

## Influence de paramètres agro-climatiques sur la production de sucre et d'énergie

Jean-François Martiné<sup>1</sup>, Camille Roussel<sup>2</sup>, Laurent Corcodel<sup>2</sup>, Damien Sabatier<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CIRAD, UPR102 Systèmes de culture Annuels, Station de la Bretagne, BP 20, F-97408 Saint-Denis cedex 9, La Réunion

<sup>2</sup>eRcane, 40 Route Gabriel Macé, B.P. 315, 97494 Sainte-Clotilde, La Réunion

[jean-francois.martine@cirad.fr](mailto:jean-francois.martine@cirad.fr)

### Résumé

La raréfaction des énergies fossiles, l'augmentation de leur prix et leur impact environnemental négatif nécessitent de valoriser au mieux la biomasse produite par les plantes, en l'utilisant pour des débouchés à la fois alimentaires, non alimentaires et énergétiques. A La Réunion, la canne produit du sucre mais aussi des co-produits comme la bagasse, les écumes, la mélasse et les vinasses. La bagasse est le résidu fibreux qui fournit actuellement 10% de l'électricité de l'île. L'optimisation de la production de cette canne multi-usage, nécessite de caractériser la variabilité de tous les critères influençant les productions finales comme la valeur énergétique ou le sucre. Cette caractérisation implique de mieux comprendre l'impact de l'environnement, des pratiques culturales, des variétés sur la variabilité des composantes nouvellement valorisées.

Une série d'essais a été menée à La Réunion sur 3 variétés et sur des sites contrastés en température et stress hydrique. Sur les résultats acquis, une approche analytique a été utilisée en associant (i) caractéristiques aux champs (biomasses, qualité des cannes et pouvoirs calorifiques), (ii) rendements usines (sucre extractible, énergie et mélasse) par bilans massiques et énergétiques et (iii) prix de vente des composantes ou co-produits. Cette approche a permis de déterminer les impacts variétaux et environnementaux sur les composantes à valoriser et de préciser les caractéristiques agronomiques reproduisant le mieux ces impacts.

### Introduction

Les énergies fossiles se raréfient, leur exploitation est coûteuse en tant que source d'énergie ou pour la production de matières premières et leur impact environnemental est négatif (émission de gaz à effets de serre). Il en résulte que la valorisation de la biomasse pour des débouchés alimentaires, non alimentaires et énergétiques tend à se généraliser.

A La Réunion, la bagasse, résidu fibreux issu de l'exploitation de la canne à sucre pour produire principalement du sucre, est une bioénergie. Brûlée dans des centrales thermiques associées aux sucreries, elle fournit 10% de l'électricité de l'île (<http://canne-durable.re>). La filière canne réunionnaise s'efforce d'optimiser la production de sucre tout en valorisant les co-produits (bagasse, écumes, mélasses, vinasses). Il en résulte la production d'une canne multi-usages (utilisée pour la production de sucre, d'énergie, ou de molécules d'intérêt...) valorisée suivant les principes de la bioraffinerie.

Afin d'optimiser la production globale de cette canne multi-usages, il est nécessaire de caractériser la variabilité de tous les critères quantitatifs et qualitatifs influençant des productions finales très différentes comme la valeur énergétique et non plus seulement le sucre. Ainsi, il est impératif de mieux comprendre l'impact de l'environnement, des pratiques culturales, des variétés sur la variabilité de l'ensemble des produits de la canne multi-usages.

## Matériel et méthodes

### *Sites d'expérimentations, variétés et conditions climatiques*

Des expérimentations ont été réalisées au champ, sur trois cultivars de canne à sucre (R570, R579 et R585) implantées dans trois sites de l'île de La Réunion (La Mare (LM), Menciol (ME), Etang-Salé (ES)) et suivies sur la première repousse. La Mare et Etang-Salé sont situées en zones côtières irriguées respectivement au Nord-Est et au Sud-Ouest, tandis que Menciol est situé en zone de moyenne altitude pluviale de l'Est.

**Tableau 1. Dates de coupe précédente (DDC), altitude et caractéristiques climatiques sur l'ensemble du cycle (13 mois) : température moyenne journalière de l'air (T°), Rayonnement incident moyen journalier (Rg), pluviométrie cumulée, irrigation cumulée et ETR/ETM<sup>1</sup> au niveau des expérimentations réalisées.**

Sites	DDC (j/m/a)	Altitude (m)	Rg (MJ m <sup>-2</sup> )	T° (°C)	Pluie (mm)	Irrigation (mm)	ETR/ETM (mm)
<b>Etang-Salé</b>	02/11/2009	20	16,8	24,5	<b>981</b>	300	0,83
<b>La Mare</b>	29/10/2009	70	18,8	24,7	<b>1 849</b>	1 025	0,99
<b>Menciol</b>	23/10/2009	400	15,6	21,7	<b>3 977</b>	0	0,98

Etang-Salé sera comparé à La Mare pour l'effet satisfaction en eau (même température, pleine satisfaction à La Mare, et fort stress hydrique à Etang-Salé). Menciol sera comparé à La Mare pour l'effet température (même taux de satisfaction en eau, température plus faible à Menciol qu'à La Mare).

Les variétés R570 et R585 seront comparées à la variété R579.

Les comparaisons sont réalisées en calculant les écarts relatifs (ER) en % par rapport à la référence : ex  $ER_{R585} = (R585 - R579) / R579 * 100$ .

Les matières fraîches sont désignées par MF et les matières sèches par MS.

### *Dispositif expérimental*

Les essais agronomiques comportent 3 répétitions en blocs randomisés comprenant 3 variétés par bloc soit 9 parcelles élémentaires. Chaque parcelle élémentaire est constituée de 9 lignes de 11 m de long plantées avec un interligne de 1,5 m. Les 3 essais ont été fertilisés avec des apports de 150 kg, 180 kg et 240 kg de N, P et K ha<sup>-1</sup>. Les échantillonnages de biomasse ont été réalisés sur des placettes de 1 m linéaire et de façon à ne pas perturber les échantillonnages suivants (effet lumière).

A chaque échantillonnage, la biomasse aérienne totale est récoltée par une coupe des tiges au ras du sol. Cette biomasse totale est décomposée en tige usinable et en non-canne (qui regroupe les feuilles vertes, les feuilles mortes et les parties sommitales).

### *Qualités agronomiques des composantes de la biomasse*

Le non-canne est pesé en frais, sous échantillonné (≈500g), séché (70°C pendant 3 jours en étuve ventilée) pour avoir le % de MS, puis broyé au tamis de 2mm.

Les tiges usinables sont analysées au laboratoire qui détermine les caractéristiques agronomiques qualitatives. Les tiges sont découpées avec un hache-canne, puis défibrées à

<sup>1</sup> ETR / ETM = Evapotranspiration réelle / Demande évaporative du système de sol-culture = Indice de satisfaction en eau variant de 0 à 1. 1 correspond à une satisfaction en eau totale sur l'ensemble du cycle.

l'aide d'un désintégrateur de type Jeffco afin d'obtenir de la pulpe dont on prélève un échantillon de 1 000g. Cet échantillon, pressé à 200 bars pendant 90 secondes avec une presse hydraulique de type Emidecau, produit du jus et un gâteau ou tourteau. Sur le jus sont déterminés le brix (matières solubles % jus) par réfractométrie et le pol par polarimétrie. Le taux de MS du tourteau est calculé après séchage (70°C pendant 3 jours). Brix, pol, poids frais et % de MS du tourteau permettent de déterminer la richesse Berding (Sucre % MF de Canne), la fibre Berding (fibre % MF de canne) et le % MS de la tige usinable. Le tourteau sec est ensuite broyé au tamis à 2mm.

#### *Détermination des pouvoirs calorifiques inférieurs*

Le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) sert à calculer l'énergie nette disponible après combustion du produit.

#### Pouvoir Calorifique Inférieur de la fibre brute

Les échantillons secs et broyés de non-canne et de tourteau sont scannés en mode réflectance entre les longueurs d'onde 400-2 498 nm à l'aide d'un spectromètre proche infrarouge (SPIR) (FOSS, NIRSystems XDS, Inc. 7703 Montpelier Road, Suite 1, Laurel, MD 20723, USA). A partir des spectres acquis sur les poudres des échantillons de biomasse, les teneurs en composés lignocellulosiques (fibre NDF, hémicellulose, cellulose et lignine) ainsi que les solubles et les cendres ont été prédites à partir d'un modèle proche infrarouge précédemment développé (Sabatier *et al.*, 2012).

Les pouvoirs calorifiques inférieurs des échantillons (% fibre) sont calculés à partir de leurs teneurs en composantes lignocellulosiques prédites par SPIR (hémicellulose, cellulose et lignine) et des valeurs de pouvoirs calorifiques inférieurs provenant de la littérature (Sarlos *et al.*, 2003). Ces données représentent l'énergie de la fibre brute.

#### Pouvoir Calorifique Inférieur de la canne et du Non-canne

La formule établie par Wienese (2001) donne le PCI de produits frais (ex bagasse) à partir de ses taux de MS, cendres et solubles par rapport à la MF.

Cette donnée représente une énergie disponible, mais ne tient pas compte des rendements effectifs des chaudières, ni des consommations des sucreries pour leur propre fonctionnement.

#### *Détermination des rendements en sucre extractible, électricité et mélasse*

A partir des caractéristiques de qualité agronomique de la biomasse déterminées précédemment, des bilans énergétiques et massiques établis en sucrerie ont permis de calculer un sucre extractible, une quantité de mélasse et une quantité d'électricité disponible pour le réseau (c'est-à-dire déduction faite des rendements chaudières, des consommations de la sucrerie et de la centrale thermique). La méthode utilisée a été développée par Corcodel (2011).

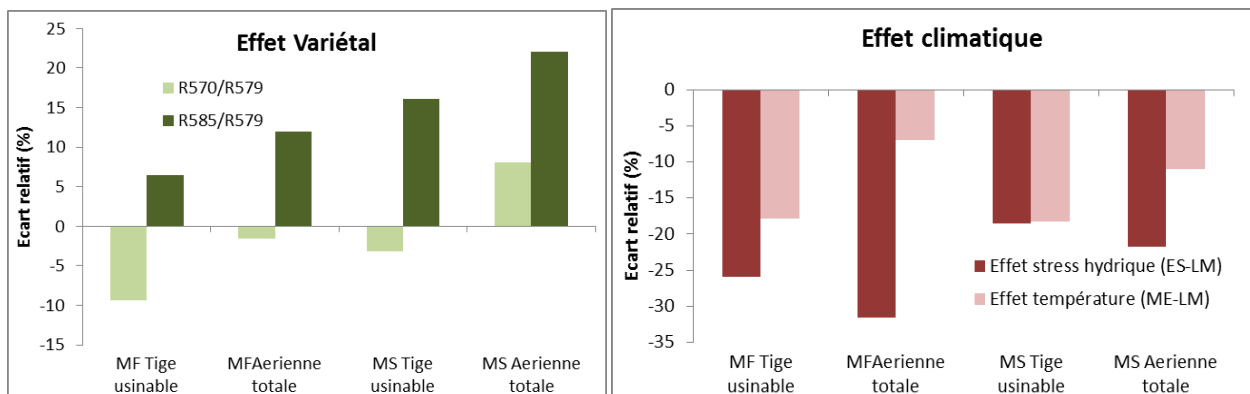
## **Résultats**

Les résultats complets sont présentés en annexe dans le tableau 2.

### ***Biomasses***

A 13 mois, les productions moyennes de MS de tiges usinable et de biomasse aérienne totale sont de 44 et 66 t/ha respectivement. Celle de MF de tige (ou rendement) est de 141 t/ha. Les hétérogénéités observées, très élevées (CV≈19%), sont probablement dues à la faible taille des placettes de récolte.

Bien que les biomasses récoltées soient très différentes entre variétés :  $R585 > R579$  et  $R570$ , l'effet variétal est statistiquement non significatif (Figure 1). Par contre, les différences entre sites sont significatives (Figure 2). Le stress hydrique à Etang-Salé et les températures faibles dues à l'altitude à Menciol réduisent fortement les biomasses respectivement de 18% à 26% et de 11 à 18% par rapport à La Mare. Ces effets sont dus principalement au fait que le stress hydrique et la diminution des températures ralentissent la croissance de la canne à sucre.



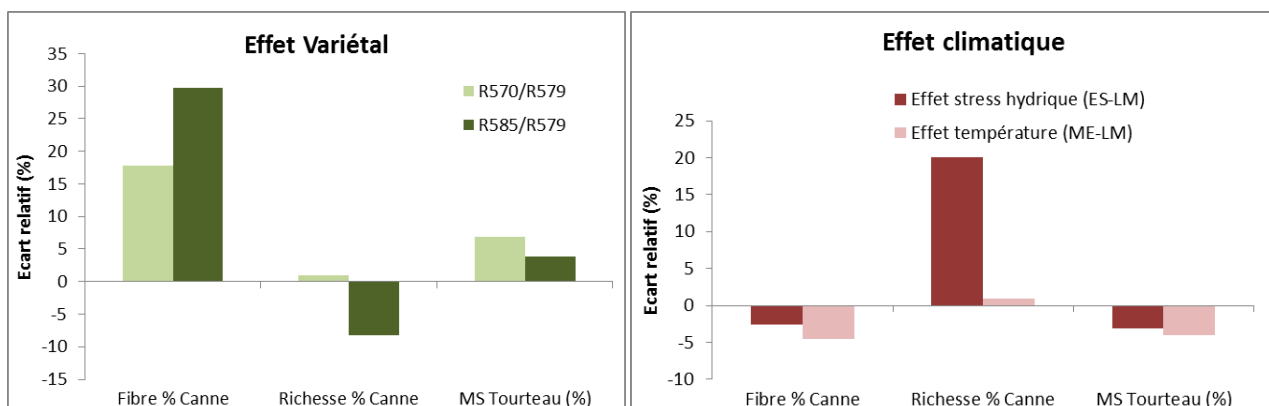
Figures 1 et 2 : Présentations des écarts relatifs variétaux et climatiques des données de biomasses.

### Analyses

Les teneurs moyennes en richesse et fibre % canne de la tige sont respectivement de 14,87 et 14,76%. La teneur moyenne de MS du tourteau est de 63%. Les hétérogénéités sont faibles ( $CV \approx 2$  à 7%).

Les variétés ont un effet hautement significatif sur toutes ces caractéristiques. La richesse de R585 est inférieure à celle de R570, qui est équivalente à celle de R579. La fibre de R585 est plus élevée de 30% par rapport à la fibre de R579 et R570 a une fibre de 18% supérieure à celle de R579. Les teneurs en MS du tourteau de R585 et R570 sont respectivement supérieures de 3,9 et 6,8% à celle de R579.

Des différences significatives sont notées entre sites uniquement pour la richesse et la teneur en MS du tourteau (Figure 4). Le stress hydrique (Etang-Salé) augmente fortement la richesse (+20%) et diminue (-3,1%) la teneur en MS du tourteau. Les températures faibles (Menciol) n'ont aucun effet sur la richesse et diminuent (-4,1) la teneur en MS du tourteau. Bien que l'effet site ne soit pas significatif ( $p = 0,08$ ) sur la fibre, on note une tendance à la diminution de la fibre dans des conditions de stress hydrique et de températures faibles.



Figures 3 & 4 : Analyses des cannes : présentations des écarts relatifs variétaux et climatiques.

## Pouvoirs Calorifiques

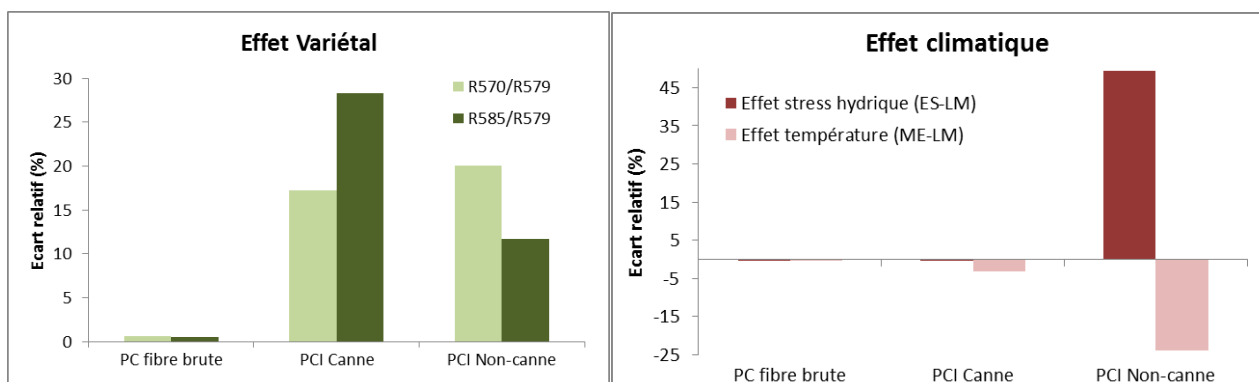
### Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) de la fibre

Le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) par tonne de MS de fibre des tiges est en moyenne de 17,1 M Joules par kg de produit sec (fibre). L'hétérogénéité est extrêmement faible puisque les CV sont de 0,2 %. On observe des différences significatives mais très faibles (Ecart Relatif  $\approx 0,5\%$ ) entre variétés (R585  $\approx$  R570 > R579) et entre sites (Ecart Relatif  $\approx 0,3\%$ ). Ces pouvoirs calorifiques baissent faiblement lorsque la température et le taux de satisfaction hydrique diminuent.

### Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) de la canne et du Non-canne

Le PCI moyen est de 2,58 MJ/Kg de canne (produit frais). Ce PCI correspond au pouvoir calorifique de la bagasse, rapporté à la tonne de canne. L'hétérogénéité est faible puisque les CV est de 4%.

On observe sur canne et non-canne des différences significatives importantes entre variétés (écarts relatifs de 17 à 28% sur canne) avec R585 (2,88) > R570 (2,63) > R579 (2,24) (Figure 5). Par contre, on ne note aucune différence significative entre sites excepté pour le non-canne (Figure 6).



**Figure 5 & 6 : Pouvoirs calorifiques inférieurs (PCI) : présentations des écarts relatifs variétaux et climatiques.**

### *Rendements en sucre extractible, électricité et mélasse et rendement économique*

Les rendements en sucre extractible (% canne), en énergie (électricité rendu réseau, Kwh/TC), en mélasse (% canne) et le chiffre d'affaire résultant de ces 3 valorisations produites par Tonne de canne sont en moyenne de 12,6 %, 96,5 KWh/T, 4,1 % et 91,3 €/T.

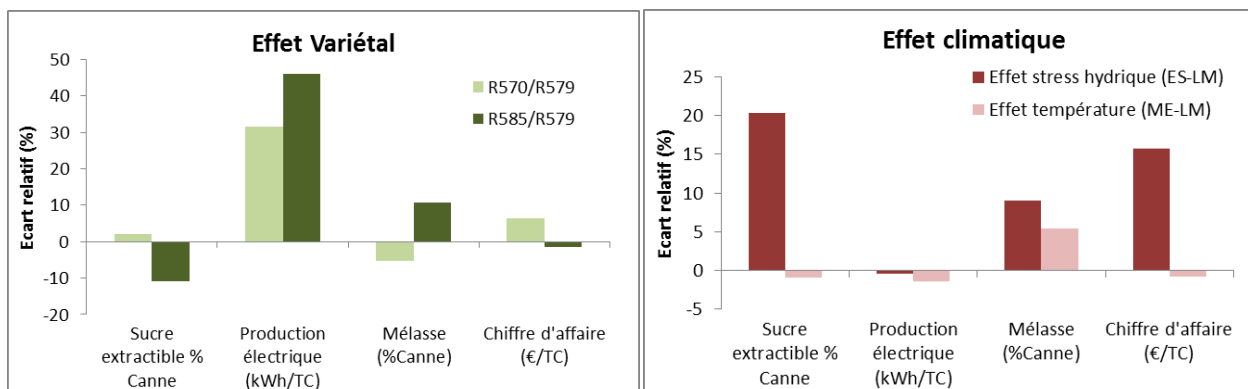
En Sucre Extractible, l'effet variétal est hautement significatif, R570 (13,3)  $\approx$  R579(13,0) > R585 (11,6) (Figure 7). Le % de sucre extractible de R585 est inférieur de 9 à 11% à celui des deux autres variétés. On note aussi des différences significatives entre sites : le stress hydrique augmente de 20% la quantité de sucre extractible tandis que la diminution de température n'a aucun effet (Figure 8).

En ce qui concerne le rendement en électricité, l'effet variétal est hautement significatif, R585 (112 KWh/T) > R570 (101 KWh/T) > R579 (77 KWh/T) avec R585 et R570 supérieures respectivement de 46% et 31% à R579 (Figure 7). Les sites n'ont aucun effet significatif (Figure 8).

Pour la mélasse % canne on n'observe aucune différence significative que ce soit pour les variétés ou les effets climatiques (Figures 7 et 8).

Les sites n'ont un effet significatif que sur le % sucre extractible.

En rendement économique, on n'observe aucune différence variétale (Figure 7). Comme pour le sucre extractible, le stress hydrique (Etang-Salé/La Mare) induit une augmentation de 16% du rendement économique tandis que l'effet température n'est pas significatif (Figure 8).



Figures 7 & 8 : Rendements : écarts relatifs variétaux et climatiques.

## Discussion et conclusions

### Impacts Climatiques (Effets sites)

Les effets du climat sont dus au fait que le stress hydrique et la diminution de température induisent physiologiquement une diminution de la croissance (production de biomasse et de fibres) au profit du sucre (Martiné *et al.* 2001, Inman-Bamber *et al.* 2008).

#### *Effet du stress hydrique*

Sous stress hydrique moyen (ETR/ETM = 0.83), les résultats observés montrent bien une diminution des biomasses (-19 à -26%) et une augmentation de la richesse (20%) mais aucun effet sur la fibre % Canne et le pouvoir calorifique de la canne. Au niveau usine et par tonne de canne, il s'en suit logiquement une augmentation du rendement en sucre extractible (20%), aucun effet sur l'électricité produite, et par conséquent un rendement économique nettement plus élevé (16%) du fait du poids du prix du sucre.

#### *Effet de la diminution de température*

Les effets physiologiques de base de la faible baisse de température diminuent les biomasses (-18%), mais n'ont aucun effet sur la fibre % canne, le pouvoir calorifique et la richesse. Au niveau rendement usine (/ t de canne), il s'en suit aucun effet sur le sucre extractible, l'électricité produite par tonne de canne, et par conséquent, aucun effet sur le rendement économique.

A la parcelle (/ha), les effets très négatifs du stress hydrique et de la diminution des températures sur la biomasse, bien que non significatifs du fait de l'hétérogénéité, réduisent fortement le rendement économique global /ha de -14 et -19% respectivement.

### Impact des variétés

L'effet variétal est dû aux différences de fibre % canne et de richesse % canne.

Une augmentation de fibre (18%) sans diminution de richesse (R570-R579) entraîne une augmentation du pouvoir calorifique de la canne (17%) et du rendement électrique (31%), et aucun effet significatif sur les rendements (/t) en sucre extractible.

Une augmentation (30%) de fibre avec diminution (-8.2%) de richesse (R585-R579) entraîne une augmentation du pouvoir calorifique (28%) et du rendement électrique (46%), une diminution de 11% du sucre extractible à la tonne de canne.

A la parcelle (/ha), malgré les différences observées entre variétés, les effets très négatifs du stress hydrique et de la diminution des températures sur la biomasse, les différences variétales entre rendements économiques ne sont pas significatives du fait de l'hétérogénéité des rendements.

### **Indicateurs agronomiques des performances industrielles sucrières et énergétiques**

Bien que pour une même richesse, on puisse avoir des sucres extractibles % canne différents (Corcodel, 2011), la richesse % canne est le meilleur indicateur des effets agro-climatiques sur le rendement en sucre extractible par tonne de canne puisque les effets et écarts relatifs observés sur cet indicateur sont exactement les mêmes que ceux observés sur le sucre extractible par tonne de canne.

La fibre % canne et le pouvoir calorifique des cannes sont les meilleurs indicateurs du rendement usine en électricité par tonne de canne. Par contre, le pouvoir calorifique de la fibre n'est pas du tout adapté comme indicateur. Ces valeurs sont très stables et les écarts relatifs trop faibles par rapport à ceux des effets agro-climatiques observés sur le rendement usine et en électricité.

Aucun indicateur agronomique ne permet de déterminer le rendement usine en mélasse par tonne de canne. L'absence d'effets variétaux et climatiques observée sur ce rendement rend difficile cette recherche.

### **Conclusion**

La méthode à la presse combinée à la méthode Berding servent de base pour déterminer des indicateurs de rendements usine en sucre extractible et en électricité. Elles nécessitent de connaître l'humidité du gâteau en plus des déterminations classique de brix%jus, pol%jus et poids de gâteau.

L'approche intégrée utilisant méthode presse, bilans massiques et énergétiques puis rendements économiques rend compte fidèlement de l'impact des effets agro-climatiques (variétés-sites) sur chaque produit usage (sucre, électricité, mélasse) en terme de production. L'intégration économique par le biais des différents prix de vente de ces produits complète l'analyse avec un revenu filière complet (Lejars *et al*, 2010).

Dans des situations complexes impliquant des changements de variétés, de sites, de pratiques, des prix de vente des différents produits, cette approche peut être un outil précieux pour les décideurs. Selon la position du curseur choisie sucre-énergie-mélasse, cette approche intégrée, par ingénierie inverse, est capable de déterminer les stratégies optimales (variétés, sites, pratiques) pour utiliser au mieux une biomasse multi-usage.

### **Perspectives**

Des compléments pourraient être apportés à cette approche :

- Prise en compte d'autres critères tels que le niveau global de production et le débit horaire (Corcodel, 2011) ;
- Réalisation d'un bilan carbone dans une optique de diminution de l'impact environnemental ;
- Evaluation de l'intérêt du « non canne » comme ressource énergétique ;

- Intégration directe des critères de rendement usine, au lieu du traditionnel sucre/ha, à partir des critères agronomiques, qui serait une aide précieuse pour la sélection, les essais agronomiques et la mise au point de systèmes de culture.

## Références bibliographiques

Corcodel L., 2011. Influence de l'augmentation du taux de fibre de la canne à sucre sur les performances du complexe sucrerie – centrale thermique. Thèse de Doctorat AgroParisTech, 189 p.

Inman-Bamber N.G.; Bonnette G.D., Spillman M.F., Hewitt M.L., and Jackson J., 2008.

Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. *Australian journal of agricultural research*. 59c(1): 13-26.

Lejars C., Auzoux S., Siegmund B., Letourmy P. 2010. Implementing sugarcane quality-based payment systems using a decision support system. *Computers and electronics in agriculture*, 70 (1) : 225-233.

Martiné J.F., Leuret P., Bonhomme R., 2001. Effect of soil water content, intercepted radiation and temperature on sugarcane sucrose balance and partition. *Proc. ISSCT 24<sup>th</sup>*, 2:58-64.

Sabatier D., 2012. Influence des facteurs agro-climatiques sur les modalités d'allocation de la biomasse produite aux différentes composantes lignocellulosiques des structures de la canne à sucre. Thèse de Doctorat AgroParisTech, 229 p.

Sabatier D., Thuries L., Bastianelli D. and Dardenne P., 2012. Rapid prediction of the lignocellulosic compounds of sugarcane biomass by near infrared reflectance spectroscopy: comparing classical and independent cross-validation. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 20(3).

Sarlos G., Haldi P.A. et Verstraete P., 2003. *Traité de Génie civil de l'EPFL*, Volume 21, Systèmes énergétiques.

Wienese A., 2001. Boilers, boiler fuel and boiler efficiency. *Proc. South. Afr. Technol. Ass.* 75: 275-281.

Site Internet : <http://canne-durable.re/>



## ANNEXE

**Tableau 2. Synthèse des résultats. (MF : Matière Fraîche, MS : Matière Sèche, PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur)**

p var, p loc et p var\*loc : probabilités critiques des effets variétaux, des sites et de leur interaction. L'effet est significatif si  $p \leq 0.05$ . RSE : Ecart-type résiduel. CV% Coefficient de variation.

		Biomasses (T/Ha)				Analyses			Pouvoir Calorifique Inférieurs (PCI, J/Kg)			Productions Usines			
		MF Tige usinable	MF Aérienne totale	MS Tige usinable	MS Aérienne totale	Fibre % Canne	Richesse % Canne	MS Tourteau (%)	PCI fibre brute	PCI Canne	PCI Non-canne	Sucre extractible % Canne	Production électrique (kWh/TC)	Mélasse (%Canne)	Chiffre d'affaire (€/TC)
<b>Moyenne</b>		140,93	193,24	43,96	66,21	14,76	14,87	62,96	17104	2584	6189	12,61	96,46	4,12	91,26
<b>Variété</b>	<b>R570</b>	128,97	183,82	40,81	65,05	15,01	15,38	64,92	17140	2630	6720	13,26	100,86	3,83	95,50
	<b>R579</b>	142,31	186,77	42,15	60,15	12,74	15,24	60,79	17046	2244	5598	12,99	76,67	4,05	89,80
	<b>R585</b>	151,51	209,12	48,93	73,44	16,52	14,00	63,17	17125	2878	6251	11,57	111,86	4,48	88,50
<b>Localisations</b>	<b>ES</b>	122,29	151,63	40,84	58,20	14,72	16,69	62,49	17081	2603	8521	14,25	96,67	4,29	100,62
	<b>LM</b>	165,00	221,83	50,11	74,31	15,11	13,90	64,51	17129	2615	5706	11,84	97,03	3,93	86,94
	<b>ME</b>	135,50	206,26	40,94	66,13	14,44	14,02	61,86	17101	2533	4342	11,73	95,69	4,14	86,23
<b>Statistiques</b>	<b>p var</b>	0,25	0,37	0,12	0,10	<b>0,00</b>	<b>0,03</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,11	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>	0,07	0,11
	<b>p loc</b>	<b>0,01</b>	0,00	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>	0,08	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	0,21	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,90	0,43	<b>0,00</b>
	<b>p var*loc</b>	0,25	0,34	0,45	0,38	0,19	<b>0,04</b>	0,15	0,14	0,15	0,42	0,05	0,04	0,08	0,12
	<b>RSE</b>	27,84	40,53	8,36	12,51	0,60	1,08	1,62	33,00	102,31	1076,30	1,25	6,57	0,57	7,12
	<b>CV%</b>	<b>19,80</b>	<b>21,00</b>	<b>19,00</b>	<b>18,90</b>	4,10	7,30	2,60	0,20	4,00	17,40	9,90	6,80	13,70	7,80
<b>Ecart relatifs</b>	<b>R570/R579</b>	-9,40	-1,60	-3,20	8,10	17,80	0,90	6,80	0,60	17,20	20,00	2,10	31,50	-5,30	6,40
	<b>R585/R579</b>	6,50	12,00	16,10	22,10	29,70	-8,20	3,90	0,50	28,30	11,70	-11,00	45,90	10,70	-1,40
	<b>Effet stress hydrique (ES-Effet</b>	-25,90	-31,60	-18,50	-21,70	-2,60	20,10	-3,10	-0,30	-0,40	49,30	20,30	-0,40	9,00	15,70
	<b>température</b>	-17,90	-7,00	-18,30	-11,00	-4,50	0,90	-4,10	-0,20	-3,10	-23,90	-1,00	-1,40	5,40	-0,80