ÉVOLUTION DES RENDEMENTS DE LA BETTERAVE SUCRIÈRE : UN EFFET FAVORABLE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Hervé **Escriou**[1], Fabienne **Maupas**[1], Marc **Richard-Molard**[2]

RÉSUMÉ

Les rendements de la betterave sucrière connaissent une progression régulière de l'ordre de 180 kg/ha/an de sucre sur les 20 dernières années et qui se confirme sur les années récentes. Parmi les causes explicatives le changement climatique est important. Selon les modèles agro-écophysiologiques disponibles, Sucros et Previbet, le changement climatique sur cette période de 20 ans explique a lui seul la moitié des gains de rendements, soit 93 kg/ha/an de sucre. Selon Sucros, les deux tiers (60 kg) sont acquis avant le 15 juin, indépendamment de la date de semis qui elle aussi s'est avancée de l'ordre de 5 jours durant cette période et dont l'impact selon le modèle Sucros est de 5%. Durant cette période où ne s'exerce pas de généralement de stress hydrique, c'est l'augmentation des températures moyennes qui explique les progrès de rendement. L'amélioration des qualités des semences et notamment l'activation contribue aussi au progrès pour 5% environ sur la période. La part de progrès non expliquée par ce qui précède relève donc de la génétique et des techniques culturales, sachant que les intrants sont plutôt en réduction depuis la moitié des années 1980. L'évolution de la génétique a été particulièrement forte pendant cette période avec un basculement à 100% vers des variétés résistantes ou tolérantes aux bioagresseurs (Rhizomanie, Nématode, Rhizoctone…). Une telle évolution intègre donc des pertes de rendement potentiel mais qui sont rapidement compensée par le travail des obtenteurs. Le « *Harvest index* » s'est lui aussi considérablement amélioré, ce qui résulte de l'action des obtenteurs mais aussi partiellement de l'augmentation des températures au printemps.

INTRODUCTION

Depuis la fin des années 1950 les rendements progressent à un rythme soutenu, suite à une période de rendements stagnants (autour de 4 tonnes/ha de sucre) depuis la fin du 19ème siècle. A cette époque les engrais surtout azotés sont de plus en plus utilisés. En 1960 arrivent les variétés triploïdes qui assurent un niveau très supérieur d'hybridation entre les lignées parentales, les rendements sont de l'ordre de 7 tonnes de sucre/ha). Au début des années 70 arrivent les semences mono germes génétiques qui permettent d'éviter le démariage manuel alors que les coûts du travail explosent. Ces variétés ne sont pas au niveau de rendement des graines pluri germes. C'est aussi une succession d'années climatiquement difficiles (1974-1976) : on note une stagnation des rendements.

Depuis 1977, les rendements progressent à nouveau et battent des records chaque année : ils ont atteint 14.5 de sucre/ha en 2009 (Fig 1) ! On estime généralement que ce progrès est dû pour moitié à l'amélioration variétale, stimulée par les variétés hybrides et des prix rémunérateurs. L'autre moitié est attribuée aux évolutions des itinéraires techniques : qualité de l'implantation, du désherbage, des protections phytosanitaires qui se mettent en place et atteignent leur point haut au milieu des années 80.

[1] Institut Technique de la Betterave, 45 rue de Naples, 75008 Paris.
[2] Directeur général de l'ITB.

Copyright – Académie d'Agriculture de France – 2010. Séance du 5 mai

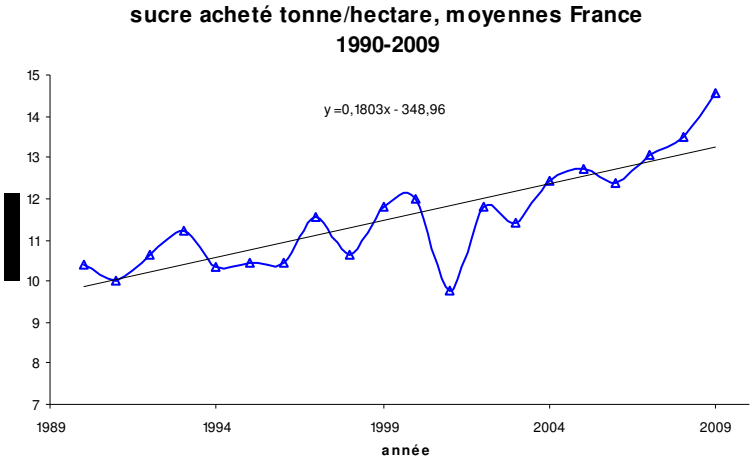

Fig 1 : Progression des rendements en sucre/ha acheté 1990-2009 (source CGB[0])

Au début des années 2000, l'ITB analyse les résultats des prélèvements réalisés par les sucreries tous les quinze jours depuis le 1er août jusqu'au 15 septembre. La série des prélèvements consolidés au niveau national par le SNFS[1] des années 1978 à 1999 est étudiée.

Celle ci met en évidence un résultat remarquable : la presque totalité du progrès de rendement acquis pendant ces 21 années l'est dès le premier prélèvement du 1er août ! La période ultérieure qui va jusqu'à la récolte apporte pratiquement la même quantité de sucre en 1999 qu'en 1978 ! La mise à jour jusqu'à 2009 confirme ces résultats même si on note quand même une légère progression dans la dernière phase. C'est donc avant le 1er août qu'est réalisé l'essentiel du progrès des rendements (Fig 2).

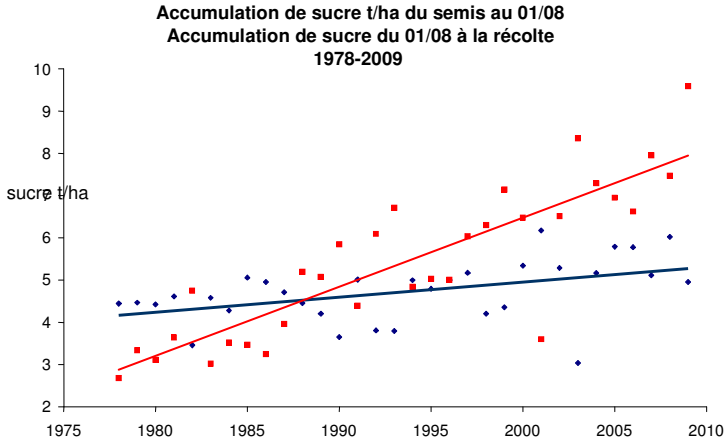

Fig 2 : Analyse des prélèvements des sucreries au 1er août (en rouge) et au 15 septembre (points bleus): l'essentiel des gains de rendement est réalisé avant le 1er août.

[0] Confédération générale des planteurs de Betterave [1] Syndicat National des Fabricants de Sucre

APPORT DES MODÈLES DE SIMULATION AGRO-ÉCOPHYSIOLOGIQUE

Diverses équipes s'intéressent à la modélisation de la culture, aux Pays Bas qui proposent un modèle générique Sucros, en Angleterre, en France avec l'Inra (Laon) et l'Itb. Sucros développé par Wageningen est re-paramétré par Martine Guérif (Inra Laon). C'est un modèle riche qui représente bien la croissance en conditions non limitantes mais qui surestime l'impact du stress hydrique.

A partir de 2004 l'ITB travaille un modèle de croissance Previbet qui simule la production journalière de sucre sur la base de la température moyenne et d'un indice de stress hydrique. Plus simple que Sucros, il ne demande que des variables d'entrée faciles à renseigner (profondeur du sol, températures et pluviométrie journalières), il fonctionne à partir du stade « couverture du sol », soit aux environs du 15 juin. A cette époque on commence à s'intéresser au rôle du climat sur les progrès de rendement. En 2007 nos collègues anglais publient une étude basée sur leur modèle de croissance qui impute au changement climatique l'essentiel des progrès observés! C'est aussi à cette époque que nous publions des résultats de simulation avec Previbet, qui vont dans le même sens que la thèse des anglais.

La mise à jour de ces simulations pour prendre en compte les dernières années nous conduit à utiliser les deux modèles disponibles. Avec Sucros, sur toute la série des 20 années, on constate une pente de 93kg/ha/an en se fixant des dates de semis et de récolte constantes, (1 avril-20 octobre) qui donc ne résulte que de l'évolution du climat. Avec Previbet, du 15 juin au 20 octobre on constate une pente de 34 kg/ha/an. Comme de ce qui précède on considère que c'est la phase précoce qui marque le plus d'évolution, elle n'est pas complètement prise en compte par Previbet.

Nous avons donc fait une simulation avec le modèle Sucros du 1er avril au 15 juin. Celle-ci montre une progression sur 75 jours (le cycle total est de 200 jours) de 60kg/ha/an sur cette période, cohérente avec les données précédentes, et qui confirme l'importance de cette phase, deux fois plus que la phase suivante (Fig 3).

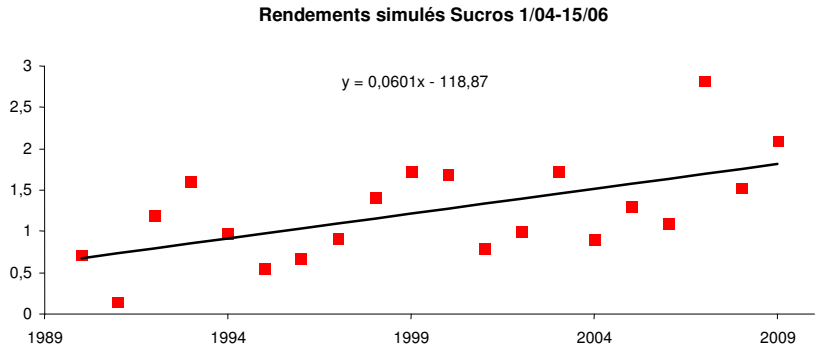

Fig 3. Simulation « Sucros » de la production de sucre (t/ha) du 1er avril au 15 juin.

Si l'on cumule les simulations obtenues en utilisant Sucros jusqu'au 15 juin puis Previbet jusqu'au 20 octobre on obtient une bien meilleure simulation des rendements réels. La progression totale de rendement est alors de 94 kg/ha/an, à comparer aux 180 kg/ha effectivement observés (Fig 5). On peut donc considérer que l'évolution climatique est responsable directement d'une bonne moitié du progrès des rendements. Si l'on considère que pendant la phase d'implantation qui on l'a vu est déterminante il n'y a pas généralement de stress hydrique, c'est alors essentiellement la température qui peut expliquer les gains. Si l'on regarde l'évolution des sommes des températures du 1er avril au 15 juin on observe en effet une augmentation de 4.4 °*jours par an, alors que sur l'ensemble du cycle les sommes sont stables (Fig 4).

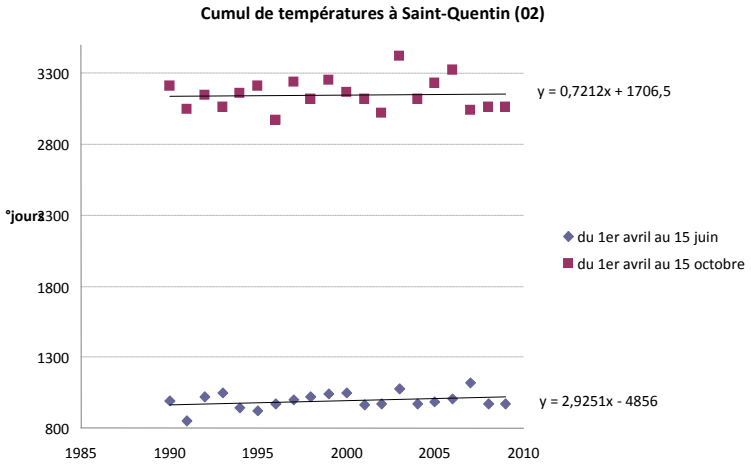

Fig 4 : Evolution des sommes de températures St Quentin (02) au printemps et sur tout le cycle

Si maintenant on compare les rendements simulés aux rendements réels, on constate un écart de 48% qui représente la contribution de sources de progrès autres que directement climatiques. Ces sources de progrès peuvent être la qualité des semences, l'amélioration génétique en général et aussi l'amélioration des techniques culturales comme l'avancement des dates de semis (qui n'est pas indépendante des hausses de températures au printemps), l'effet des restructurations qui concentre les productions dans les meilleures terres etc.

Concernant l'avance des dates de semis, qui peut d'ailleurs être aussi attribuée au changement climatique, elle est de 5 jours sur la période considérée. Avec Sucros on peut la créditer de 5% de gain de rendement. De même récemment (2007) la technique d'activation des semences a permis des vitesses de levée plus rapides de l'ordre de 2 jours : Sucros les crédite de 5% de gains de rendement.

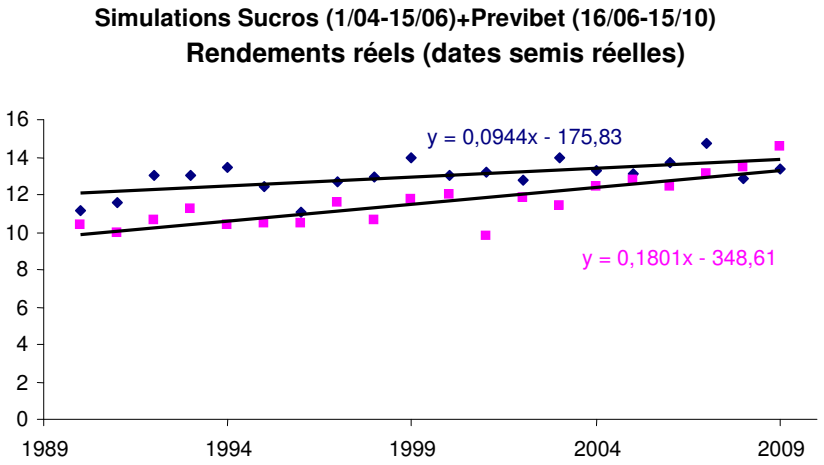

Fig 5 : Rendements simulés « Sucros+Previbet » et rendements réels 1990-2009

Pour le progrès génétique, on ne sait pas le mesurer objectivement car les variétés ne sont pas fixées et qu'on observe un *turn over* très rapide. On peut remarquer que pendant cette période les changements de génétique ont été très forts : basculement complet vers des variétés résistantes à la rhizomanie, développement de variétés tolérantes aux nématodes (Fig 6). Comme toujours le développement de caractères de résistance s'accompagne plutôt d'une perte de rendement potentiel. Ce développement a été dicté par l'évolution du contexte pathologique qui est peut être lui aussi le fruit du changement climatique.

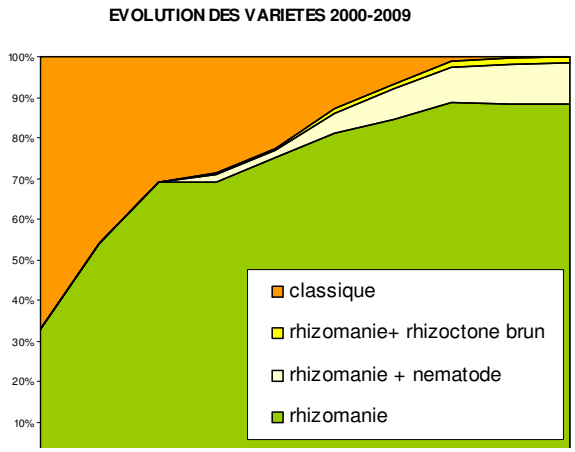

Fig 6. Evolution des parts de marché des types variétaux (Source SNFS)

En tout état de cause, sans ces adaptations remarquablement réussies par la sélection les résultats de rendements en eussent été fortement affectés et des zones de cultures importantes auraient été menacées de disparition. La sélection a joué et jouera encore un rôle déterminant majeur dans les résultats de la filière.

Un autre point mérite d'être souligné. L'évolution du « *Harvest Index* », mesuré grâce aux prélèvements évoqués plus haut réalisés par les sucreries. On observe une forte évolution en faveur des racines et au détriment des feuilles (Fig 7 et 8). C'est aussi probablement un résultat de la sélection, cependant, le modèle de croissance Sucros intègre une fonction d'allocation des assimilats entre parties aériennes et racines fonction des sommes de températures. A 700° jours, s'opère un basculement dans l'allocation des assimilats au profit des racines. Ainsi des températures plus élevées au printemps accélèrent l'accumulation de sucre dans les racines.

CONCLUSIONS

Les éléments présentés sont autant d'arguments qui plaident en faveur d'un poids important des hausses des températures au printemps pour expliquer les progrès importants des rendements en sucre des betteraves sucrières enregistrés durant les 20 dernières années.

Si l'on cumule l'effet du climat depuis le 1er avril, l'avancement des dates de semis, l'amélioration des vitesses de levée (activation) et peut-être une part de l'amélioration du « harvest index », la hausse des températures intervient pour près de 60%. La part de la génétique est sans aucun doute très importante : indirectement par la fourniture de variétés qui répondent à une forte évolution du contexte pathologique sans lesquelles les progrès dus au réchauffement ne seraient que virtuelles, indirectement aussi par la fourniture de semences à fort potentiel de levée (compromis génétique - tri des semences et activation), mais aussi directement car quelques références au CTPS[2] montrent que les nouvelles génétiques « rattrapent » les variétés de référence après quelques années de sélection.

[2] Comité Technique Permanent de la Sélection

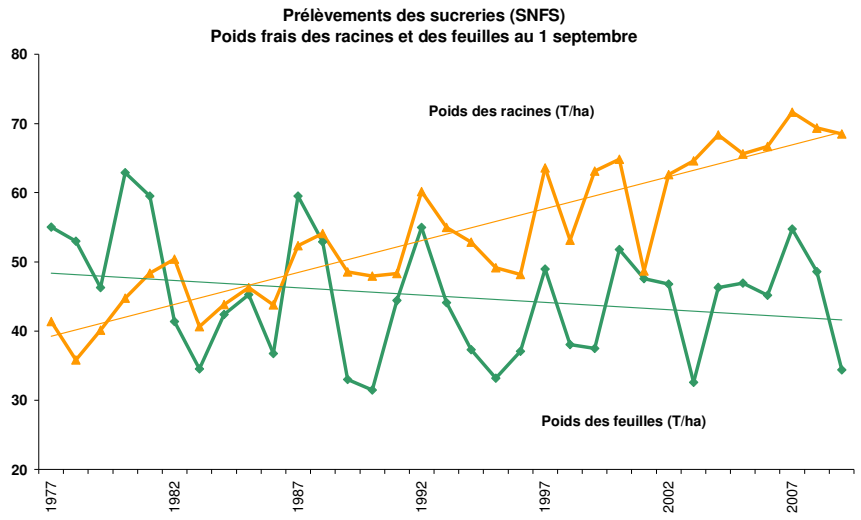

Fig 7 : Évolution des poids des feuilles et des racines au 1er septembre (source SNFS)

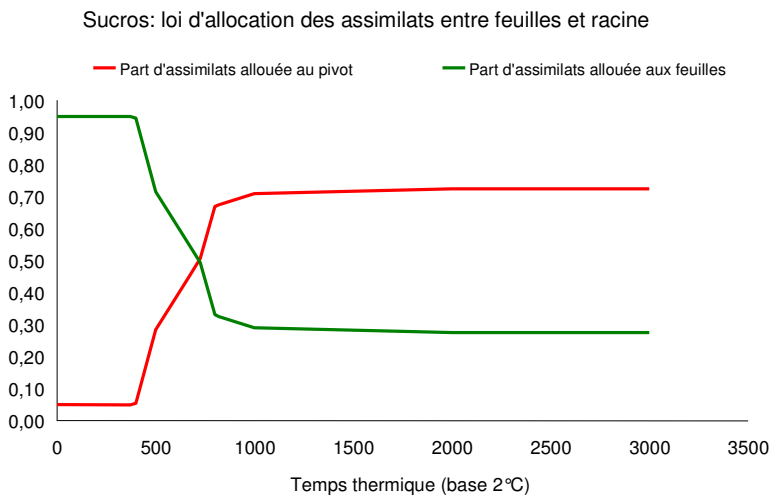

Fig 8 : Loi de partition des assimilats dans le modèle Sucros.

Pourquoi la betterave profite-t-elle du changement climatique plus que d'autres cultures ? La betterave apparaît comme un modèle plus simple à croissance indéfinie pendant la phase de culture et ne présentant aucun stade critique ni vis-à-vis des températures ni du stress hydrique estival.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) GUÉRIF M., DUKE C., 1998. – Calibration of the SUCROS emergence and early growth module for sugr beet using optical remote sensing data assimilation. European Journal of Agronomy, **9**, 127-136.

(2) ITB. – Productivité, physiologie et génétique in « Betterave sucrière : Progrès techniques et Environnement », 2007.

(3) ITB. www.itbfr.org/la betterave à sucre/courbes de croissance, 2000.

(4) JAGGARD K., QI A., – The impact of climate change on sugar beet yiel in the UK since 1976. Proceedings of 69th congress of IIRB 16/02/2006, Brussels.

(5) LAUNAY M., 2002. – Diagnostic et prévision de l'état des cultures à l'échelle régionale : couplage entre modèle de croissance et télédétection : application à la betterave sucrière en Picardie. Thesis, Institut National Agronomique Paris-Grignon.

(6) SPITTERS C.J.T., VAN KEULEN H., VAN KRAALINGEN D.W.G., 1989. – A simple and universal crop growth simulator: SUCROS87. In: Rabbinge, R., Ward, S.A., van Laar, H.H. (Eds.), Simulation and Systems Management in Crop Protection, Simulation Monographs 32, PUDOC, Wageningen, 434 pp.