

UTILISATION DU MODELE DE CULTURE STICS COMME OUTIL POUR RENSEIGNER LES ZONAGES VITICOLES

USE OF THE STICS CROP MODEL AS A TOOL TO INFORM VINEYARD ZONAGES

N. BRISSON¹; J.P. GAUDILLERE²; J.P. RAMEL³; E. VAUDOUR⁴

¹INRA Centre d'Avignon, Site d'Agroparc, domaine St Paul, 84914 Avignon

²INRA Centre de Bordeaux, 71, avenue Edouard Bourleaux, 33883 Villenave d'Ornon

³CIRAME Hameau de Serres, 84 200 Carpentras

⁴INA-PG Centre de Grignon 78850 Thiverval Grignon

Mots clés : modèle de culture, vigne, rendement, teneur en sucre, précocité, vigueur

Key words : crop model, vine, yield, sugar content, earliness, vigour

RESUME

STICS est un modèle de culture développé à l'INRA (France) depuis 1996. Il simule les bilans de carbone, d'eau et d'azote dans le système culture-sol, piloté par des données climatiques journalières. Il calcule à la fois des variables agricoles (rendement en quantité et qualité) et environnementales (pertes en eau et en azote). Une des originalités de STICS est son adaptabilité à de nombreuses cultures (herbacées, ligneuses, annuelles, pérennes) rendue possible par le choix de paramètres génériques et d'options de formalismes. Le travail présenté traite, dans un premier temps, des spécificités de STICS pour la vigne en terme de bilan trophique, de fonctionnement énergétique et hydrique et d'estimation des teneurs en sucre en en eau du raisin. Nous montrons ensuite diverses sorties du modèle qui permettent de caractériser des terroirs du vignoble des Côtes du Rhône.

ABSTRACT

STICS is a crop model developed at INRA (France) since 1996. It simulates the carbon, water and nitrogen balances of the crop-soil system driven by daily climatic data. It calculates both agricultural variables (yield in terms of quantity and quality) and environmental variables (water and nitrogen losses). One of the key elements of STICS is its adaptability to various crops (herbaceous, ligneous, annuals, perennials) made possible by the choice of generic parameters and options for both crop physiology and crop techniques. The present work deals first with the particularity of STICS to simulate vineyard in terms of trophic balance, energetic and water functioning and assessment of sugar and water contents of grape. Second it shows the various outputs which can be calculated by the model in order to characterize typical Côtes du Rhône zones.

INTRODUCTION

Les terroirs, dont la délimitation est économiquement importante pour les productions agricoles de qualité comme le vin, évoquent à la fois un sol (à l'échelle de petite région), un climat (qui s'apparente plus à un topoclimat : vallée, adret, plateau,...) et une végétation naturelle ou cultivée, révélatrice du milieu. Les outils proposés pour combiner l'ensemble de ces différentes composantes de façon fonctionnelle sont peu nombreux. Par exemple, l'approche proposée par RIOU (1994) repose sur une analyse simplifiée des processus et une synthèse sous forme d'indice. L'indice a pour fonction de réduire un ensemble de données complexes à une valeur et la mise au point de ces indices consiste le plus souvent en un aller et retour entre l'analyse des mécanismes affectant la plante (phénologie, bilan hydrique,...) et la synthèse statistique pour obtenir une valeur caractéristique de l'adéquation entre la plante, le pédoclimat et les techniques culturales. En ce qui concerne la vigne, les trois principaux éléments de la production qui permettent d'appréhender cette adéquation sont le rendement, la vigueur et la qualité (SEGUIN, 1978).

Les modèles de cultures, qui se sont développés depuis une vingtaine d'année offrent un cadre conceptuel permettant de calculer les éléments de production ci-dessus comme résultant des interactions dynamiques entre la plante, le sol, le climat et les techniques culturales à l'échelle parcellaire. Cependant l'essentiel des efforts de modélisation s'est fait sur les grandes cultures (BRISSON *et al.*, 1998) et peu de chose existent sur la vigne (BINDI *et al.*, 1996). A l'INRA, depuis, 1996, nous développons un modèle de culture générique s'appuyant sur nombreuses plantes modèles dont la vigne (BRISSON *et al.*, 2002).

L'objet de cette communication est de vous présenter ce modèle, encore à l'état de prototype, en se focalisant sur les spécificités de la vigne et d'illustrer son fonctionnement pour caractériser deux terroirs du vignoble des Côtes du Rhône méridionales.

LA THEORIE DU MODELE

Bref descriptif

STICS est un modèle dynamique, à pas de temps journalier, qui simule le comportement du système sol-culture au cours d'une année, afin d'estimer à la fois des variables agricoles (rendement, qualité, consommation d'intrants) et environnementales (pertes d'eau et de nitrate). La limite supérieure du système est l'atmosphère caractérisée par les variables climatiques standard (rayonnement, températures minimale et maximale, pluie, ETP ou éventuellement vent et humidité) et la limite inférieure correspond à l'interface sol/sous-sol.

La culture est appréhendée globalement par sa biomasse aérienne et sa teneur en azote, son indice foliaire ainsi que le nombre et la biomasse (et leur teneur en eau, sucre, huile et azote) des organes récoltés. Ainsi, les organes végétatifs (feuilles et rameaux) ne sont pas individualisés. Le sol est assimilé à une succession de couches horizontales, chacune de ces couches étant caractérisée par sa réserve en eau, en azote minéral et organique. Les interactions entre le sol et la culture sont assurées par les racines, celles-ci étant définies par une distribution de densité racinaire dans le profil de sol.

La croissance de la culture est pilotée de façon tout à fait classique par le bilan de carbone : interception du rayonnement solaire par le feuillage puis transformation en biomasse aérienne qui est orientée préférentiellement vers les organes de récolte pendant la phase de remplissage. Le bilan azoté de la culture est simulé parallèlement au bilan de carbone, dont il dépend en partie. Le développement de la culture est piloté par le concept de «somme de degrés-jours » calculé à partir de la température de la culture. L'existence éventuelle de stress hydrique et azoté est prise en compte au travers d'indices, calculés dans les bilans hydrique et azoté, qui peuvent réduire la croissance foliaire et l'accumulation de biomasse en conditions d'alimentation limitante.

Le potentiel d'adaptation du modèle à de nombreuses cultures (herbacées, ligneuses, annuelles, pérennes) est assuré par un choix de paramètres connus pour leur généricité (efficience de conversion du rayonnement intercepté, base de température,...) et par l'introduction d'options de simulation des processus s'appuyant sur des typologies fonctionnelles ou morphologiques (BRISSEON *et al.*, 2002). Les spécificités s'appliquant à la vigne sont détaillées ci-après.

Le fonctionnement trophique

La vigne est une culture indéterminée, c'est-à-dire que la compétition trophique entre les feuilles et les baies est un élément moteur de la production de la culture et de sa conduite. Dans le modèle, le rapport sources -puits (WARREN-WILSON, 1972) exprime cette compétition. Les sources correspondent à la fois aux assimilats néoformés et aux assimilats plus anciens remobilisables (réserves y compris les réserves provenant du cycle précédent). La force des puits fructifères est donnée par une dynamique potentielle de croissance alors que la force des puits végétatifs correspond à la croissance de l'indice foliaire convertie en biomasse végétative.

Les baies, regroupées en grappes, se mettent en place pendant la période de nouaison. Le nombre de grappes peut être imposé ou calculé en fonction du statut trophique des plants en début de cycle. Le nombre de baies nouées dépend du rapport sources-puits, de la température et du cépage. Au cours de leur croissance, les fruits passent par des compartiments correspondant à des âges physiologiques croissants. La durée de passage d'une baie dans un compartiment dépend de la température et dans chaque compartiment, la croissance des baies est égale au produit de la force des puits fructifères par le rapport source-puits (JONES *et al.*, 1991).

Interception du rayonnement, bilans hydrique et énergétique

Pour les cultures en rang comme la vigne, un calcul de transferts radiatifs est proposé qui prend en compte la géométrie de la culture simplement (BRISSEON *et al.*, 1999). Dans une première étape, l'interrang est discrétisé et le rayonnement reçu en un point de l'interrang est calculé à partir des angles critiques sous lesquels ce point reçoit directement le rayonnement solaire. De part et d'autre de ces angles critiques, le rayonnement est diminué du fait de l'absorption par la culture, que l'on simule par une loi de Beer. En supposant le couvert infini, le rayonnement reçu au point de calcul s'écrit comme la somme du rayonnement intercepté et transmis par la culture et du rayonnement non intercepté. Chacune de ces deux composantes comporte une partie directe et une partie diffuse, qui prend en compte l'orientation des rangs (illustration par la Fig. 1).

L'estimation dynamique de la géométrie de la culture repose sur les hypothèses suivantes : le feuillage occupe un volume de forme simple de section rectangulaire ou triangulaire (dont la base peut être aussi bien en bas qu'en haut de la plante) et ce volume peut être estimé à partir de l'indice foliaire, de la distance interrang, d'une densité foliaire dans le volume (croissante avec l'indice foliaire) et du rapport épaisseur/largeur de la forme. Il est possible de limiter la hauteur de la plante (maximal génétique ou technique) ; dans ce cas, une fois la hauteur maximale atteinte la forme croît uniquement en largeur. Le rognage et l'effeuillage, opérations culturales visant à contrôler la forme et la vigueur de la plante, ont été introduits.

Le bilan hydrique repose sur l'estimation des besoins en eau au niveau atmosphérique et de l'offre au niveau du sol ; ces deux composantes ayant chacune une partie évaporation du sol et une partie transpiration de la plante. La vigne, culture peu couvrante, exige une estimation réaliste de la séparation évaporation/transpiration ; elle est calculée par un bilan d'énergie reposant sur une adaptation du modèle de SHUTTLEWORTH et WALLACE (1985) au pas de temps journalier.

La température de culture journalière est calculée comme la moyenne arithmétique entre le maximum et le minimum, sachant que l'on suppose que les minima de l'air et de la culture coïncident. L'estimation de la température de culture maximale est basée sur une expression simplifiée du bilan d'énergie (SEGUIN et ITIER, 1983) à partir du rayonnement net et de l'évaporation journaliers. Les composantes calculées du rayonnement net ($r_{net} = (1 - albedo)rg + ratm - rsol$) sont le rayonnement atmosphérique (utilisation de la formule de Brutsaert), l'albédo qui évolue entre la valeur du sol (dépendant de son état de surface) et celle de la végétation et enfin le rayonnement du sol qui dépend de la température recherchée. Une procédure itérative basée sur un critère de convergence de la température de 0.5°C permet de réaliser le calcul. L'influence de la surface du sol sur le régime thermique de la culture a des conséquences sur la phénologie et la production ; une simulation à Chateauneuf du Pape avec deux surfaces d'albédo très différents illustre ce effet (Tableau 1).

Estimation de la teneur en sucre

La teneur en sucre du raisin est décomposée en deux variables calculées indépendamment : la teneur en sucre de la masse sèche d'une part et la teneur en eau du raisin d'autre part.

La concentration en sucre de la matière sèche est supposée augmenter à un « rythme thermique constant » en g sucre /g matière sèche /degré.jour depuis la nouaison. Cette dynamique très simpliste ignore les phases très caractéristiques pré et post-véraison. Nous avons ici juste l'ambition de reproduire un résultat final réaliste.

Une dynamique hydrique de la baie est simulée à partir de la véraison. Elle s'appuie sur la différence de température entre la culture et l'air qui diminue la teneur en eau du raisin. Ainsi la teneur en eau finale du raisin d'une parcelle irriguée sera supérieure à celle d'une parcelle sèche.

Ces deux composantes agissent en sens inverse sur la teneur en sucre finale, comme le montre le tableau 2 : l'irrigation provoque une augmentation de la quantité de sucre dans le raisin mais en raison du maintien d'une humidité plus élevée, la teneur en sucre finale est réduite. Ces simulations illustrent le fonctionnement du modèle, elles reposent sur un paramétrage encore incertain, qui nécessite une validation d'expert en cours (collaboration Chambre d'Agriculture du Vaucluse).

APPLICATION A DEUX UNITES DE PEDOPAYSAGE DES COTES DU RHONE

Nous avons appliqué le modèle à la caractérisation de deux unités de terroirs du vignoble rhodanien méridional (ou pédopaysage) définies par E. VAUDOUR (2001), en faisant l'hypothèse qu'il était possible de caractériser chacune de ces unités par un solum et une station météorologique proche. Le solum de Tulette (station météorologique de Visan-CIRAME) s'inscrit dans l'unité de pédopaysage des fersialsoils, calcisols, calcariques, cailloutiques, issus des alluvions anciennes des affluents de rive gauche, sur sables ou safres. L'enracinement est généralement profond, et se développe au sein des horizons meubles, à passées argileuses, que l'on peut trouver à près d'un mètre de profondeur. Le solum de Saint-Hilaire-d'Ozilhan (station météorologique de Pujaut -METEO FRANCE) s'inscrit dans l'unité de pédopaysage des rendosols, arenosols, colluviaux, leptiques, issus de grès molassique miocène. L'enracinement, superficiel, ne dépasse guère 1 mètre de profondeur. Cette unité est sensible à la sécheresse. En terme de qualité, la différence majeure entre ces deux terroirs réside dans le poids moyen d'une baie, plus élevé à Tulette, tandis que le degré moyen y est sensiblement plus faible (analyse de la période 1983-1998). La disponibilité des données climatiques nous a contraint à réduire la période d'étude à 1993-1998. Les densités de plantation (0.4 cep/m^2) et modes de conduite simulés sont identiques (vigne palissée, pas d'apport d'engrais).

L'ensemble des résultats, variabilités inter annuelles et moyennes, est présenté dans le tableau 3. On remarque surtout une différence importante de précocité et de rendement qui repose sur le poids moyen d'une baie. Les degrés moyens sont très proches et les poids de bois de taille sont plus faibles à Tulette. Ces valeurs moyennes cachent une variabilité interannuelle différente pour les deux sites. Par exemple, l'année 1996 présente des valeurs inversées par rapport aux résultats moyens (plus faible rendement à Tulette mais forte teneur en sucre), en relation avec une maturité très tardive. La limitation du nombre de grappes (simulation d'un éclaircissage début juillet à 5 grappes par cep) ne se traduit pas réellement par une limitation des rendements à cause d'une forte compensation de la suppression des grappes par la croissance élémentaire des baies (si l'on supprime l'année 1996, les rendements moyens sont équivalents) ; ce qui n'est pas conforme aux données expérimentales (JACQUET et GENEVET, 2002) et laisse penser que le paramètre donnant le potentiel de croissance d'une baie est exagéré.

Pour analyser l'effet «terroir » nous avons dissocié les sols et les climats des deux unités (2 dernières colonnes du tableau). Il apparaît que le sol de St Hilaire, en introduisant une contrainte hydrique à Tulette limite les rendements et régularise la teneur en sucre et la précocité. A l'inverse, le sol de Tulette permet d'augmenter les rendements de St Hilaire par le biais du poids de baie mais diminue sensiblement la teneur en sucre. Cependant, la figure 2 montre que le modèle ne simule pas de relation entre le rendement et la teneur en sucre.

CONCLUSION

Bien que STICS-Vigne soit encore à l'état de prototype et nécessite une consolidation de son paramétrage (avec en particulier une identification des paramètres propres aux cépages), ce travail montre les potentialités de l'outil. Il permet de renouveler les approches par indices climatiques et de se rapprocher de l'échelle de description des terroirs en intégrant les caractéristiques fonctionnelles des sols. C'est également un outil intéressant pour des études prospectives sur par exemple les changements climatiques (Seguin, 2002) ou techniques (irrigation du vignoble).

BIBLIOGRAPHIE

BINDI M., L. FIBBI, B. GOZZINI, S. ORLANDI, F. MIGLIETTA (1996) Modelling the impact of future climate scenarios on yield and yield variability of grapevine. *Clim. Res.*, 7: 213-224.

BRISSEON N., C. GARY., E. JUSTES., R. ROCHE., B. MARY., D. RIPOCHE., D. ZIMMER, J. SIERRA, P. BERTUZZI, P. BURGER, F. BUSSIERE, Y.M. CABIDOCHÉ, P. CELLIER, P. DEBAEKE, J.P. GAUDILLERE, C. HENAULT, F. MARAUX, B. SEGUIN, H. SINOQUET (2002) An overview of the crop model STICS. *Eur. J. Agron.* (accepté pour publication)

BRISSEON N., B. MARY., D. RIPOCHE., M.H. JEUFFROY, F. RUGET, B. NICOUILLAUD, P. GATE, F. DEVIENNE-BARET, R. ANTONIOLETTI, C. DURR, G. RICHARD, N. BEAUDOIN, S. RECOUS, X. TAYOT, D. PLENET, P. CELLIER, J.M. MACHET, J.M. MEYNARD, R. DELECOLLE (1998) STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balance. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomie* 18, 311-346

BRISSEON N., R. TOURNEBIZE, H. SINOQUET (1999) A simple daily model of radiative transfers for row. *Proceedings of the first international symposium on modelling cropping system, June 1999, Lerida.*

JACQUET O., B. GENEVET (2002) Gestion de la conduite hydrique : conséquences qualitatives. C.R. 6^{ème} rencontres Rhodaniennes. Orange (France), Institut Rhodanien ed., 12-19

JONES J.W., E. DAYAN, L.H. ALLEN, H. VAN KEULEN, H. CHALLA (1991). A dynamic tomato growth and yield model (TOMGRO). *Trans. ASAE*, 34: 663-672

RIOU C. (1994) Le déterminisme climatique de la maturation du raisin : application au zonage de la teneur en sucre dans la Communauté Européenne. CEE Bruxelles, rapport EUR 15863 FR/EN, 321 pp.

SEGUIN B. (1978) Rapport sur la Vigne. INRA-Bioclimatologie Avignon ed., 129pp.

SEGUIN B. (2002) Relation entre climat et terroirs à différentes échelles spatiales : apport de nouveaux outils méthodologiques. *Communication présentée dans ce même colloque*

SEGUIN B., B. ITIER (1983) Using midday surface temperature to estimate daily evaporation from satellite thermal IR data. *Int. J. Remote Sensing* 4, 371-383.

SHUTTLEWORTH W.J., J.S. WALLACE (1985) Evaporation from sparse canopy-An energy combination theory. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.* 111, 839-855.

VAUDOUR E. (2001) Les terroirs viticoles. Analyse spatiales et relation avec la qualité du raisin. Application au vignoble AOC des Côtes du Rhône méridionales. *Thèse de doctorat de l'INA-PG Paris-Grignon*, 343 pp.

WARREN-WILSON J. (1972) Control of crop processes. In: *Crop processes in controlled environment*, AR Rees, KE Cockshull, DW Hand, RG Hurd (eds), Academic Press, London, 7- 30.

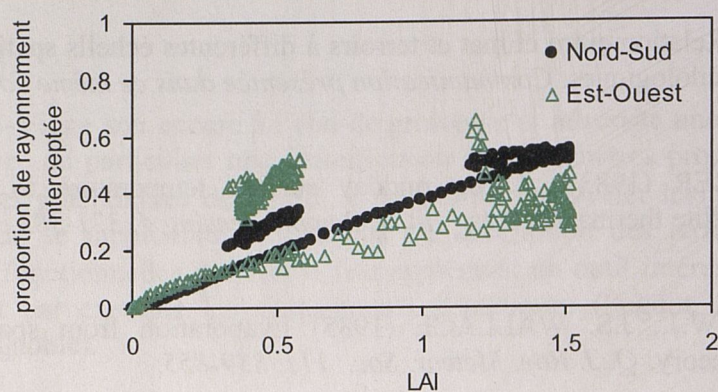


Figure 1 : Simulation de l'effet d'orientation des rangs sur l'interception du rayonnement. Les points au dessus de la tendance moyenne de la courbe correspondent à des journées à fort rayonnement diffus

Simulation STICS Carpentras 2000	albédo=0.20 (surface brune)	albédo=0.40 (surface blanchâtre)
débourrement	15/03	25/03
floraison	24/05	30/05
maturité	30/08	07/09
rendement (t/ha)	7.8	9.1
sucre (%)	18.6	17.7
poids d'une baie (g)	1.4	1.7
poids de bois de taille (t/ha)	1.9	1.8

Tableau 1 : Exemple de simulation de l'influence de la couleur du sol sur les éléments de la production

Simulation STICS Carpentras 2000	sans irrigation	irrigation 72 mm début juillet
maturité	07/09	08/09
rendement (t/ha)	9.1	11.0
eau (%)	82	83
sucre (t/ha)	1.61	1.84
sucre (%)	17.7	16.7
poids d'une baie (g)	1.7	2.08
poids de bois de taille (t/ha)	1.8	1.0
différence Tcult-Tair moyenne pendant la maturation (°C)	0.96	0.82

Tableau 2 : Exemple de simulation de l'effet de l'alimentation hydrique sur la production

	années	St Hilaire d'Ozhilan 13 gr/cep	Tulette 13 gr/cep	St Hilaire d'Ozhilan 5gr/cep	Tulette 5gr/cep	climat St Hilaire sol Tulette 13 gr/cep	climat Tulette sol St Hilaire 13 gr/cep
date de maturité	93	19-sept	16-oct			19-sept	16-oct
	94	28-août	12-sept			28-août	12-sept
	95	09-sept	10-oct			10-sept	10-oct
	96	24-sept	07-déc			25-sept	14-nov
	97	05-sept	20-sept			05-sept	20-sept
	98	06-sept	25-sept			06-sept	24-sept
	moyenne	10-sept	10-oct			10-sept	06-oct
	écart-type	10	31			10	23
rendements (t/ha)	93	5.08	7.64	4.89	7.37	6.21	6.34
	94	5.17	9.33	4.93	8.95	6.84	8
	95	5.18	9.09	5.02	8.67	6.84	7.02
	96	9.16	8.06	8.87	10.29	11.05	9.48
	97	5.67	9.05	5.32	8.67	6.97	7.74
	98	5.82	8.99	5.55	8.48	7.63	7.45
	moyenne	6.01	8.69	5.76	8.74	7.59	7.67
	écart-type	1.57	0.68	1.54	0.94	1.75	1.06
sucres (% du poids de raisin)	93	14.68	14.06	14.65	14.03	14.46	14.04
	94	15.62	13.59	15.62	13.59	15.34	13.74
	95	14.84	14.97	14.81	14.94	14.3	15.25
	96	13.53	16.29	13.52	15.64	13.36	15.72
	97	15.43	15.07	15.41	15.07	15.24	15.23
	98	14.38	14.75	14.37	14.74	14.17	14.88
	moyenne	14.75	14.79	14.73	14.67	14.48	14.81
	écart-type	0.76	0.93	0.76	0.74	0.73	0.77
Poids d'une baie (g)	93	0.81	1.05	0.94	1.25	1.21	0.90
	94	0.80	1.40	0.91	1.62	1.06	1.20
	95	0.82	1.31	0.97	1.57	1.06	1.02
	96	1.33	1.54	1.55	1.82	1.60	1.39
	97	0.99	1.37	1.17	1.57	1.22	1.17
	98	1.08	1.39	1.28	1.62	1.42	1.16
	moyenne	0.97	1.35	1.14	1.58	1.26	1.14
	écart-type	0.21	0.16	0.25	0.19	0.21	0.17
Poids de bois de taille (t/ha à 15% d'eau)	93	1.56	1.17	1.46	0.83	1.99	1.10
	94	1.82	1.55	1.73	1.51	1.90	1.60
	95	1.48	1.30	1.45	1.12	1.78	1.43
	96	2.01	1.55	2.01	0.89	1.46	1.43
	97	1.90	1.68	1.92	1.45	2.45	2.32
	98	1.30	1.71	1.27	1.02	1.90	1.97
	moyenne	1.68	1.50	1.64	1.13	1.91	1.64
	écart-type	0.27	0.21	0.29	0.28	0.32	0.44

Tableau 3 : Résultats de simulation.

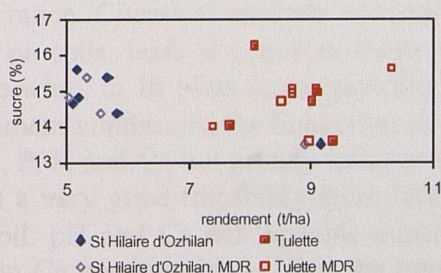


Figure 2 : Teneurs en sucre simulées par rapport aux rendements simulés

SESSION II – Intervention n° 26 – N. BRISSON

Aspects relatifs à la Plante

Page 9 sur 9