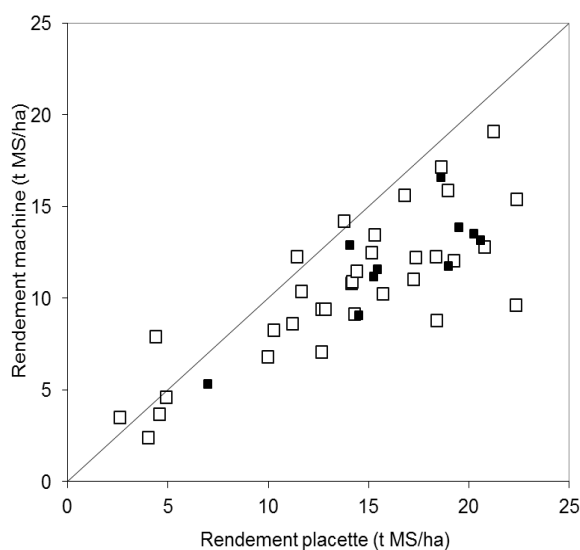
Nous avons ensuite uniquement étudié les parcelles plantées en 2009 pour pouvoir comparer les rendements « machine » et « placette » pour des miscanthus âgés de deux ans (récoltés en 2011), de trois ans (récoltés en 2012) et de quatre ans (récoltés 2013) issus des mêmes parcelles.

La RMSE est de 4,4 t MS/ha (soit une RRMSE de 48.2%) pour les miscanthus âgés de deux ans. Cette RMSE diminue et passe à 3,7 t MS/ha (soit une RRMSE de 26.9%) pour les miscanthus de trois ans, puis augmente à nouveau en 2013 pour des parcelles âgées de quatre ans : elle passe à 6,3 t MS/ha, soit une RRMSE de 50,8%.



**Figure 3.** Relation entre le rendement « placette » et le rendement « machine » selon l'âge du miscanthus.  
 × = miscanthus de 2 ans, récolté en 2011 ▲ = miscanthus de 3 ans, récolté en 2012 Δ = miscanthus de 4 ans, récolté en 2013.

Enfin, nous avons étudié l'effet du mode de récolte sur la relation entre le rendement « machine » et le rendement « placette » (**Figure 4**). On observe des RMSE et RRMSE comparables entre ces deux modes de récolte (4,7 t MS/ha, soit une RRMSE de 44,5 % pour la récolte en bottes et 5,1 t MS/ha, soit une RRMSE de 43 % pour la récolte en ensilage).



**Figure 4.** Effet du mode de récolte « machine » sur la relation entre le rendement « placette » et le rendement « machine ».  
 □ = récolte en bottes ■ = récolte en ensilage.

### Prédire le rendement avec des indicateurs non-destructifs

Nous avons examiné les relations entre les différents indicateurs de prédiction du rendement et les rendements « placette » et « machine » (Figure 5). Si on regarde la Figure 5a qui représente la relation entre la hauteur et le rendement placette nous avons un  $R^2$  de 0,4, ce qui est faible. Si on s'intéresse à l'indicateur « nombre de tiges » (Figure 5b) on améliore la relation, avec un  $R^2$  de 0,55, qui est toutefois moyen.

Avec l'indicateur « nombre de tiges \* hauteur » (Figure 5c) on affine la relation de façon importante avec un  $R^2$  de 0,76. On retiendra donc ce dernier indicateur car il permet de caractériser au mieux le rendement « placette ». La Figure 5d nous montre que la relation entre le rendement « machine » et le nombre de tiges \* hauteur est intéressante. Cet indicateur a même une qualité prédictive meilleure que l'estimation du rendement « placette ». En effet, nous avons un  $R^2$  de 0,69 pour la relation entre l'indicateur « nombre de tiges \* hauteur » et le rendement « machine » alors qu'il est de 0,65 pour la relation entre le rendement « placette » et le rendement « machine » (voir Figure 1).

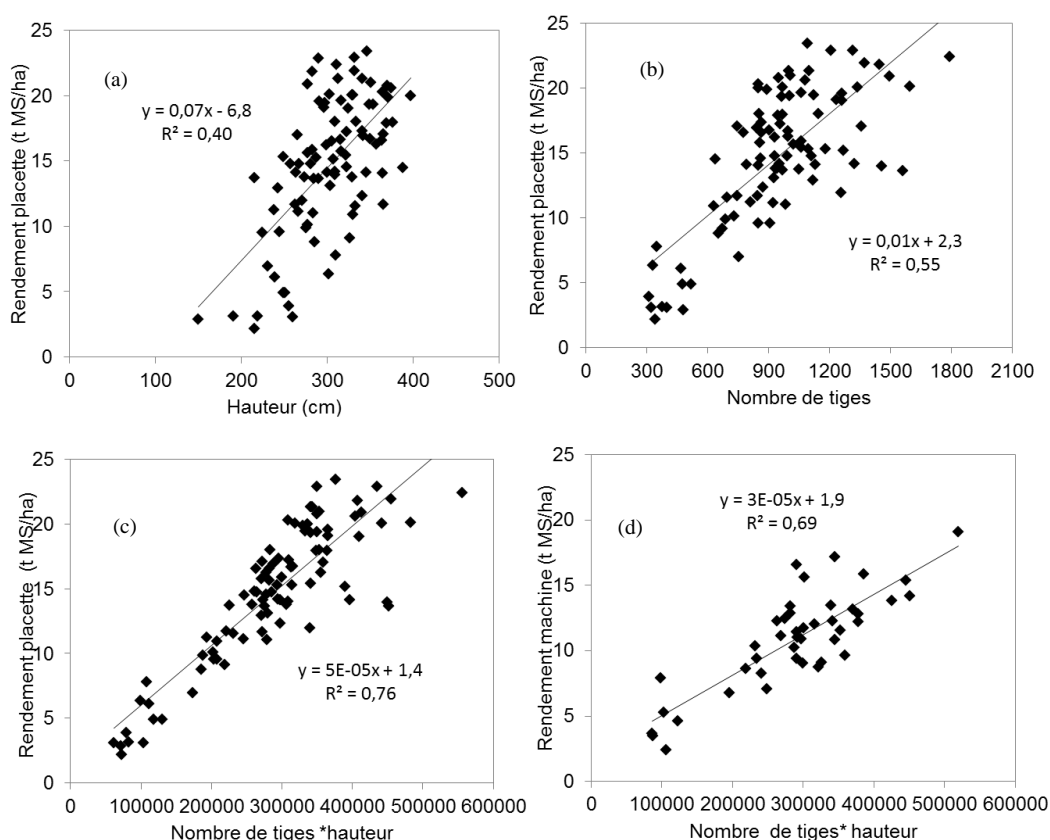


Figure 5. Relations entre les différents indicateurs (hauteur (a), nombre de tiges (b), nombre de tiges \* hauteur (c)) et les rendements « placette » (a, b, c) et « machine » (d).

### Discussion et conclusion

Tout d'abord, nous observons que la RRMSE entre le rendement « placette » et le rendement « machine » est élevée (44,1 %). Cette erreur de mesure est en grande partie liée au biais, à savoir dans le cas présent, à une surestimation des rendements « machine » au travers de la mesure du rendement « placette ». Pour une parcelle de blé, la surestimation des rendements « machine » au travers de la mesure du rendement « placette » est de l'ordre de 15% (Boutahar et al., 1992). Elle semble plus importante pour les cultures destinées à la production de biomasse qui sont récoltées en plantes entières. En effet, Monti et al., (2009) estiment pour la culture du *switchgrass* (*Panicum virgatum*) des pertes à la récolte qui varient de 35 à 45%. Ces pertes sont constituées de morceaux de tiges coupés mais non récoltés et de bases de tiges non récoltées du fait d'une hauteur de coupe élevée (de 4 à 10 cm) et variable. On retrouve pour notre étude une surestimation des rendements « placette »

par rapport aux rendements « machine » du même ordre de grandeur que les pertes de récolte observées par Monti et al (2009) sur le *switchgrass*. Pour la campagne de mesure à venir sur notre réseau de parcelles de miscanthus, nous proposons de mesurer la hauteur de coupe issue de la récolte « machine » à l'échelle de la parcelle agricole (sur 25 points de prélèvements, en prenant 10 tiges par prélèvement) afin de caler une hauteur de coupe pour la récolte « placette » qui soit la plus proche de la hauteur de coupe retenue pour la récolte « machine ». Il serait intéressant également de mieux préciser la hauteur de coupe pratiquée sur les placettes.

Une autre source de surestimation des rendements « placette » par rapport aux rendements « machine » peut être la chute des feuilles entre la récolte des placettes (en février) et celle de la parcelle entière (courant mars). En effet, nous avons observé que sur certaines parcelles il restait des feuilles encore en place au moment de la récolte des placettes. Toutefois, ces feuilles doivent peu contribuer à accroître la biomasse récoltée.

Par ailleurs, l'écart entre le rendement « placette » et le rendement « machine » n'est pas fonction de l'âge du miscanthus (on aurait pu imaginer une homogénéisation du peuplement au cours du temps, ce qui rendrait les placettes plus représentatives de la parcelle), ni du mode de récolte.

Sur la mesure du rendement « placette », il s'est avéré difficile de retenir en pratique deux placettes représentatives de la parcelle en cas de parcelle très hétérogène. On pourrait envisager d'ajouter une placette dans des zones moins productives (bordure par exemple). Cette option est certes coûteuse en temps de mesure et prélèvement. Pour la prochaine campagne, nous prévoyons de mettre en place trois placettes (deux en situation favorable et une dans une zone avec moins de peuplement). Cela nous permettra de comparer la qualité prédictive du rendement « machine » à partir du rendement « placette » (ainsi que le biais et la dispersion) pour de nouvelles localisations de placettes.

En plus des pertes de récolte, une autre source possible des écarts observés entre le rendement « machine » et le rendement « placette » serait la pesée car nous obtenons un ajustement ( $R^2$ ) un peu plus étroit quand on utilise l'indicateur « nombre de tiges \* hauteur » au lieu du rendement « placette » (à savoir le produit entre le nombre de tiges et le poids des tiges). Ceci est peut être lié au fait que l'échantillon utilisé pour estimer la MS est traité une fois la campagne de mesure faite au champ. Cet échantillon pourrait avoir perdu du poids entre le prélèvement au champ et la pesée au laboratoire avant le séchage pour la détermination de l'humidité, ce qui nous amènerait à surestimer le taux de MS de la culture et donc le rendement « placette ».

Enfin, il existe aussi une incertitude sur la mesure du rendement « machine ». Par exemple, lorsque la récolte est en bottes, le nombre de bottes est estimé à une-deux bottes près, qui peuvent par exemple être laissées chez l'agriculteur si le chargement de la benne ou du plateau est complet et de ce fait non comptées au moment de la livraison par Bourgogne Pellets. De plus, une forte hétérogénéité intra-botte a été observée sur la mesure de l'humidité. Des mesures supplémentaires d'humidité pourraient permettre de mieux caractériser cette valeur.

Au vu de ces résultats, il convient donc d'être très vigilant quand on utilise des résultats de rendement à l'échelle d'une placette pour estimer des rendements parcellaires (dans les Analyses de Cycle de Vie ou des évaluations économiques par exemple). On surestime fortement les rendements, ce qui pourrait engendrer des erreurs sur les bilans énergétiques ou économiques.

Enfin, l'indicateur le plus intéressant pour estimer le rendement est le nombre de tiges multiplié par la hauteur du miscanthus. Cette relation est nettement meilleure que celle obtenue par l'indicateur « nombre de tiges ». En effet, le  $R^2$  passe de 0,55 à 0,76. Ces résultats sont en accord avec ceux de Zub et al. (2012) qui montrent que le volume de biomasse (approché par le produit entre le nombre de tiges, la hauteur et la surface occupée par une tige) est un bon prédicteur de la biomasse aérienne.

Cet indicateur présente l'avantage d'être non destructif. De plus, même si sa mesure est aussi coûteuse en temps que celle du rendement « placette », cet indicateur mobilise beaucoup moins de matériel que la pesée (débroussailleuse, étuve, balance) et peut ainsi être mesuré sans instrumentation particulière. Au vu de ces premiers résultats, nous recommandons cet indicateur pour prédire le rendement du miscanthus en parcelle agricole.

## **Remerciements**

Nous remercions A. Butier, D. le Floch, R. Gosse, G. Grandeau et A. Laurent, (UMR Agronomie INRA / AgroParisTech) pour leur contribution au suivi des parcelles ainsi que le relecteur du papier pour ses



commentaires fructueux. Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet FUTUROL ([www.projet-futurol.com](http://www.projet-futurol.com)), qui a été financé par l'OSEO.

## Références bibliographiques

Bio Beri F (2012) Evaluation agro-environnementale de la culture de *Miscanthus x giganteus* en parcelles agricoles. Mémoire de fin d'études Master M2 « de l'agronomie à l'agro-écologie », AgroParisTech. 57 p.

Boutahar K, Bourarach EH, Aubineau M (1992) Comparaison de trois méthodes d'estimation du rendement d'une parcelle en céréales, 46-53. Accessible sur : <http://www.anafide.org/doc/HTE%2098/98-7.pdf> (consulté le 19/12/2013).

Lesur C (2012) Cultiver *Miscanthus x giganteus* en parcelles agricoles : du diagnostic agro-environnemental à la conception-évaluation *ex ante* de systèmes de culture à vocation énergétique. Thèse de doctorat AgroParisTech, ABIES, 168 p + annexes.

Lignoguide (2012) Guide d'aide au choix des cultures lignocellulosiques. 214 p. <http://www.biomasse-territoire.info/menus-horizontaux/projets/lignoguide.html>.

Miguez FE, Villamil MB, Long SP, Bollero GA (2008) Meta-analysis of the effects of management factors on *Miscanthus x giganteus* growth and biomass production. *Agric Forest Meteorol* **148**(8-9): 1280-1292.

Monti A, Fazio S, Venturi G (2009) The discrepancy between plot and field yields: harvest and storage losses of switchgrass. *Biomass & Bioenergy* **33**: 841-847.

Wallach D, Goffinet B, 1987. Mean squared error of prediction in models for studying ecological and agronomic systems. *Biometrics* **43**: 561-573.

Zub H.W, Monod H, Béthencourt L, Brancourt-Hulmel M (2012) An index of competition reduces statistical variability and improves comparisons between genotypes of miscanthus. *Bioenergy Res* **5**: 829-840.