

X^{e} séminaire des utilisateurs et concepteurs du modèle STICS

I^{er} séminaire du réseau scientifique STICS



24-26 mars 2015

AGROCAMPUS OUEST, 65 rue de St-Brieuc, Rennes

ORGANISATION

Pour Rennes :

Virginie Parnaudeau, Karine Derrien et Maryvonne Pertué (UMR SAS)

Site web : Thierry Trochet (UMR SAS)

Logistique site AGROCAMPUS OUEST : Anne Bourdeau et Stéphane Crespel (Agrocampus Ouest)

Conception graphique : Sylvaine Bitteur et Eric Beaumont (INRA Rennes)

Pour l'Equipe Projet STICS :

Nicolas Beaudoin ; Dominique Ripoche

COMITE SCIENTIFIQUE

Nicolas Beaudoin ; Dominique Ripoche ; Virginie Parnaudeau
Patrick Bertuzzi ; Samuel Buis ; Eric Casellas ; Julie Constantin ; Iñaki Garcia de Cortazar-Atauri ; Benjamin Dumont ; Ophélie Fovet, Eric Justes ; Hayo van der Werf ; Marie Launay ; Christine Le Bas ; Gaetan Louarn ; Françoise Ruget

INTERVENANTS INVITES

Margarita Ruiz-Ramos : chercheuse à l'Ecole Technique Supérieur des Ingénieurs Agronomes de l'Université Polytechnique de Madrid, dans l'équipe AgSystems (Systèmes des cultures).
Spécialiste de la modélisation de cultures, qui a réalisé de nombreuses études sur l'impact du changement climatique sur l'agriculture en France.

Pierre Cellier : directeur de recherche à l'INRA, UMR ECOSYS à Grignon, Chef de Département Adjoint « Environnement et Agronomie ».
Spécialiste des échanges de masse et d'énergie entre les couverts agricoles et l'atmosphère et des émissions et dépôts de polluants (NH_3, NOx, ozone, pesticides) et de gaz à effet de serre (CO_2, N_2O, ozone).

SOUTIENS FINANCIERS ET LOGISTIQUES

INRA – Département Environnement et Agronomie ; Agrocampus Ouest ; Rennes Métropole

INRA - Centre de Rennes ; INRA – UMR SAS

PROGRAMME

Mardi 24 mars 2015

8h00-9h30 **Accueil café**

Session 1 : Matinée introductive

Animateur : Iñaki Garcia de Cortazar-Atauri

9h30-11h00 *Equipe projet STICS (EPS)* : Travaux et gouvernance de l'Equipe Projet STICS

11h00-11h45 *Cellier Pierre* : Enjeux du réseau STICS pour les départements EA et l'INRA

11h45-12h00 Mini-pause

12h00-13h00 *Keynote* par *Margarita Ruiz Ramos :*
Les modèles de culture face au changement climatique : les enjeux des projets nationaux, européens et internationaux

13h00-13h15 *Informations pratiques*

13h30-14h30 Repas

14h45-16h15 **Session 2 : Projets internationaux mobilisant STICS**

Animateur : Eric Justes

Patrick Bertuzzi et al. : STICS et exercices internationaux d'inter-comparaison de modèles de culture. (20 + 5 min)
JE Bergez, Hélène Raynal, Patrick Durand, Laurent Ruiz et al. : AICHA: un projet franco-indien pour l'analyse de l'impact du changement climatique sur l'agriculture irriguée en Inde du sud. (25 + 5 minutes)
Fernando Macena da Silva, François Affholder, Marc Corbeels : Les impacts du changement climatique sur la production de maïs dans le Cerrado du Brésil.
Françoise Ruget, Dominique Ripoche, Jean-Louis Durand : Comprendre les différences entre des sorties de modèles plutôt que les moyenner ?

16h15-16h45 Pause

16h45-17h45 **Session 3 : Couplage et approches intégrées mobilisant STICS**

Animateur : Iñaki Garcia de Cortazar-Atauri

Julie Caubel, Sophie Wieruszeski, Iñaki Garcia de Cortazar-Atauri, Nathalie de Noblet-Ducoudré : Recherche d'indicateurs de fonctionnement des grandes cultures à partir du modèle global ORCHIDEE : cas du rendement
Sabine-Karen Yemadje, Julien Moeys, Eric Justes, Enrique Barriuso, Marjorie Ubertosi, Nicolas Munier-Jolain, Laure Mamy : Forçage du modèle de simulation du devenir des pesticides MACRO avec le modèle de culture STICS pour évaluer les flux de pesticides dans les systèmes de culture innovants
Pierre Humblot, Pierre-Alain Jayet, Elvire Petel, Athanasios Petsakos : L'eau et l'azote comme intrants : apports d'un modèle de culture à l'analyse économique.

18h30 Visite guidée de Rennes (Rendez-vous : Place du Parlement)

20h30 Repas en ville en crêperie (L'Epi de Blé, place de la gare)

Mercredi 25 mars 2015

8h30-10h30 **Session 4 : Nouveaux formalismes et évaluation de STICS**

Animatrice : Françoise Ruget

L. Strullu, F. Ferchaud, N. Beaudoin, N. Yates, I.G. de Cortàzar Atauri, I. Shield et B. Mary : -: Amélioration et validation multi-sites d'une version de recherche du modèle STICS pour simuler sur le long terme une culture pérenne : Miscanthus × giganteus
Guillaume Jégo, Martin Chantigny, Elizabeth Pattey, Gilles Bélanger, Philippe Rochette, Anne Vanasse, Claudia Goyer : Amélioration d'un modèle de couvert de neige et simulations multi-annuelles avec STICS dans les climats nordiques
Laure Beff, Yvon Lambert, Nicolas Beaudoin, Bruno Mary et Thierry Morvan: Utilisation du modèle STICS pour quantifier la vitesse potentielle de minéralisation de l'azote organique du sol sur le réseau régional "Mh"
Wilfried Queyrel, Florence Habets, Hélène Blanchoud, Marie Launay, Dominique Ripoche : Simulation du devenir des pesticides dans les sols à l'aide du module Pestics : applications et futurs développements
S. Zaka, S. Buis, F. Ruget, J.-L. Durand, G. Louarn : Analyse de sensibilité des fonctions de réponse à la température dans STICS-Prairie
Magali Willaume, Julie Constantin, Olivier Therond : AqYield peut-il rivaliser avec STICS pour simuler la dynamique hydrique et le rendement de 3 cultures de printemps sous contraintes hydriques ?

10h30-11h Pause

11h-13h15 **Session 5: Usage de STICS à des échelles spatiales « larges »**

Animateur : Gaëtan Louarn

*Elizabeth Pattey, Guillaume Jégo, S. Morteza Mesbah, Jiangui Liu, Isabelle Duchesne :*Impact de la résolution spatiale des propriétés de sol et des données climatiques sur les prédictions régionales de rendement du maïs avec le modèle STICS (logiciel OptimiSTICS)
Christine Le Bas, Yves Coquet, Marion Bardy, Robert Faivre, Martine Guérif, Florence Habets, Samuel Buis, Isabelle Cousin : Etude méthodologique de l'impact des incertitudes liées à l'estimation spatialisée des paramètres sols du modèle Stics à partir de la Base de Données Géographique des Sols de France à 1/1 000 000. :
Enguerrand Burel, Rémy Fieuzal, Frédéric Baup, Nathalie Jarosz-Pellé, Vincent Bustillo : Perspectives d'amélioration du modèle STICS par couplage pour la spatialisation du fonctionnement des agrosystèmes en conditions hydriques limitantes
Sylvain Ferrant, Simon Gascoin, Patrick Durand, Vincent Bustillo : Perspectives de la télédétection dans la modélisation agro-hydrologique spatialisée : l'exemple de la pollution agricole dans le sud-ouest de la France :
Beaudoin N., Mary B., Gallois N., Le Bas C., Puech T., Schott C., Viennot P. : Expertise multicritère de la spatialisation de STICS à l'échelle macro-régionale : Application à la modélisation des flux d'eau et d'azote dans le bassin de la Seine

13h30-14h30 Repas

14h45-16h15 **Session Posters**

16h15-16h45 Pause

16h45-18h30 **Tables rondes en parallèle**

- Quels besoins de prise en compte de nouveaux processus ou de révision de formalismes existants ? (avec introduction sur le projet scientifique).

Animé par Gaëtan Louarn et Marie Launay

- Test, évaluation et domaine de définition : comment augmenter la confiance des utilisateurs dans le modèle (communication de performances sur quels systèmes, plantes, processus (CC), configuration pédoclimatique, mise à disposition d'outil).

Animé par Samuel Buis et Eric Justes

- Ergonomie, documentation, outils : comment faciliter l'utilisation de STICS ?

Animé par Dominique Ripoche et Christine Le Bas

- Modulariser STICS : pour faire quoi, quelles attentes vis à vis de la modularisation.

Animé par Eric Casellas et Nicolas Beaudoin

20h Repas en ville (La Taverne) avec le groupe de musique celtique Pao Bran

Jeudi 26 mars 2015

9h-10h30 **Session 6 : Systèmes de culture innovants et paramétrages associés**

Animatrice : Marie Launay

Françoise Ruget, Kamran Irfan, Samuel Buis : Aptitudes de STICS calibré à estimer le rendement du riz en Camargue lorsqu'il est calibré sur des données en parcelles agricoles
Daniel Plaza-Bonilla et Eric Justes : Simulation avec le modèle STICS de 6 systèmes de culture à bas intrants incluant des légumineuses à graines et des cultures intermédiaires
Cecilia M. Armas-Herrera, Nicolas Beaudoin, Silvina B. Restovich, Adrian E. Andriulo, François Affholder, Alexandra Maltas, Jørgen E. Olesen, Behzad Sharif, François Laurent, Jean-Pierre Coha, Bruno Mary : Modélisation avec STICS des effets de non travail versus travail du sol en systèmes de culture sous des conditions pédoclimatiques contrastées
Hélène Tribouillois et Eric Justes : Simulation avec le modèle STICS des services écosystémiques de gestion de l'azote produits par des cultures intermédiaires bispécifiques

10h30-11h Pause

11h-12h15 Restitution des tables rondes
Assemblée générale

12h15-13h15 Conclusion

13h30-14h30 Repas assis ou panier-repas

14h30 Clôture du séminaire

TABLE DES MATIERES

SESSION 1 – Communication orale 8
Système de test et d'évaluation en routine du modèle STICS 9
SESSION 1 - Posters 11
Refactoring du code de STICS 12
Mise en œuvre de simulations grande échelle de STICS sur la plate-forme RECORD. Application aux projets Agmip (pilote C3MP) et MACSUR (scaling pilot) 14
SESSION 2 – Communications orales 16
STICS et exercices internationaux d'inter-comparaison de modèles de culture 17
Adaptation de l'agriculture Irriguée au CHAngement climatique (AICHA) : une modélisation trans-disciplinaire d'un bassin-versant en Inde du Sud 21
AICHA : Un modèle intégré pour l'étude de l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines d'un petit bassin versant Indien 23
Les impacts du changement climatique sur la production de maïs dans le Cerrado du Brésil 25
Comprendre les différences entre des sorties de modèles plutôt que les moyenner ? 27
SESSION 3 – Communications orales 30
Recherche d'indicateurs de fonctionnement des grandes cultures à partir du modèle global ORCHIDEE : cas du rendement 31
Forçage du modèle de simulation du devenir des pesticides MACRO avec le modèle de culture STICS pour évaluer les flux de pesticides dans les systèmes de culture innovants 33
L'eau et l'azote comme intrants : apports d'un modèle de culture à l'analyse économique 35
SESSION 3 - Posters 37
Etude des conséquences environnementales de la substitution des engrais minéraux par l'épandage de Produits Résiduaires Organiques (PROs) avec la méthode d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) 38
Couplage de STICS avec un modèle d'architecture racinaire, ARCHISIMPLE 40
SESSION 4 – Communications orales 42
Amélioration et validation multi-sites d'une version de recherche du modèle STICS pour simuler sur le long terme une culture pérenne : Miscanthus × giganteus 43
Amélioration d'un modèle de couvert de neige et simulations multi-annuelles avec STICS dans les climats nordiques 45
Utilisation du modèle STICS pour quantifier la vitesse potentielle de minéralisation de l'azote organique du sol sur le réseau régional "Mh" 47
Simulation du devenir des pesticides dans les sols à l'aide du module Pestics : applications et futurs développements 49
Analyse de sensibilité des fonctions de réponse à la température dans STICS-Prairie 51
AqYield peut-il rivaliser avec STICS pour simuler la dynamique hydrique et le rendement de 3 cultures de printemps sous contraintes hydriques ? 53
SESSION 4 - Posters 56

Création de IDE-STICS (base de données intercontinentale pour l'évaluation de STICS) 57
SESSION 5 – Communications orales..... 59
Impact de la résolution spatiale des propriétés de sol et des données climatiques sur les prédictions régionales de rendement du maïs avec le modèle STICS (logiciel OptimiSTICS) 60
Etude méthodologique de l'impact des incertitudes liées à l'estimation spatialisée des paramètres sols du modèle Stics à partir de la Base de Données Géographique des Sols de France à 1/1 000 000..... 62
Perspectives d'amélioration du modèle STICS par couplage pour la spatialisation du fonctionnement des agrosystèmes en conditions hydriques limitantes 64
Perspectives de la télédétection dans la modélisation agro-hydrologique spatialisée : l'exemple de la pollution agricole dans le sud-ouest de la France 66
Expertise multicritère de la spatialisation de STICS à l'échelle macro-régionale : Application à la modélisation des flux d'eau et d'azote dans le bassin de la Seine..... 68
SESSION 5 - Posters 70
Modélisation avec STICS de l'impact de la gestion des résidus de culture sur l'évolution de la fertilité du sol et du potentiel de rendement d'une culture de blé 71
Cycle de l'azote en milieu tropical semi-aride sous culture intensive: le bassin versant de la Berambadi 73
Nitrogen cycle in a tropical semi-arid watershed under intensive agriculture: The Berambadi case 73
STICS ET LA PRODUCTION DE REFERENCES LOCALES : EXEMPLE DE LA MODELISATION DU DEVELOPPEMENT DU BLE DANS UNE REGION NATURELLE DE CHARENTE-MARITIME 75
SESSION 6 – Communications orales..... 78
Aptitudes de STICS calibré à estimer le rendement du riz en Camargue lorsqu'il est calibré sur des données en parcelles agricoles..... 79
Simulation avec le modèle STICS de 6 systèmes de culture à bas intrants incluant des légumineuses à graines et des cultures intermédiaires 82
Modélisation avec STICS des effets de non travail versus travail du sol en systèmes de culture sous des conditions pédoclimatiques contrastées..... 84
Simulation avec le modèle STICS des services écosystémiques de gestion de l'azote produits par des cultures intermédiaires bispécifiques 86
SESSION 6 - Posters 88
Intégration de données simulées par STICS dans un indicateur agro-environnemental de couverture du sol 89
Les pertes de C et N organique du sol sont réduites grâce à l'introduction de cultures intermédiaires dans les rotations avec légumineuses : simulations avec le modèle STICS 91
Paramétrage du modèle de culture STICS pour simuler la croissance des prairies de *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã en conditions du Cerrado brésilien 93
Utilisation de STICS pour l'analyse de services écosystémiques multiples en verger de pommiers 95
Quantification des niveaux de stress abiotiques avec le modèle de culture STICS : une première étape dans l'évaluation de la robustesse des systèmes agricoles..... 97

SESSION 1 – Communication orale

Matinée introductive

Animateur : Iñaki Garcia de Cortazar-Atauri

SYSTEME DE TEST ET D'EVALUATION EN ROUTINE DU MODELE STICS

AUTOMATIC TESTING AND EVALUATION SYSTEM FOR THE CROP MODEL STICS

Samuel Buis[1], Patrice Lecharpentier[1], Dominique Ripoche[2] et l'équipe projet STICS

[1] INRA, UMR 1114 EMMAH, 84914 Avignon, France; [2] INRA, US 1116 Agroclim, 84914 Avignon, France

Mots clés : tests, évaluation, non-régression, gestion de version
Keywords tests, evaluation, non-regression, version-control system

Introduction

Dans un processus de développement logiciel, les tests permettent d'identifier les différences entre les résultats attendus tels que définis par exemple dans ses spécifications et les résultats effectivement obtenus suite à son exécution. Cela peut concerner les fonctionnalités du logiciel ou ses performances. Il s'agit d'identifier un nombre maximum de comportements problématiques afin d'augmenter la qualité du logiciel. Tester un programme informatique même très simple est un processus complexe étant donné la multiplicité des instructions composant le programme et des chemins les associant. Les tests peuvent donc révéler la présence d'erreur mais jamais leur absence (Dijkstra, 1972). Mais c'est un processus critique car il est impossible de caractériser entièrement le comportement d'un logiciel : seuls les tests permettent d'avoir un certain niveau de confiance.

Infrastructure logicielle

La littérature sur le sujet préconise de suivre des principes pour la mise en place de tests logiciels parmi lesquels l'indépendance testeurs/développeurs, les tests au plus tôt et au plus près des causes d'erreur, la reproductibilité et la preuve des résultats, l'automatisation des tests, … (Homès 2011).

L'objectif de l'infrastructure logicielle mise en place dans le cadre du système de test et d'évaluation de STICS est d'automatiser le processus de test, de son exécution jusqu'à la diffusion et l'archivage des résultats, de réaliser les tests dès qu'une modification de code ou de paramétrage est réalisée, et d'assurer leur répétabilité. Il repose sur un outil d'intégration logicielle continue (Jenkins) en lien avec un système de gestion de version (SubVersioN), cf. figure 1.

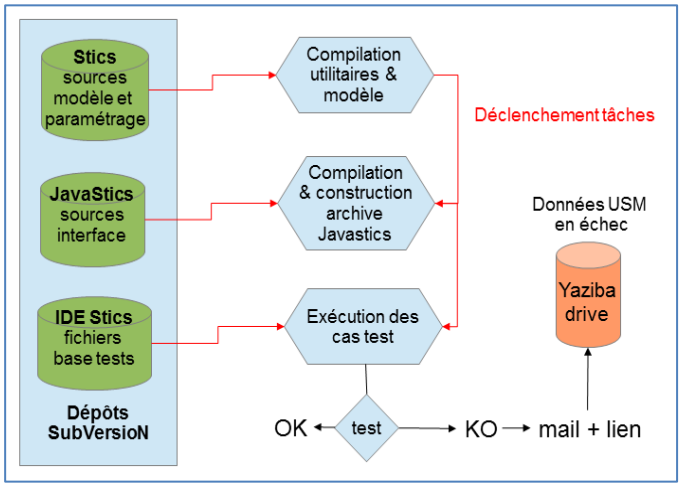


Figure 1. Schéma de fonctionnement du système de test et d'évaluation de STICS

Le système de gestion de version de STICS contient plusieurs dépôts : (i) le code source de STICS, son paramétrage et les utilitaires associés, (ii) le code source de JavaSTICS et (iii) la banque de fichiers de cas tests IDE-STICS.

Des séquences de tâches sont déclenchées de façon évènementielle (changement de l'état d'un dépôt, exécution d'une autre séquence de tâches, …) dans l'outil d'intégration logicielle. Cela permet de réaliser automatiquement les processus de test lors d'une mise à jour du code source du modèle ou de son

paramétrage. En cas de faillite d'un test, un email est envoyé au responsable de la branche de développement testée qui peut récupérer les informations associées sur un répertoire partagé.

Types de tests

L'objectif d'un plan de tests est de minimiser le nombre de cas tests tout en maximisant la probabilité de détection de défaillances. Le plan de tests doit ainsi assurer une bonne couverture de code et de données, i.e. explorer le plus possible les fonctionnalités, conditions d'applications du modèle et chemins dans les lignes de code. Nous avons pour cela basé la suite de tests de STICS sur la banque de données IDE-STICS qui contient plusieurs milliers d'unités de simulation avec une forte variabilité des climats, des sols et des systèmes de culture (Coucheney et al 2015).

Les premiers tests automatiques mis en place avec STICS consistent à vérifier que les USMs de la banque de données IDE-STICS ne provoquent pas d'arrêt non contrôlé du modèle. Des tests multi-critères permettant d'évaluer la précision et la robustesse des performances du modèle sur ces USMs par comparaison à des observations sont en construction sur la base des travaux de Coucheney et al 2015. Il est prévu de compléter ces tests du système global par des tests spécifiques des processus simulés qui peuvent s'apparenter à des tests fonctionnels et s'appuyer sur des situations virtuelles.

Conclusion / Perspectives

Avec l'accroissement du nombre d'utilisateur du modèle STICS et son utilisation dans des projets internationaux stratégiques, la mise en place d'un banc de tests automatisé est un outil précieux pour améliorer continuellement la qualité de son développement. La problématique du test de modèle est complexe car les sources d'erreurs peuvent se situer à différents niveaux : développement informatique, équations, paramétrisation, ... La mise en place de tests unitaires de modules indépendants constituant le modèle serait ainsi souhaitable en complément de ceux actuellement mis en place afin de mieux discerner ces problèmes potentiels. D'autre part, l'évaluation d'un modèle et de sa non-régression peut impliquer des compromis et une subjectivité difficilement compatible avec un processus de test logiciel standard automatisé basé sur des critères binaires (Clune and Rood 2011). Les résultats des tests devront donc être analysés régulièrement par un groupe d'experts et la construction du processus de test sera un processus itératif.

Références bibliographiques

Clune, T. L., & Rood, R. B. (2011). Software testing and verification in climate model development. Software, IEEE, 28(6), 49-55.

Coucheney, E., Buis, S., Launay, M., Constantin, J., Mary, B., Garcia de Cortazar-Atauri, I., Ripoche, D., Beaudoin, N., Ruget, F., Andrianorisoa, S., Le Bas, C., Justes, E., Léonard, J. (2014). Accuracy, robustness and behavior of the STICS v8.2.2 soil-crop model for plant, water and nitrogen outputs: evaluation over a wide range of agro-environmental conditions in France. Environmental Modelling & Software, 64, 177-190.

Dijkstra, E. W. (1972). The humble programmer. Communications of the ACM, 15(10), 859-866.

Homès, B. (2011). Les tests logiciels fondamentaux. Lavoisier.

SESSION 1 - Posters

Matinée introductive

Animateur : Iñaki Garcia de Cortazar-Atauri

REFACTORING DU CODE DE STICS

REFACTORING OF THE STICS MODEL

Jean-Claude Poupa[1], Patrice Lecharpentier[2], Dominique Ripoche[3] et l'équipe projet STICS

[1] INRA, Unité SMART, 35042 Rennes, France ; [2] INRA, UMR 1114 EMMAH, 84914 Avignon, France ; [3] INRA, US 1116 Agroclim, 84914 Avignon, France

Mots clés : restructuration, modularisation, contrôle

Keywords: refactoring, modularization, control

Introduction

Actuellement la conception et l'utilisation des modèles sont orientées vers la modularité, afin de favoriser la réutilisation des composants, leur maintenance et leur généricité en vue de les rendre interchangeables.

C'est le choix qui a été fait pour l'évolution du modèle Stics afin d'élargir les possibilités d'interaction, de couplage avec d'autres modèles/modules dans le cadre d'une plateforme de modélisation ou non (Librairie Stics). Cela a également un intérêt pour l'amélioration de l'interaction avec son interface graphique JavaStics.

La version du modèle actuellement diffusée résulte d'une première phase de modularisation, mais qui a été incomplète fonctionnellement et techniquement (passage a Fortran 90) pour permettre la réutilisation de modules fonctionnels indépendants.

L'équipe s'est engagée dans une réflexion sur la nécessité de passer par une deuxième phase de modularisation au niveau scientifique et au niveau technique, mais également d'améliorer le contrôle du comportement du modèle.

L'amorce de cette phase s'est faite par un premier travail de nettoyage et restructuration du code, ou refactoring démarré par Jean-Claude Poupa au printemps 2014.

Objectifs

Les objectifs de ce travail sont :

Faciliter la maintenance évolutive et corrective du modèle (clarification, lisibilité)

Homogénéiser la syntaxe de codage (nommage, déclarations, modules, commentaires,...)

Assurer la cohérence et la stabilité du traitement des éléments de même nature à travers de nouvelles fonctionnalités liées aux modules (fichiers, listes de paramètres et de variables, messages,...)

Intégrer la gestion de l'internationalisation : gestion des noms de variables et paramètres dans d'autres langues que le français (impact sur JavaStics également)

Améliorer le contrôle des acquisitions des entrées (fichiers, paramétrage,...) et la gestion des sorties

Mettre en place des mécanismes de gestion des erreurs/alertes et de et déclenchement d'arrêts contrôlés du modèle

Améliorer la traçabilité des exécutions et du contenu des messages utilisateur (en lien avec gestion erreurs / alertes)

Faciliter la réalisation de tests unitaires/pseudo-unitaires et fonctionnels (validation du code)

Améliorer la « portabilité » du modèle (SE Windows et linux)

Comment ?

Les différentes actions pour le refactoring portent sur:

Le nettoyage du code : suppression code mort, renommage, purge des commentaires

La restructuration : relocalisation de procédures (fonctions/routines) , modifications de phases d'appel de fonctions,…

L'ajout et les modifications de fonctionnalités : ajout d'assertions, contrôles (fichiers, formatage des données,...)

Elles se traduisent par:

La mise en œuvre de solutions techniques dans les modules et fonctionnalités associées

La conception d'un système d'information sur les paramètres et variables du modèle

La mise en place d'un système d'information sur la gravité des erreurs détectées

La conception d'un système de contrôle de l'exécution du modèle (conditions d'arrêt)

La mise en place de tests automatisés associés aux modules/fonctions (structurels, fonctionnels)

Conclusion et perspectives

Actuellement, le travail en cours porte sur la mise en place de modules d'infrastructure, la réorganisation des acquisitions (gestion des entrées), la gestion des contrôles/messages et de l'arrêt du modèle (hors boucle temporelle). Les modules produits et /ou modifiés sont en cours de test.

Par la suite, ce travail de refactoring sera poursuivie au sein de la boucle journalière de Stics, dans la partie calcul du modèle, en lien avec les chantiers de modularisation « métier » et technique engagés au sein de l'équipe Stics.

Par ailleurs, le confort d'utilisation de l'interface JavaStics sera amélioré, grâce à une meilleure interaction avec le modèle pour la gestion des entrées sorties, des exécutions (erreurs, messages,...)...

L'intégration et l'utilisation de Stics dans la plateforme Record sera aussi améliorée; ceci à terme via les modules de Stics.

Le lien avec d'autres langages sera facilité à travers la définition des modules et de leurs interfaces.

MISE EN ŒUVRE DE SIMULATIONS GRANDE ECHELLE DE STICS SUR LA PLATE-FORME RECORD. APPLICATION AUX PROJETS AGMIP (PILOTE C3MP) ET MACSUR (SCALING PILOT)

IMPLEMENTATION OF LARGE-SCALE SIMULATIONS OF STICS ON THE RECORD PLATFORM. APPLICATION TO AGMIP (C3MP DRIVER) AND MACSUR (SCALING PILOT) PROJECTS

J-E.Bergez[1], E.Casellas[2], J.Constantin[1], H.Raynal[2]

[1]INRA, UMR1248 AGIR, F-31326 Castanet-Tolosan, France ; [2]INRA, UR0875 MIAT, F-31326 Castanet-Tolosan, France

Mots clés : Plan d'expérience ; Ensemble de modèles ; Analyse de sensibilité ; Changement d'échelle
Keywords : Experimental plan ; Ensemble modelling ; Sensitivity analysis; Scaling

Introduction
Aujourd'hui, de nombreux phénomènes scientifiques sont étudiés à l'aide de modèles. Cet essor de la simulation informatique s'explique par des contraintes de mise en œuvre opérationnelle en général moins élevées que l'expérimentation physique et par l'augmentation des performances des ordinateurs. L'agronomie n'échappe pas à cette tendance. L'utilisation de modèles de culture a augmenté et des outils informatiques facilitant leur utilisation ont été développés. C'est le cas de STICS. Sa version encapsulée au sein de RECORD lui permet de bénéficier des fonctionnalités de la plate-forme, et en particulier celles concernant la simulation « grande échelle » (J-E. Bergez et al. 2014). Nous décrivons la mise en œuvre de « gros » plans d'expérience appliqués au modèle STICS/RECORD dans les projets: AgMIP-C3MP (http://www.agmip.org/c3mp/) et MACSUR-Scaling-Pilot (http://www.macsur.eu/). Les résultats scientifiques sont en cours de publication par ailleurs.

Matériel et méthode
C3MP (Coordinated Climate Crop Modeling Project) est une activité de AgMIP (Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project) qui s'inscrit dans le contexte de l'étude de l'impact du changement climatique sur l'agriculture. Les participants réalisent des simulations avec le modèle qu'ils utilisent habituellement, calibré sur leur propre site, selon le plan d'expérience spécifié par le protocole du projet, plan destiné à faire l'analyse de sensibilité des modèles de culture au changement climatique. Nous avons utilisé STICS calibré pour un maïs à Auzeville-Tolosane (31). Le plan d'expérience à simuler était constitué de la série climatique observée sur la situation d'étude (Auzeville-Tolosane) de 1980 à 2010 et de quatre-vingt-dix-neuf autres séries. Ces dernières ont été créées en appliquant à la série observée, les coefficients obtenus par un échantillonnage basé sur un hypercube latin où l'on considère 3 métriques avec différentes plages de variation: température (-1 à +8°C), précipitation (-50 à +50%), concentration en CO2 (330 à 900 ppm). 3000 simulations de STICS ont ainsi été réalisées. Nous avons mis en œuvre ce protocole en utilisant RECORD et le logiciel R, suivant trois étapes : i) création du plan d'expérience (création des cent séries climatiques à l'aide d'une fonction générique R pour automatiser ce travail), ii) lancement depuis R des simulations du modèle STICS couplé à un module de lecture de séries climatiques (on utilise la fonctionnalité rvle de la plate-forme qui permet le lien dynamique entre R et RECORD (J-E. Bergez et al. 2013)), iii) post traitement des données de simulation avec R pour produire le fichier de résultats au format AgMIP-C3MP. Le deuxième projet (en cours) est réalisé dans le cadre de MACSUR et concerne l'étude de l'impact du changement d'échelle sur les modèles de culture. Les participants contribuent en simulant les plans d'expérience spécifiés par le protocole, avec le modèle de culture qu'ils utilisent habituellement. Il n'y a pas d'étape préalable de calibration. On observe le rendement, la teneur en carbone du sol et l'azote lixivié. La zone géographique est la région allemande « North Rhine Westphalia » qui est découpée en une grille régulière dont on fait varier la dimension de la maille. Nous illustrons ici la démarche sur un des plans d'expérience à simuler. Il concerne la production de maïs ensilage en conditions limitantes pour l'eau et l'azote. L'effet du changement d'échelle a été testé en faisant varier la dimension de la maille de la grille : 1x1km2, 10x10km2, 25x25km2, 50x50km2, 100x100km2. Sur chaque maille, le climat et le sol sont

homogènes. En résolution 1x1km2, cela représente 34168 mailles et donc autant d'unités à simuler sur 30 années. Au final, la combinatoire des différentes échelles pour le sol et le climat a requis 6 millions de simulation STICS. D'un point de vue technique, le plan d'expérience a été construit en utilisant R comme pour AgMIP-C3MP. Il a ensuite été simulé sur cluster en utilisant la parallélisation.

Résultats

Nous avons conçu et réalisé un workflow pour faciliter la mise en œuvre informatique du plan d'expérience en utilisant les fonctionnalités RECORD: « rvle » (lien avec R) et « mvle » (plan d'expérience). Les temps de simulation ont été réduits en parallélisant les simulations sur le cluster (1 jour contre 10 en moyenne). Nous avons vérifié que l'encapsulation de STICS au sein de la plate-forme n'augmentait pas trop la simulation du modèle (en moyenne sur un PC standard : hors RECORD =180ms, encapsulé dans RECORD =210ms). L'exploitation des résultats se fait à 2 niveaux : i) par modèle de culture (Figures 1 et 2), et ii) dans le cadre « ensemble modelling » du projet (publications soumises).

Figure 1 : Impact de la variation (en %) des précipitations (en abscisse) et de la concentration (en ppm) de CO2 de l'atmosphère (en ordonnée) sur le rendement.

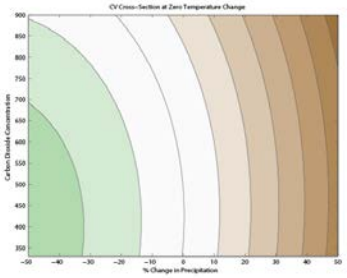
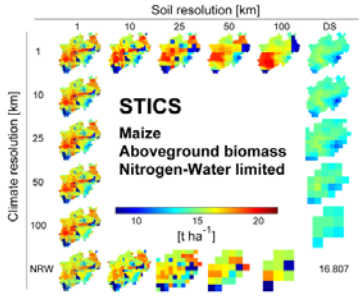


Figure 2 : Biomasse aérienne (les valeurs sont fictives car les résultats sont en cours de publication) pour différentes résolution de sol et de climat (de 1km à 100km, DS (sol moyen), NRW (climat moyen).



Perspectives

La problématique de la mise en œuvre informatique de « gros » plans d'expérience est relativement maîtrisée, mais on est maintenant confronté au traitement de volumes importants de données simulées. Des outils facilitant le travail de validation et d'utilisation de ces données restent à concevoir et à développer. Par ailleurs, l'intérêt des approches « ensemble modelling » (P.Martre et al. 2014) suppose la mise à disposition autour des modèles, d'outils informatiques appropriés pour contribuer efficacement à ce type de projet.

Références bibliographiques

J.-E. Bergez, P. Chabrier, C. Gary, M.H. Jeuffroy, D. Makowski, G. Quesnel, E. Ramat, H. Raynal, N. Rousse, D. Wallach, P. Debaeke, P. Durand, M. Duru, J. Dury, P. Faverdin, C. Gascuel-Odoux, F. Garcia, An open platform to build, evaluate and simulate integrated models of farming and agro-ecosystems, Environmental Modelling & Software, Volume 39, January 2013, Pages 39-49, ISSN 1364-8152, 10.1016/j.envsoft.2012.03.011.

J.E. Bergez, H. Raynal, M. Launay, N. Beaudoin, E. Casellas, J. Caubel, P. Chabrier, E. Coucheney, J. Dury, I. Garcia de Cortazar-Atauri, E. Justes, B. Mary, D. Ripoche, F.Ruget: Evolution of the STICS crop model to tackle new environmental issues: New formalisms and integration in the modelling and simulation platform RECORD, Environmental Modelling & Software, volume 62, December 2014, Pages 370–384.

P.Martre, D.Wallach, S. Asseng, F. Ewert, JW Jones, R. Rotter, A.Ruane, P. Thorburn, D. Cammarano: Multimodel ensembles of wheat growth: many models are better than one, Global Change Biology (Impact Factor: 8.22). 01/2014;

SESSION 2 – Communications orales

Projets internationaux mobilisant STICS

Animateur : Eric JUSTES

STICS ET EXERCICES INTERNATIONAUX D'INTER-COMPARAISON DE MODELES DE CULTURE

Simona Bassu[1], Nicolas Beaudoin[2], Nadine Brisson†, Patrick Bertuzzi[2], Julie Constantin[4], Julien Cufi[3], Jean Louis Durand[5], Cecilia Armas-Herrera[2], Hélène Raynal[6], Dominique Ripoche[3], Françoise Ruget[7], Giacomo de Sanctis[3], Samuel Buis[7].

[1]INRA, UMR Agronomie, Thiverval-Grignon ; [2]INRA, UR AgroImpact, Laon ; [3]INRA, US1116 AgroClim, Avignon; [4]INRA, UMR AGIR Toulouse; [5]INRA, UR P3F, Lusignan; [6]INRA, UR BIA, Toulouse; [7]INRA, UMR EMMAH, Avignon.

Le 5ième rapport du GIEC est un signal d'alarme sur la gravité grandissante des impacts du changement climatique. De plus, malgré ce contexte de dérèglement climatique, l'augmentation de la production, notamment céréalière, s'avérerait nécessaire d'ici 2050 pour nourrir la population mondiale.

Face à ces enjeux, les deux défis majeurs, pour lesquels la communauté internationale agronomique doit apporter des réponses, sont donc de (1) comprendre comment et par quels mécanismes le changement climatique affecteront les rendements des cultures et de (2) proposer les mesures nécessaires d'adaptation dans ce contexte.

Pour apporter des réponses à ces défis, l'utilisation des modèles de culture constitue un outil stratégique. La finalité principale d'un modèle de culture est d'estimer le rendement sous contrainte de variables descriptives d'entrée concernant le sol, les pratiques culturales et aussi le climat qui, dans la cas précis, est basé des projections climatiques futures. Ainsi, au même titre que l'exercice entrepris par les climatologues depuis de nombreuses années pour les modèles globaux de climat, les agronomes modélisateurs rassemblent depuis 3 ans leurs compétences autour des modèles de culture pour améliorer leur efficience et leurs performances dans des exercices communs d'inter-comparaison.

Les exercices d'inter-comparaison des modèles de culture

Les équipes INRA participe à deux études internationales conduites :

à l'échelle mondiale, dans le cadre de l'initiative internationale AgMIP (http://www.agmip.org/),
à l'échelle européenne, dans le cadre du programme commun JPI-MACSUR et de l'initiative CropM (http://www.macsur.eu/index.php/crop-modelling).

Ces 2 études réalisent la plus importante comparaison des performances de modèles de culture, à ce jour. Les équipes INRA participent à ces études, dans le cadre du métaprogramme ACCAF, en apportant principalement la contribution du modèle INRA STICS. L'exercice permet sa confrontation avec plusieurs dizaines de modèles de culture comme APSIM, DSSAT, CROPSYST, CERES , EPIC, WOFOST, etc., .

Les deux initiatives ont pour objectif commun l'évaluation des modèles à l'échelle de la parcelle agricole.

Dans le cadre de l'initiative AgMIP

Les travaux conduits se limitent à une analyse des résultats produits par les modèles à l'échelle annuelle du cycle cultural Les chercheurs ont testé les performances des modèles simulant trois cultures principales (blé, maïs et riz).

Dans le cadre de l'initiative AgMIP, pour les trois cultures, le protocole de simulation utilisé est composé de deux principales phases :

La phase 1, de validation, a pour but de comparer les performances des modèles avec des données expérimentales issues de sites représentatifs dans le monde, couvrant une large gamme de conditions de culture et avant et après une phase de calage des modèles (cf. Figure 1A).

La phase 2, de simulation, est une analyse de sensibilité des modèles à la température et à la concentration du CO_2 sur une série de 30 années (1980-2009) de données climatiques dans laquelle on impose des modifications aux valeurs journalières du climat (exemple : Température – 3, +0, +3, +6 ou +9°C avec gamme de une concentration en CO_2 de 360 – 540 – 720 ppm).

Les deux résultats majeurs de ces travaux concernent (Asseng et al, 2013, Asseng et al, 2014, Bassu et al, 2014, Martre et al, 2014, Tao et al, 2014) :

La possibilité de simuler des résultats expérimentaux, avec un minimum de données initiales et sans phase de calage des modèles, dès lors que plusieurs modèles sont sollicités ensemble « *ensemble modelling » (cf.* Figure 1B). La prévision de rendement du multi-modèle (médiane des prédictions individuelles des modèles) réduit significativement l'erreur de prédiction l'erreur comparée aux prédictions individuelles des modèles. (cf. Figure 2B)
La proportion la plus grande de l'incertitude dans les projections simulées de l'impact de changement climatique est dépendante des différences des formalismes pour décrire les effets de la température et du gaz carbonique et des valeurs associées de paramètres dans les modèles (cf. Figure 1C).

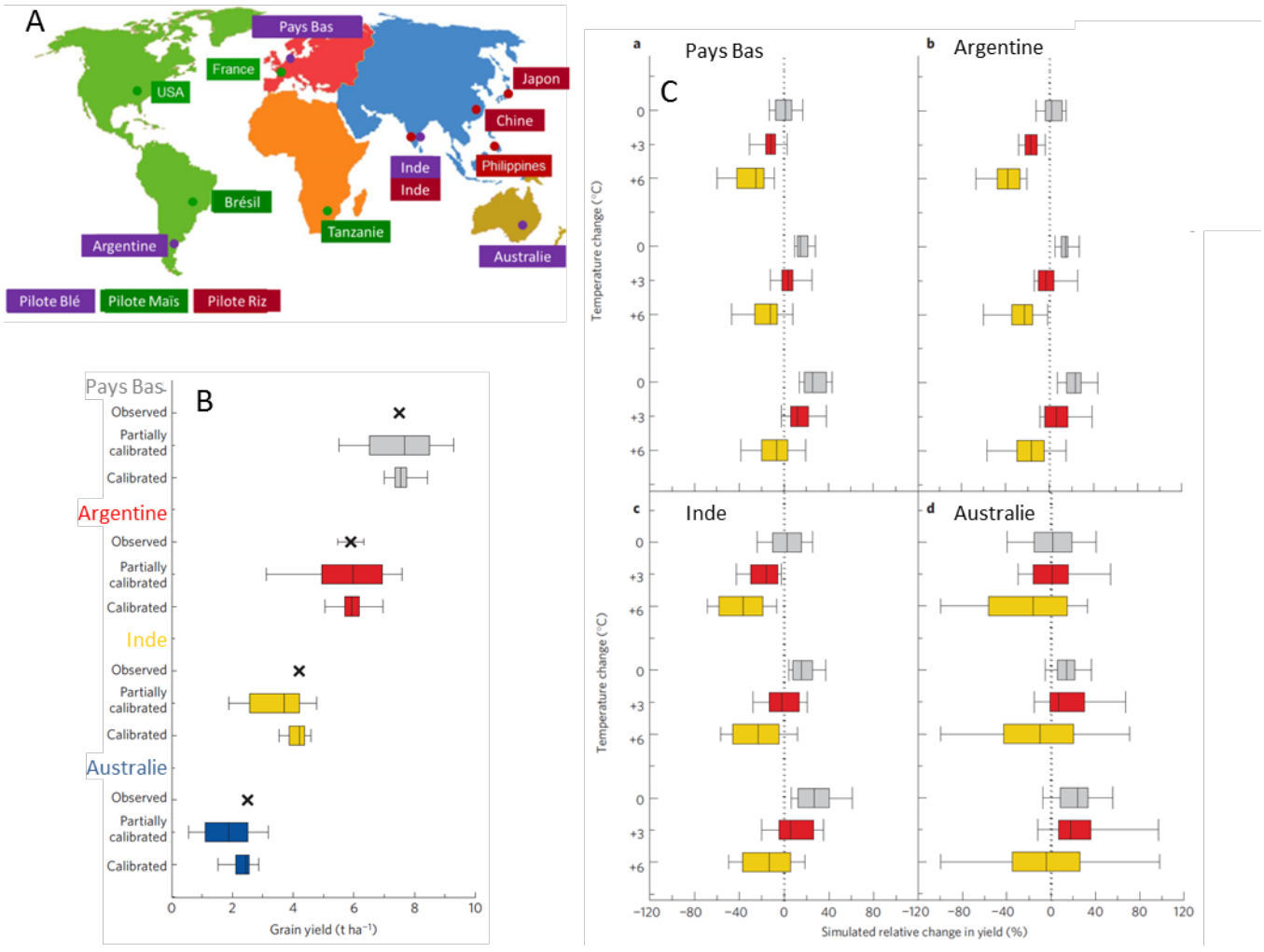


Figure 1 : Quelques résultats du pilote « Blé » de l'initiative AgMIP. Les données sont issues de l'article Asseng et al. (2013). Des résultats comparables sont obtenus pour les pilotes « maïs » et « riz ».

Les travaux d'inter-comparaison se poursuivent autour de l'exploitation des données acquises sur des expérimentations factorielles déjà publiées dans le monde et permettant d'approfondir principalement les effets simples et combinés de la température et du gaz. La base simulée de données de l'exercice d'inter-

comparaison sur le blé fait l'objet d'une publication en cours pour la revue Open Data Journal for Agricultural Research (Asseng et al, 2015, en cours de publication). Une méta-analyse des données simulées a aussi été réalisée (Makowski et al, 2015, en cours de publication).

Dans le cadre de MACSUR, l'initiative CropM

L'initiative CropM comprend deux dimensions supplémentaires d'évaluation des modèles en incluant (1) une gamme plus large de cultures testées et (2) une dimension pluriannuelle de modélisation des rotations. Cinq rotations pluriannuelles (de 6 à 11 années) ont été simulées sur la base d'observations expérimentales réalisées sur des dispositifs en Allemagne, Autriche, Danemark et France (cf. Figure 2A).

Quatorze modèles ont été inter comparés dans cet exercice. Les objectifs sont (1) d'évaluer les performances des modèles pour simuler des rotations complexes avec un minimum de calibration, (2) de vérifier la capacité des modèles à simuler un panel large de cultures et de pratiques culturales associées et (3) vérifier les performances de simulations continues d'une rotation par rapport à des résultats comparables sur des simulations uniques d'un cycle de culture. Dans une approche similaire *« ensemble modelling* , il a été montré que la simulation continue de rotations des cultures sur plusieurs années conduit à une estimation comparable voire légèrement améliorée des rendements des cultures comparativement aux simulations des rendements sur chaque année de culture (cf. Figure 2B). Une publication est en cours de rédaction pour la revue European Journal of Agronomy vient d'être déposée (Kollas et al, 2015). Elle inclut aussi l'analyse de l'impact de l'effet de l'augmentation du CO_2 et de modifications de pratiques en matière de fertilisation et d'irrigation.

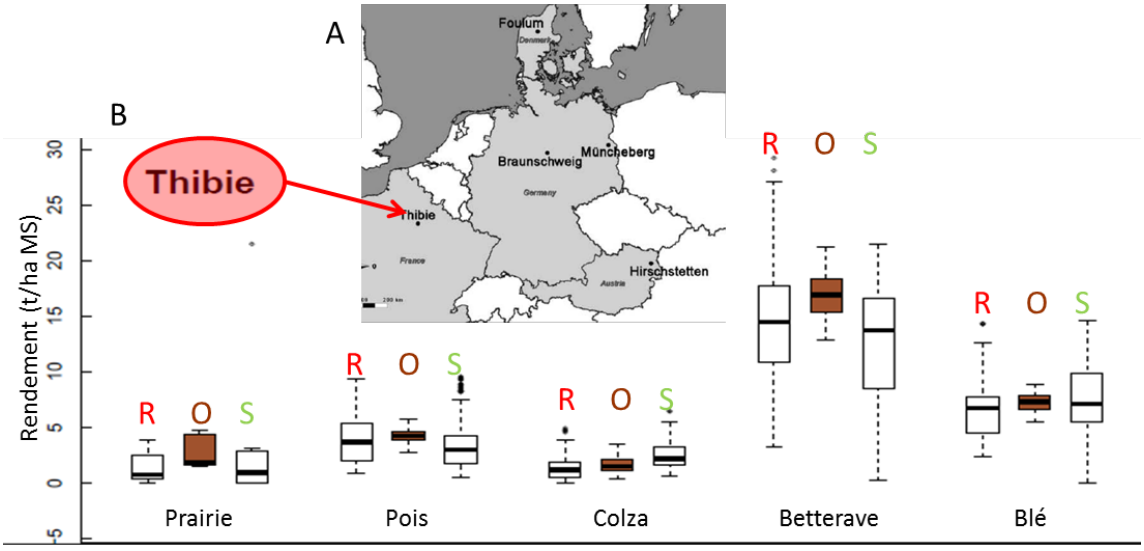


Figure 2 : Comparaison de données observées de rendement (O) avec les données calculées de rendement pour15 modèles et selon deux options de calcul (1) R calage et validation du modèle sur la totalité de la rotation, (2) S calage et validation du modèle sur chaque culture de la rotation sur le site français de Thibie. Des résultats comparables ont été obtenus sur les autres sites. Les données sont issues de l'article Kollas et al. (2015).

Les équipes INRA ont contribué aussi à un protocole d'étude de l'impact du changement de température et précipitation sur les modèles de cultures (exercice comparable à la phase 2 de l'initiative AgMIP décrite ci-dessus) . Le protocole concerne la culture du blé de printemps et utilise des données expérimentales de 3 sites (Finlande, Allemagne et Espagne). Un papier a été soumis fin janvier 2015à la revue Climate Research.

D'autres initiatives en cours

Les équipes INRA travaille aussi les conséquences de l'effet du changement d'échelle des données d'entrées des modèles sur l'estimation de rendements régionaux. L'exercice est réalisé dans le cadre de

l'initiative AgMIP. Il utilise un jeu allemand de données provenant du Land Rhin-Westphalie du Nord sur la période 1995-2008. Un premier travail a étudié l'impact de la désagrégation des données climatiques. Un second travail porte sur la désagrégation des données du sol.

STICS est un des modèles intégrés dans la plateforme informatique créée dans le cadre de l'initiative AgMIP. Elle vise principalement à (1) faciliter et sécuriser l'accès aux données partagées, des modèles et les résultats des chercheurs et (2) à faciliter l'utilisation de données par les modèles de la plateforme et l'échange de résultats produits entre les modèles (Porter et al, 2014)

Enfin, les équipes INRA, dans le cadre de l'initiative AgMIP, ont contribué au projet C3MP (*The Coordinated Climate-Crop Modeling Project, http://www.agmip.org/c3mp/*). Il s'agit d'un exercice partagé de modélisation distribuée multi-espèce à l'échelle de la planète entière. Chaque participant apporte son ou ses modèles et les simulations qu'il a réalisées selon un protocole prédéfini à l'échelle d'une parcelle agricole.

Conclusion

L'engagement des équipes INRA a apporté à l'organisme une visibilité et une reconnaissance sur le plan international de la communauté des agronomes modélisateurs et fournit les moyens d'une confrontation objective du modèle STICS avec d'autres modèles de culture à la fois sur le plan de l'utilisation du modèle dans des conditions très contrastées mais aussi sur la vérification de la pertinence ou de la robustesse de certains formalismes. Il faut aussi souligner la forte dynamique de publication qui accompagne ces collaborations internationales dans des revues à fort indice d'impact. Enfin d'autres chantiers s'ouvrent. Ainsi, dans le cadre de l'initiative AgMIP, exercices d'inter-comparaison (1) de la réponse aux maladies et (2) de l'estimation des flux d'eau, sont en cours de montage.

Dans le cadre de l'initiative MACSUR 2, les équipes INRA poursuivront leurs travaux d'inter-comparaison de modèles à l'échelle de la rotation. MACSUR 2 vise aussi à introduire plusieurs nouvelles composantes analytiques comme : (1) effets à long terme de gestion carbone/azote, (2) inter-comparaison de nouveaux modèles spécifiques (vigne, miscanthus).

Bibliographie

Asseng S et al. Uncertainty in simulating wheat yields under climate change. Nature Climate Change (2013), doi:10.1038/nclimate1916

Asseng S et al. Rising temperatures reduce global wheat production Nature Climate Change (2014), doi:101038/nclimate2470

Asseng S et al. Benchmark data set for wheat growth models: field experiments and AgMIP multi-model simulations. Open Data Journal for Agricultural Research (2015), in press

Bassu S et al. How do various maize crop models vary in their responses to climate change factors? Global Change Biology (2014), doi: 101111/gcb12520

Kollas C et al. Improvement of yield predictions by continuous simulation of crop rotations – a multi-model ensemble approach crop rotation modelling – a European model intercomparison. Soumis à la revue European Journal of Agronomy (2015)

Li et al. Uncertainties in predicting rice yield by current crop models under a wide range of climatic conditions Global Change Biology (2014), doi: 101111/gcb12758

Martre P et al. Multimodel ensembles of wheat growth: many models are better than one Global Change Global Change Biology (2014), doi: 101111/gcb12768

Makowski et al. A statistical analysis of ensembles of crop model responses to climate change factors En cours de publication pour la revue Agricultural Forest Meteorology (2015)

Pirttioja N et al. A crop model ensemble analysis of temperature and precipitation effects on wheat yield across a European transect using impact response surfaces. Soumis à la revue Climate Research (2015)

Porter et al. Harmonization and translation of crop modeling data to ensure interoperability (2014), Environmental Modelling & Software, doi:101016/jenvsoft201409004

ADAPTATION DE L'AGRICULTURE IRRIGUEE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE (AICHA) : UNE MODELISATION TRANS-DISCIPLINAIRE D'UN BASSIN-VERSANT EN INDE DU SUD

ADAPTATION OF IRRIGATED AGRICULTURE TO CLIMATE CHANGE (AICHA) : TRANS-DISCIPLINARY MODELLING OF A WATERSHED IN SOUTH INDIA

Laurent RUIZ [1,2,3], Muddhu SEKHAR[3,4], Alban THOMAS [5], Shrinivas BADIGER[6], S. BUVANESHWARI[3], K. SREELASH[3,8] J-E. BERGEZ[7], Samuel BUIS[8], Delphine LEENHARDT[7], Samuel CORGNE [9], Jean RIOTTE [3,10], Helène RAYNAL[11], S. BANDHYOPADHYA[12] et Patrick DURAND [1,2]

[1] INRA, UMR SAS, Rennes, France ; [2]Agrocampus Ouest, UMR SAS, Rennes, France ; [3]Indo-French Cell for Water Sciences, IRD-Indian Institute of Science, Bangalore, India ; [4]Indian Institute of Science, Department of Civil Engineering, Bangalore, India ; [5]INRA, LERNA, Toulouse School of Economics, Toulouse, France ; [6]ATREE, Ashoka Trust for Research in Ecology and the Environment, Bangalore, India ; [7]INRA, UMR AGIR, Toulouse, France [8]INRA, UMR EMMAH, Avignon, France ; [9]LETG, COSTEL, Univ. Rennes 2, Rennes, France [10]IRD, GET, Toulouse, France ; [11]INRA, UMIAT, Toulouse, France ; [12]ISRO, Head quarters, Bangalore, India
Contact : ruiz@rennes.inra.fr

Mots clés : ressource en eau, durabilité, STICS, Record, Ambhas, économie, décision,
Keywords : water resource, sustainability, STICS, Record, Ambhas, economy, decision

Introduction

Dans le contexte du changement climatique et d'une agriculture dépendant de plus en plus de l'irrigation à partir d'eaux souterraines, il est crucial de développer des méthodes fiables pour l'évaluation de la durabilité des systèmes agricoles actuels et alternatifs. La prise en compte dans la gestion de la ressource en eau des interactions et des rétroactions entre les processus biophysiques déterminant le mouvement de l'eau et le comportement humain, dans un contexte socio-économique donné, est une nécessité maintenant reconnue par la communauté scientifique, comme en témoigne la recommandation récente pour le développement d'une nouvelle science, la « socio-hydrologie », pour étudier la « co-évolution des systèmes couplés eau-homme » (Sivapalan et al., 2011). Récemment, l'AIHS a proposé les « changements dans l'hydrologie et la société » comme thème principal de recherches pour la décennie 2013-2022 (Montanari et al, 2013). Une grande variété de modèles a été développée pour simuler de futurs scénarios de changement d'utilisation du territoire, changement de climat ou évaluation ex-ante des politiques de gestion. Ces modèles ne prennent généralement pas en compte les rétroactions de la raréfaction des ressources en eau sur les stratégies des agriculteurs, et tendent à négliger les interactions biophysiques et socio-économiques se produisant dans l'espace et le temps dans les bassins versants (Barthel et al, 2012). Nous présentons ici le projet Indo-Français « AICHA » du CEFIPRA (Adaptation de l'agriculture irriguée au changement climatique, 2013-2016) basé sur un observatoire environnemental à long terme installé en Inde du sud. Nous décrivons l'approche transdisciplinaire qui est développée pour analyser les facteurs agro-hydrologiques et socio-économiques de la durabilité des ressources en eau souterraine et de l'adaptation des agriculteurs, en utilisant un modèle intégré.

Site d'étude et problématique

Le bassin versant de Berambadi (84 km²) appartient au bassin de la South Gundal, 816 km², lui même inclus dans celui la Kabini (7000 km², SO Karnataka). Le climat régional est dominé par un régime de mousson responsable d'un gradient fort de précipitation, avec des oscillations décennales et une forte variabilité

inter-annuelle produisant des sécheresses récurrentes (Sekhar et al., 2011). Le site a été équipé comme observatoire de recherches depuis 2002 par la cellule Indo-Française de recherches en Science de l'eau (LMI IFCWS - IISc/IRD) à Bangalore. Il est identifié comme observatoire recherches environnementales (ORE) (http://bvet.omp.obs-mip.fr). Des enquêtes socio-économiques ont été effectués dans le cadre du projet d'AICHA (plus de détails sur http://ambhas.com/). Les niveaux de nappe présentent une allure non classique en hydrogéologie, avec les parties basses du relief ayant des niveaux plus profonds que les zones topographiquement plus élevées.

Cela résulte du pompage intensif des eaux souterraines dans les villages de la vallée, qui a commencé au début des années 90. Le déclin des niveaux de nappe a provoqué la déconnection entre les eaux souterraines et le lit de fleuve, et les cours d'eau principaux sont devenus intermittents. Des puits ont été récemment forés dans les secteurs amont et l'irrigation augmente. Notre analyse suggère que ces évolutions contrastées sont étroitement liées à la distribution spatiale des types de sol et à la disponibilité des eaux souterraines, mais aussi à l'accès au marché et à l'éducation des populations.

Modelisation Transdisciplinaire

La structure de modélisation combine des modules hydrologique, agronomique (STICS), économique et un module de décision des exploitants, simulant leurs choix stratégiques à différentes échelles de temps au moyen de règles de décision, qui permettent la représentation de l'adaptation des agriculteurs à un environnement en cours d'évolution. Il est développé sur la plateforme RECORD (Bergez et al, 2013, 2014). Les hypothèses sont que:

- le système est régi par les interactions et les rétroactions entre la croissance des plantes, la disponibilité de ressource d'eau et les composants socio-économiques ;
- Le système est gouverné par les variations spatiales de tous ses composants et les interactions et les rétroactions spatiales jouent un rôle important, particulièrement du fait que l'aquifère en milieu cristallin présente de faibles capacités d'emmagasinement et des mécanismes spatiaux complexes de recharge.

Un des défis lié à l'emploi de tels modèles pour tester des scénarios spatiaux est le besoin de connaissance précise, par exemple pour les paramètres de sol et de plante (Launay et Guérif, 2005) qui ne sont que peu disponibles en conditions tropicales. Cela a stimulé l'élaboration de méthodologies innovantes, comme par exemple une méthode d'évaluation des paramètres de sol utilisant la télédétection et l'inversion du modèle de culture STICS (Sreelash et al., 2012 ; 2013).

Références bibliographiques

Barthel, R., et al., (2012) *Water Resource Management* 26:1929–1951

Bergez, J.-E., et al., (2013) *Environmental Modelling & Software*, 39, 39-49.

Bergez, J. E., et al., (2014) Environmental Modelling & Software, 62, 370-384.

Launay, M. and Guérif, M., (2005). *Agriculture, Ecosystems and Environment,* 111, 321–339

Montanari, A., et al., (2013) *Hydrological Sciences Journal*, 58(6), 1256-1275.

Sekhar, M., *et al.*, (2011) In: Findkakis, A.N., Sato, K. (Eds.), Groundwater Management Practices: IAHR Monograph.

Sreelash, K., et al., (2012) *Journal of Hydrology* 456-457, 57-67.

Sreelash, K., et al., (2013). *Journal of the Indian Institute of Science* 93(2), 189-207.

Sivapalan, M., et al., (2012) *Hydrological Processes*, 26, 1270–1276.

AICHA : UN MODELE INTEGRE POUR L'ETUDE DE L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES EAUX SOUTERRAINES D'UN PETIT BASSIN VERSANT INDIEN

AICHA : AN INTEGRATED MODEL TO STUDY THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON GROUNDWATER, IN THE CONTEXT OF A SMALL INDIAN WATERSHED

J-E.Bergez[1], E.Casellas[2], H.Raynal[2],M.Robert[1]

[1]INRA, UMR1248 AGIR, F-31326 Castanet-Tolosan, France ; [2]INRA, UR0875 MIAT, F-31326 Castanet-Tolosan, France

Mots clés : Modèle intégré ; Changement climatique ; Gestion de l'irrigation ; Bassin versant ; Inde

Keywords : Integrated model; Climate change; Irrigation management; Watershed; India

Introduction

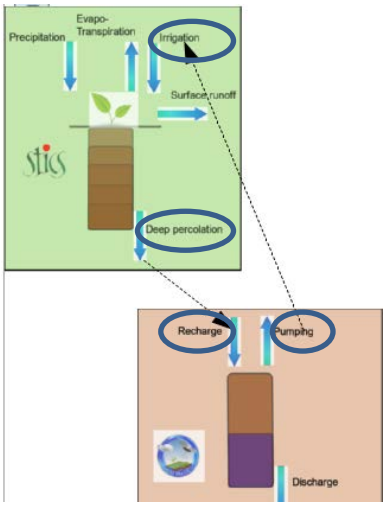
Dans le contexte du changement climatique et d'une agriculture de plus en plus dépendante des eaux souterraines pour l'irrigation, il est important d'étudier la durabilité des systèmes de culture actuels et de proposer le cas échéant, des scénarios alternatifs en s'appuyant sur la modélisation. Un des objectifs du projet AICHA (Adaptation of Irrigated Agriculture to Climate Change) concerne le développement d'un modèle intégré (incluant les composantes agronomie, hydrologie et économie) qui servira à tester des scénarios d'évolution des systèmes agricoles à l'échelle de l'exploitation agricole et du bassin versant. Ce projet franco-indien est appliqué au bassin versant expérimental de Berambadi (sud de l'Inde). Nous présentons le premier prototype de ce modèle intégré, développé sur la plate-forme RECORD (J-E. Bergez et al. 2013) et donnons quelques perspectives quant à son utilisation dans le projet. Ce dernier est financé par l'INRA (métaprogramme ACCAF) et CEFIPRA (Centre Franco-Indien pour la Promotion de la Recherche Avancée).

Matériel et méthode

Le bassin de Berambadi représente 84 km2, et dans le contexte de ce premier prototype il a été découpé en une grille de 150x210 cellules, soit une résolution de 100mx100m. En première approche on considère que ces cellules représentent les parcelles agricoles. Le système que l'on modélise concerne l'ensemble des processus bio-physiques, hydro-géologiques et décisionnels sur cette zone. Le modèle intégré repose sur deux modèles existants qui servent de briques élémentaires. Les processus bio-physiques sont traités par STICS et les processus hydrologiques sont traités avec le modèle de nappe hydro-géologique distribué « AMBHAS » (http://ambhas.com). Ces deux modèles ayant été développés initialement en dehors de RECORD (respectivement en FORTRAN et Python), une étape d'encapsulation informatique a été préalablement réalisée (J-E. Bergez et al. 2014), afin qu'ils puissent être utilisés sur la plate-forme. Les processus décisionnels sont décrits à l'aide du formalisme proposé par RECORD, puis implémentés informatiquement dans la plate-forme. L'étape décisive de l'intégration concerne le couplage dynamique entre ces différents éléments, qui consiste donc à coupler 150x210 STICS/RECORD au modèle AMBHAS (ce dernier couvre l'ensemble de la grille, et intègre en interne la discrétisation spatiale en cellule qui est similaire à la discrétisation spatiale de surface) (Figure 1). Le pas de temps de simulation est journalier et on veut pouvoir simuler le modèle en enchaînant plusieurs années. Les entrées du modèle sont renseignées à partir d'un fichier texte issu d'un fichier SIG, qui contient les informations pour chaque cellule de la grille.

Nous avons ensuite travaillé à définir différents cas d'utilisation de ce modèle, et avons choisi d'élaborer deux types principaux de scénario : i) Changement de l'allocation des cultures sur les différentes parcelles (sur Berambadi, les cultures principales sont le curcuma, le tournesol, le maïs, l'Œillet d'inde), ii) Changement du niveau d'irrigation des cultures. Ces scénarios seront utilisés pour valider le modèle et travailler à tester différents scénarios d'évaluation.

Figure 1 : Principe du couplage dynamique entre une parcelle (une unité de simulation STICS) et le modèle de nappe hydro-géologique (AMBHAS). Les flux d'eau échangés entre les deux modèles concernent : i) l'eau de drainage calculée par STICS et qui est une entrée d'AMBHAS, ii) l'eau qui est pompée pour l'irrigation de la parcelle qui est une sortie d'AMBHAS et qui est calculée en fonction de la demande en eau de la plante et d'un processus décisionnel basé sur la hauteur de la nappe d'eau. Ce couplage est dynamique (variables de couplages entourées en bleu) et intervient à chaque pas de temps (jour). Les flux de surface sont négligés.



Résultats et perspectives

Le prototype est opérationnel. Nous avons développé une interface graphique pour faciliter sa manipulation qui permet de travailler sur l'ensemble du bassin de Berambadi ou une sous-partie. Dans ce dernier cas, on réduit les temps de simulation qui prennent plusieurs heures pour une simulation sur la totalité du bassin (Figures 2 - 3). Ce prototype évoluera vers une version finale intégrant la dimension de l'exploitation agricole (modèle en cours de développement). Il sera utilisé pour déterminer des stratégies (assolement, conduite de l'irrigation) optimisant la gestion de l'eau par les agriculteurs.

Figure 2 : Interface graphique permettant de spécifier le pourcentage de chaque culture sur chaque sous-zone du bassin. L'allocation des cultures sur chaque parcelle est générée aléatoirement.

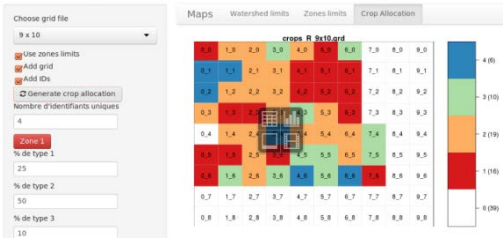
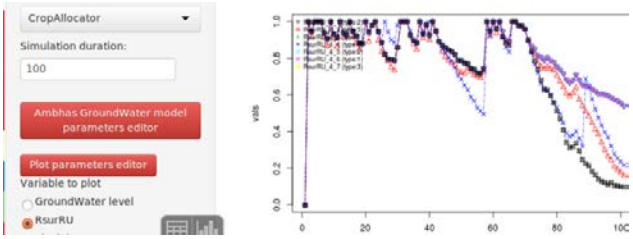


Figure 3 : Exemple de graphiques pouvant être réalisés à l'aide de l'interface. Evolution de la dynamique des variables d'état du système, pour différentes cellules.



Références bibliographiques

J.-E. Bergez, P. Chabrier, C. Gary, M.H. Jeuffroy, D. Makowski, G. Quesnel, E. Ramat, H. Raynal, N. Rousse, D. Wallach, P. Debaeke, P. Durand, M. Duru, J. Dury, P. Faverdin, C. Gascuel-Odoux, F. Garcia, An open platform to build, evaluate and simulate integrated models of farming and agro-ecosystems, Environmental Modelling & Software, Volume 39, January 2013, Pages 39-49, ISSN 1364-8152, 10.1016/j.envsoft.2012.03.011.

J.E. Bergez, H. Raynal, M. Launay, N. Beaudoin, E. Casellas, J. Caubel, P. Chabrier, E. Coucheney, J. Dury, I. Garcia de Cortazar-Atauri, E. Justes, B. Mary, D. Ripoche, F.Ruget: Evolution of the STICS crop model to tackle new environmental issues: New formalisms and integration in the modelling and simulation platform RECORD, Environmental Modelling & Software, volume 62, December 2014, Pages 370–384.

LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA PRODUCTION DE MAÏS DANS LE CERRADO DU BRESIL

CLIMATE CHANGE IMPACTS ON MAIZE PRODUCTION IN THE CERRADO OF BRAZIL

Fernando Macena da Silva[1], François Affholder [2], Marc Corbeels[1,2]

[1]Embrapa-Cerrados, 73310-970, Planaltina, DF, Brazil ; [2]CIRAD, Agroécologie et intensification durable des cultures annuelles, 34398 Montpellier, France

Mots clés: Cerrado, changement climatique, modélisation des systèmes de culture, non-labour, maïs, fenêtres de semis

Keywords: Cerrado, climate change, crop modelling, no-tillage, maize, sowing windows

Introduction

About 70% of Brazil's farm output is produced in the Cerrado region. The main crops grown are maize, soybean, sugarcane and cotton. The climate is sub-humid tropical, typical of the rather moister savanna regions of the world. Climate model predictions (Torres and Marengo, 2013) suggest that the Cerrado will experience a temperature increase of between 2 °C and 4 °C by the end of the century. Model projections for future rainfall under high emission scenarios indicate a decrease of 20% to 40% of current values. Changes in the distribution of rainfall throughout the year are also expected. These climate changes may have a severe impact on the agricultural sector. There is an urgent need to quantify more securely the risks and uncertainties involved in the effects of climate change on crop production. The objective of this study is to assess the impact of climate change on maize yields in the Cerrado.

Materials and Methods

We used the crop growth model STICS that was calibrated and tested against crop and soil data from an agronomic field trial at the experimental station of Embrapa-Cerrados at Planaltina (15°35’ 30’’ S, 47°42’ 00’’ W, 1175 m asl) (Scopel et al., 2004). Water-limited yields for a typical local maize cultivar were simulated for 12 sowing dates and for two soil types, representing a scenario of low and high plant-available soil water storage capacity, for two sites: Rio Verde (17° 47' S, 50° 55' W, 715 m asl, 1660 mm average rainfall) in the Goiás state and Barreiras (12°09’ S, 44° 59’ W, 452 m asl, 1045 mm average rainfall) in the Bahia state. These sites are representative of the two main subtypes of climate occurring in the Cerrado. The crop growth simulations covered historical climate (1961-1990) and projections for the IPCC A1B emission scenario (2011-2050 and 2051-2100 periods). Climate change projections were generated using the Eta CCS regional climate model nested in the global model HadAM3P (Marengo et al., 2009). Two cropping systems were simulated: maize under conventional tillage and under no-tillage with a mulch of crop residues. Optimal sowing windows were calculated as the interval of sowing dates for which the simulated grain yield is greater or equal to 80% of the maximum yield.

Results and discussion

STICS satisfactorily reproduced the growth and development of maize and the soil water dynamics of the experiment at Planaltina. In general, crop yields under no-tillage with mulching were slightly higher than those under conventional tillage, and also presented a somewhat greater year-to-year yield stability. No-tillage systems use more efficiently the seasonal rainfall as a result of reduced surface water run-off and soil evaporation. Future higher temperatures cause a significant decrease in the growing period of maize (20 days on average) leading to lower total biomass and grain production. Due to future decreased rainfall and increased risk of longer dry spells the sowing windows for maximum yields become smaller, especially at the dryer site Barreiras. At this site, maximum (optimal sowing date) simulated average grain yields decreased from about 7600 kg ha^{-1} under historical climate (1961-1990) to 4400 kg ha^{-1} (2011-2050 period) and 3000 kg ha^{-1} (2051-2100 period). In Rio Verde, average maximum maize grain yields are predicted to drop from 8400 kg ha^{-1} (1961-1990) to 7800 kg ha^{-1} (2011-2050 period) and 6200 kg ha^{-1} (2051-2100 period).

Conclusions

Our model simulations predict severe impacts of climate change on crop production in the Cerrados, *especially* in the dryer regions. Effective strategies are needed to adapt to climate change, which should concentrate on the impact of higher temperatures and more erratic rainfall on lowering crop yields. Such strategies include breeding and using more drought tolerant crops with a phenology that better matches to the new environmental conditions. In terms of management options available to farmers, strategies that preserve soil moisture, such as no-tillage with mulching, should become more important. Use of seasonal climate forecasts can help farmers with better identifying optimal sowing dates and can also play an important role in reducing production risks due to rainfall variability.

References

Marengo J.A., Jones R., Alves L.M., Valverde M.C., 2009 - Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. International Journal of Climatology, 29, 2241-2255.

Scopel E., da Silva F.A.M., Corbeels M., Affholder F., Maraux F., 2004 - Modelling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semi-arid and humid tropical conditions. Agronomie, 24, 1-13.

Torres R.R., Marengo J.A., 2013 -Uncertainty assessments of climate change projections over South America. Theoretical and Applied Climatology, 112, 253-272.

COMPRENDRE LES DIFFERENCES ENTRE DES SORTIES DE MODELES PLUTOT QUE LES MOYENNER ?

IS IT POSSIBLE TO UNDERSTAND APPARENT DIFFERENCES OF CROP MODEL OUTPUTS ?

Françoise Ruget[1], Dominique Ripoche [2], Jean-Louis Durand[3]

[1] INRA, UMR 1114 EMMAH, 84914 Avignon cedex 9 ; [2] INRA, US 1116 AgroClim, 84914 Avignon cedex 9 ; [3] INRA, UR 0004 P3F, 86600 Lusignan

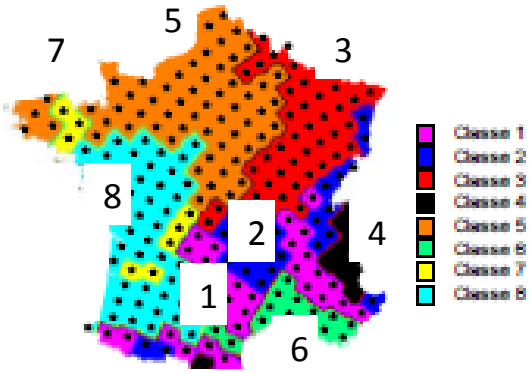
Mots clés : changement climatique, évolution de la production fourragère, modèle de culture

Keywords : climate change, changes in forage yield, crop model

Les estimations de productions futures à l'aide de données climatiques futures et de modèles de culture sont parfois troublantes car les résultats ne sont pas toujours convergents entre modèles ou même entre jeux de simulations.

De façon à peu près simultanée, en utilisant des données climatiques proches et le même modèle, des travaux ont été réalisés sur le changement climatique en France, avec les projets MRES-ACTA-CC (2006-2009) et ANR Climator (2007-2010). Certains de leurs résultats étaient contradictoires, malgré beaucoup de similitudes entre outils.

Comparaison des estimations de production annuelle de fourrage (graminées type dactyle ou fétuque).
Sur la production de graminées fourragères de type dactyle ou fétuque, alors que le projet ACTA attirait l'attention sur les possibilités de diminution de production à moyen terme (fin XXIè siècle), Climator avait des conclusions beaucoup plus optimistes. Ces résultats sont illustrés dans la figure 1.



B1, A1B, A2 : noms des scénarios d'émission de gaz à effet de serre, correspondant à des réchauffements de plus en plus forts

P futur proche, période 2020-2050

L futur lointain, période 2070-2100

Les numéros correspondent aux zones climatiques qui ont été définies par une AFMS sur les distributions des principales variables climatiques dans le futur (Ruget et al., 2010)

Les climats utilisés dans les modèles de culture proviennent d'ARPEGE-CLIMAT (CNRM, Météo-France)

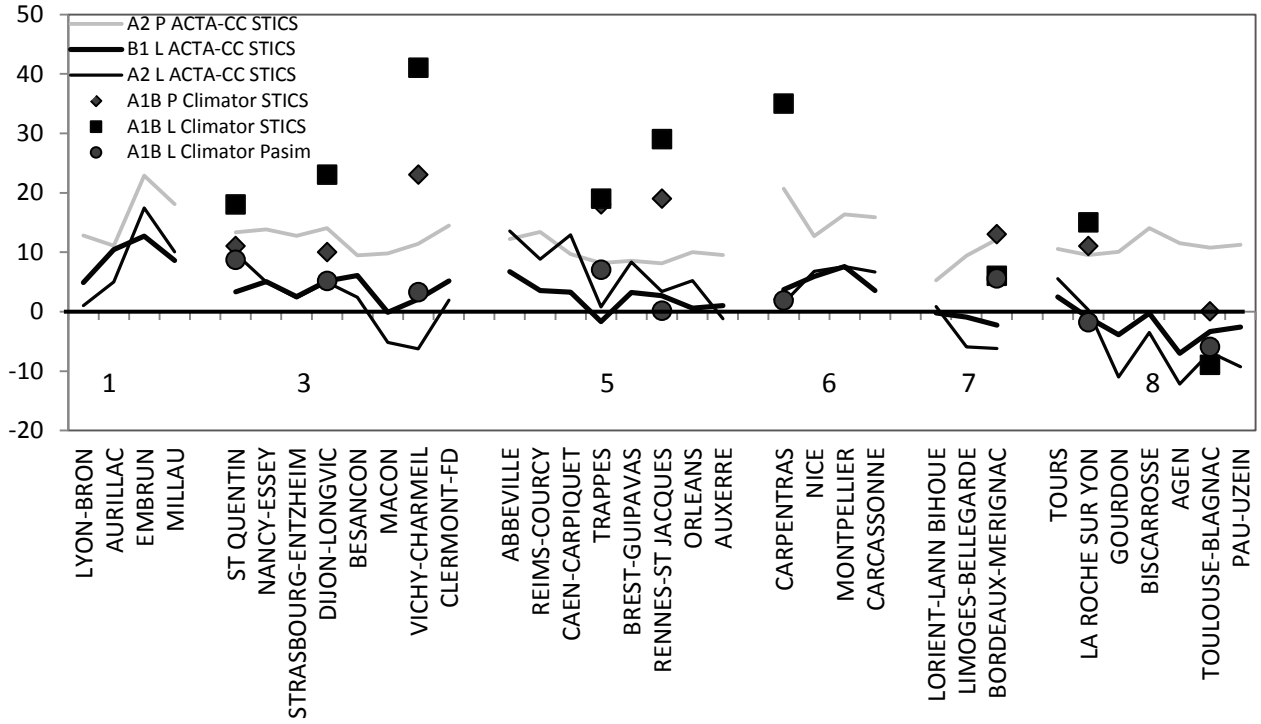


Figure 1. Variations relatives de production annuelle cumulée de fourrages, selon les zones géographiques.

Méthode

Dans le projet ACTA-CC -en trait plein-, les simulations sont réalisées pour 34 lieux répartis sur les zones fourragères françaises, ces stations ayant pu être appariées à 9 des 12 stations de Climator, représentées par des points. Les variations de productions estimées sont présentées en valeur relative à la production actuelle estimée, moyennée sur une période de 30 ans pour chaque lieu. Dans ACTA-CC, seul STICS a été utilisé, dans Climator où plusieurs modèles ont été utilisés, on présente les résultats de STICS et à titre de complément un résultat de Pasim. Les différences entre résultats STICS des 2 projets ne peuvent être attribuées qu'aux différences de climats ou de pratiques, sachant que les versions de modèles et leurs paramètres étaient identiques ou très proches.

Résultats et discussion

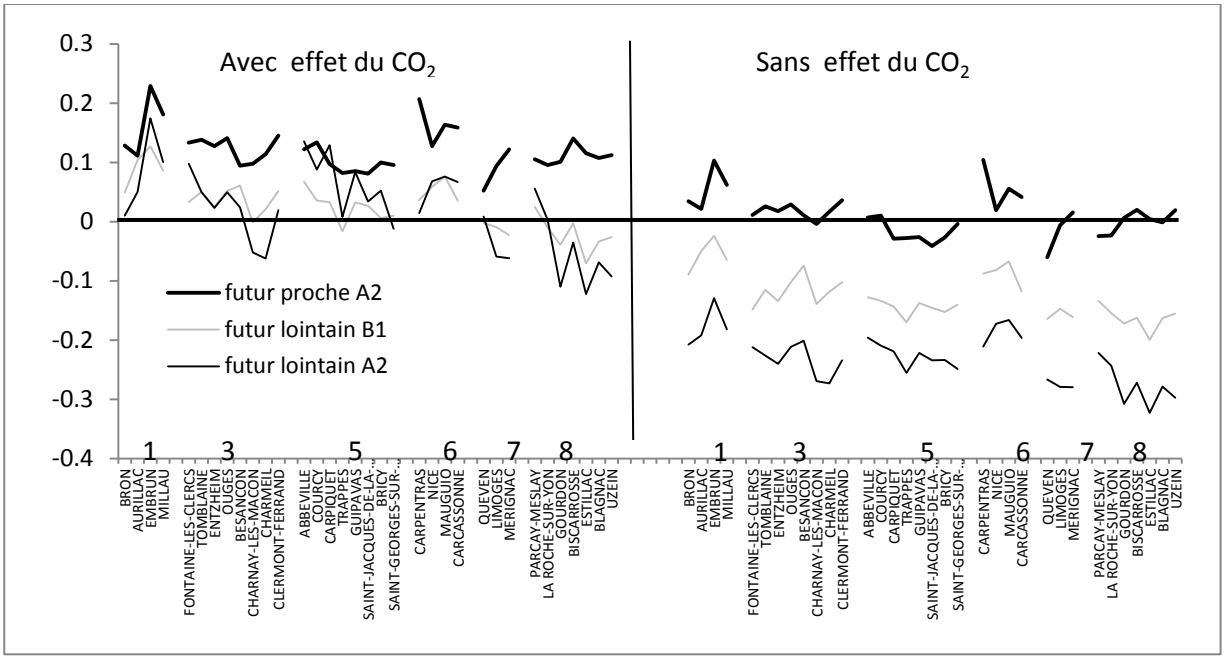
Les productions augmentent toutes dans le futur proche (par rapport au présent), mais elles diminuent, pour la plupart, du futur proche (A2 P) au futur lointain (B1 L et A2 L) dans ACTA-CC. Dans le futur lointain, elles diminuent également du scénario B1 au scénario A2 considéré comme plus défavorable car plus chaud, dans la plupart des lieux. Les augmentations de productions du futur proche sont plus fortes dans les zones 1 et 6, que dans les autres, mais elles sont plus faibles dans les zones 7 et 8, qui constituent la zone océanique de l'Ouest (de la Bretagne à l'Aquitaine) où sont attendus à la fois un réchauffement plus précoce et plus fort et une diminution plus marquée des précipitations (non illustré).

Dans Climator les productions augmentent non seulement dans le futur proche, mais encore plus dans le futur lointain, sauf dans les zones 7 et 8, à réchauffement et diminution de précipitations plus forts. L'analyse des conditions précises des simulations montre que plusieurs différences cumulées expliquent cette apparente contradiction : (i) l'augmentation de température est plus faible dans A1B L que dans A2 L, donc la température n'atteint pas la gamme défavorable dans A1B L (Climator)dans la plupart des zones, (ii) une augmentation systématique de 7 % du rayonnement a été prise en compte dans Climator et pas dans ACTA-CC, (iii) la fertilisation, augmentée dans Climator pour valoriser le potentiel climatique attendu, est restée à son niveau présent dans ACTA-CC.

Malgré la divergence des résultats, on peut conclure que, même si les augmentations de température sont favorables dans un premier temps [et accentuées par les effets positifs du CO_2 (augmentation de production diminution de transpiration)], elles sont moins fortes et disparaissent à plus court terme, dans les régions qui se réchauffent le plus, quel que soit le projet donc les conditions de simulation (zone 8).

L'intérêt de la comparaison sommaire à Pasim est de montrer que la tendance, très différente entre les 2 modèles dans Climator, est semblable entre Pasim (Climator) et STICS (ACTA-CC), ce qui pourrait signifier que, dans ce cas, les effets climatiques l'emportent sur les différences entre modèles.

La figure 2 illustre l'importance de l'effet du CO_2 dans ces estimations. Si l'effet positif du CO_2 est surestimé, les diminutions de production pourraient intervenir plus tôt.



Références

BRISSON N., LEVRAULT F., Livre vert du projet Climator, Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces, 334 p., ANR INRA, ADEME Ed., 2010.

RUGET F., MOREAU J.-C., FERRAND M., POISSON S., GATE P., LACROIX B., LORGEOU J., CLOPPET E., and SOUVERAIN F., Describing the possible climate changes in France and some examples of their effects on main crops used in livestock systems. Adv. Sci. Res., 4, 99–104, 2010, www.adv-sci-res.net/4/99/2010/, doi:10.5194/asr-4-99-2010

RUGET F., CLASTRE, P.; MOREAU, J. C., CLOPPET, E. ; SOUVERAIN, F. ; LACROIX, B. ; LORGEOU, J. 2012. Conséquences possibles des changements climatiques sur la production fourragère en France. I. Estimation par modélisation et analyse critique. Fourrages, 210, 87-98.

SESSION 3 – Communications orales

Couplage et approches intégrées mobilisant STICS

Animateur : Iñaki Garcia de Cortazar-Atauri

RECHERCHE D'INDICATEURS DE FONCTIONNEMENT DES GRANDES CULTURES A PARTIR DU MODELE GLOBAL ORCHIDEE : CAS DU RENDEMENT

DEVELOPMENT OF INDICATORS OF CROP FUNCTIONING FROM THE GLOBAL MODEL ORCHIDEE: THE CASE OF YIELD

Julie Caubel[1], Sophie Wieruszeski[1], Iñaki Garcia de Cortazar-Ataurí[2], Nathalie de Noblet-Ducoudré[1]

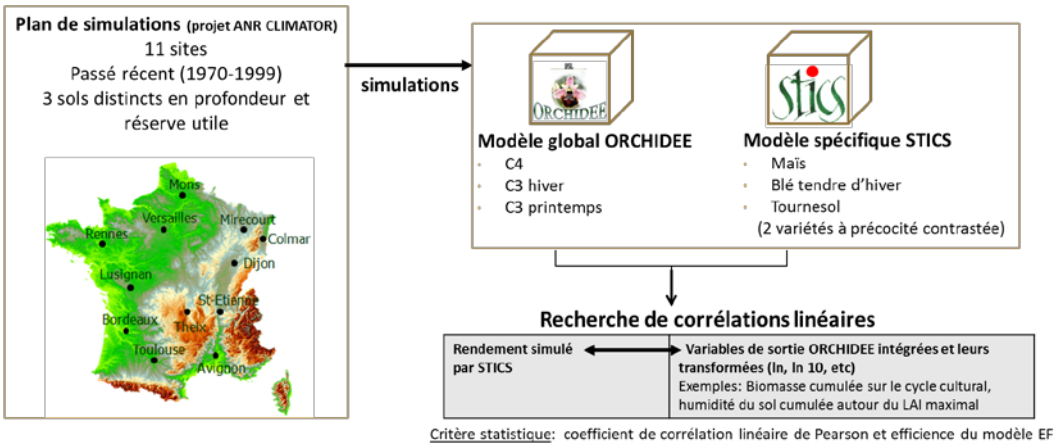
[1] LSCE, 91190 Gif-sur-Yvette, France ; [2] INRA, US1116 AgroClim, 84914 Avignon, France

Mots clés : rendement, modèle global de végétation dynamique, relations statistiques.
Keywords : yield, Dynamic Global Vegetation Model, statistical correlation.

Introduction

Le projet ANR ORACLE a pour objectif d'évaluer les impacts potentiels de plusieurs scénarios de changement climatique sur le fonctionnement des agro-écosystèmes à l'échelle de la France et d'en déduire les modifications potentielles d'usages, voire d'occupation des sols. Dans ce but, un des objectifs du projet vise à établir des relations statistiques simples entre des variables de sortie de modèles globaux dynamiques de végétation (DGVM) tels qu'ORCHIDEE et des variables agronomiques habituellement simulées par des modèles spécifiques tels que STICS. Ces relations permettraient de générer rapidement des informations à large échelle sur le fonctionnement des grandes cultures via les DGVM. Nous présentons ici les premiers résultats obtenus dans le cas de la mise en relation du rendement du maïs, du tournesol et du blé tendre d'hiver simulé par STICS avec des variables de sortie d'ORCHIDEE utilisé dans les mêmes conditions agropédoclimatiques pour les types fonctionnels C3 culture de printemps, C4 et C3 culture d'hiver respectivement.

Protocole de recherche de relations statistiques entre STICS et ORCHIDEE



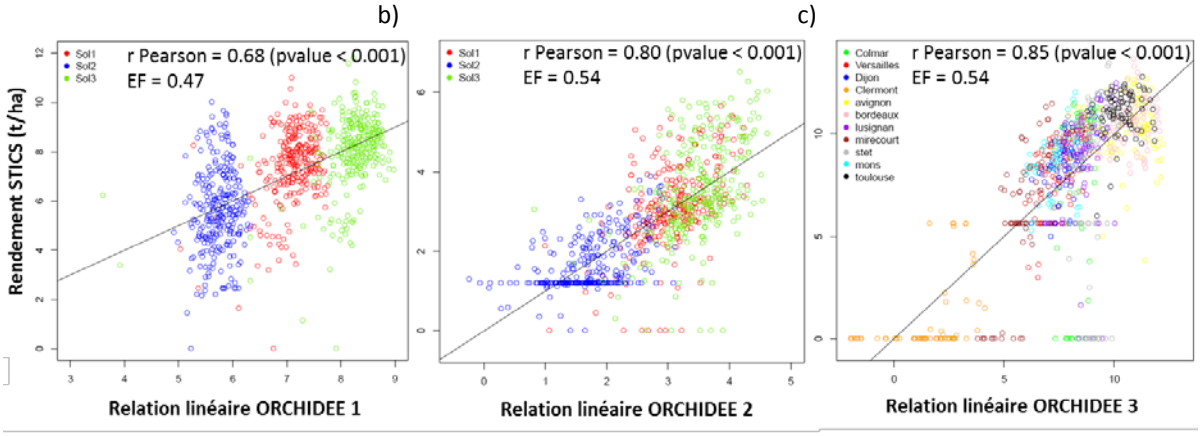
Critère statistique: coefficient de corrélation linéaire de Pearson et efficience du modèle EF

Résultats

Les relations statistiques établies sont assez satisfaisantes dans le cas du tournesol vs. C3 printemps (Figure 1b, r Pearson = 0.80) et du maïs vs. C4 (Figure 1c, r Pearson = 0.85). Dans le cas du tournesol, la relation linéaire traduit mal les rendements faibles simulés dans certaines situations climatiques par STICS pour le sol 2 ayant les plus faibles profondeur/réserve utile (effet stress hydrique pénalisant le nombre de grains dans STICS non pris en compte dans le DGVM). Dans le cas du maïs, l'effet sol est moins marqué. Les résultats par site (Figure 1 c) montrent qu'ORCHIDEE et STICS diffèrent pour les situations climatiques très froides (STICS simule des pertes à la levée pénalisant fortement le rendement). Dans le cas du blé tendre d'hiver vs. C3 hiver et pour chacun des sols (Figure 1 a), la relation n'est pas satisfaisante. La relation

montre néanmoins que la dispersion des points diminue avec l'augmentation de la profondeur du sol/réserve utile (stress hydrique faible), le « rendement » s'approchant du rendement potentiel. Une prochaine étape de travail consisterait à refaire les analyses statistiques pour chaque type de sol individuellement.

Figure 1: Rendements de a) blé tendre d'hiver, b) tournesol et c) maïs simulés par STICS en fonction de relations linéaires de variables ORCHIDEE. Le rendement simulé par STICS en un site/année est la moyenne des rendements de chacune des variétés. Le coefficient de corrélation de Pearson a été recalculé après élimination des valeurs extrêmes (niveau de confiance = 90%).



Relation linéaire ORCHIDEE 1 = -1.99 + 1.24.10^{-2} * HSML + 0.80 * LAIM + 7.25.10^{-4} * TSCL

Relation linéaire ORCHIDEE 2 =-12.3 + 9.48.10^{-1} * ln HSC + 7.52.10^{-3}* EC – 1.47.10^{-1} * LAIM + 5.42.10^{-2}* ln² TSCL

Relation linéaire ORCHIDEE 3 = - 44.6 + 1.34 * BML + 14.30 * ln10 TSC

Avec HSML = Humidité du sol moyenne autour du LAI maximal (+/- 15 jours) (kg/m²) ; LAIM = LAI maximal (m² feuilles/m² sol) ; TCSL = Température du sol cumulée autour du LAI maximal (+/- 15 jours) (°C); HSC = Humidité du sol cumulée pendant le cycle cultural*(kg/m²) ; EC = Evapotranspiration cumulée pendant le cycle cultural* (mm/jour);BML = biomasse moyenne autour du LAI maximal (+/- 15 jours) (g de carbone/m² sol) ; TSC = Température du sol cumulée pendant le cycle cultural* (°C) ; *Le cycle cultural est considéré comme la période où le LAI est positif.

Conclusions

Les relations linéaires identifiées sont assez satisfaisantes dans le cas du tournesol et du maïs. Ces relations constituent des indicateurs de fonctionnement des cultures utiles lors de l'étude à large échelle spatiale de l'impact du changement climatique sur les grandes cultures et de l'identification des zones à risque. Ces indicateurs permettraient de rapidement fournir des ordres de grandeur des impacts lorsque de nouveaux scénarios sont mis à disposition. En revanche, l'utilisation de ces relations requiert au préalable de repousser les limites de certains formalismes des DGVM. En effet, les relations mises en évidence dans le cas du tournesol et du maïs rendent mal compte des situations à faible rendement (froid impliquant des pertes à la levée par exemple).

Références bibliographiques

Brisson, N. and Levrault, F., 2010. Climate change, agriculture and forests in France: simulations of the impacts on the main species: The Green Book of the Climator Project. 318pp.

Krinner, G., Viovy, N., de Noblet-Ducoudré, N., Ogée, J ., Friedlingstein, P., Ciais, P., Sitch, S., Polcher, J. ? Prentice, I.C., 2005. A dynamical global vegetation model for studies of the coupled atmosphere-biosphere system. Global Biogeochemical Cycles, 19, GB1015.

FORÇAGE DU MODELE DE SIMULATION DU DEVENIR DES PESTICIDES MACRO AVEC LE MODELE DE CULTURE STICS POUR EVALUER LES FLUX DE PESTICIDES DANS LES SYSTEMES DE CULTURE INNOVANTS

FORCING MACRO PESTICIDES FATE MODEL WITH STICS CROP MODEL TO ASSESS PESTICIDES FLOWS IN INNOVATIVE CROPPING SYSTEMS

Sabine-Karen Yemadje[1], Julien Moeys[2], Eric Justes[3], Enrique Barriuso[1], Marjorie Ubertosi[4], Nicolas Munier-Jolain[4], Laure Mamy[1]

[1]INRA-AgroParisTech UMR 1402 ECOSYS, Thiverval-Grignon, France; [2]Department of Soil and Environment, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Suède ; [3]INRA UMR INRA-INPT/ENSAT 1248 AGIR, Castanet-Tolosan, France; [4]INRA-AgroSup Dijon-Université de Bourgogne UMR 1347 Agroécologie, Dijon, France

Mots clés : modélisation, systèmes de culture innovants, pesticides, pratiques agricoles, MACRO, STICS
Keywords: modelling, innovative cropping systems, pesticides, agricultural practices, MACRO, STICS

Introduction

Le défi du plan Ecophyto consiste à diminuer d'une manière significative le recours aux produits phytosanitaires, tout en continuant à assurer un niveau de production élevé en quantité et en qualité. Seule une combinaison de différentes techniques culturales peut remplacer la protection chimique et cette combinaison implique l'introduction de nouveaux systèmes de culture. Cependant, un très grand nombre de systèmes peut être conçu et il est impossible de réaliser des expérimentations in situ pour étudier la durabilité de chacun de ces systèmes. Il est donc nécessaire de développer des outils pour évaluer les impacts sur l'environnement (liés à l'usage des pesticides) des systèmes de culture. Parmi les outils existants, la modélisation numérique permet la description des flux et des concentrations en pesticides dans les différents compartiments de l'environnement. Les modèles (modèles « pesticides ») permettent d'intégrer les effets induits par la variabilité des contextes agro-pédo-climatiques, cependant les pratiques agricoles y sont à l'heure actuelle représentées de manière incomplète. L'objectif de ce travail est donc de forcer un modèle « pesticides », MACRO (Larsbo et Jarvis, 2003), avec un modèle capable de représenter l'évolution des couverts végétaux sous différentes pratiques agricoles (rotation, associations de culture, gestion des résidus, travail du sol…) et sous différentes conditions pédoclimatiques, le modèle STICS (Brisson et al., 1998).

Matériels et méthodes

MACRO est un modèle monodimensionnel décrivant les transferts d'eau et de pesticides dans l'environnement. Il est largement utilisé en Europe dans le cadre de l'homologation des produits phytosanitaires. Sa principale originalité par rapport à d'autres modèles « pesticides » réside dans sa capacité à prendre en compte l'influence des écoulements préférentiels sur les pertes en pesticides.

Le modèle STICS est un modèle générique qui permet de simuler la croissance de la majorité des cultures présentes en France, ainsi que les flux d'azote, de matières organiques et d'eau. Il offre l'avantage sur MACRO de simuler de façon beaucoup plus réaliste le fonctionnement des cultures en tenant compte des caractéristiques de la plante, des itinéraires techniques de la culture (dates de semis, fertilisation, irrigation) et des interactions avec les conditions climatiques et pédologiques. STICS est également caractérisé par sa robustesse, il a été testé dans un grand nombre de conditions pédo-climatiques (Coucheney et al., 2015).

D'un point de vue technique, les deux modèles STICS et MACRO fonctionnent en série. Le modèle STICS simule le développement de la culture et fournit des variables qui constituent des indicateurs de

développement des cultures (Figure 1). Ces variables sont ensuite transmises comme données d'entrée au modèle MACRO qui simule le devenir des pesticides et fournit en sortie les flux d'eau et de pesticides dans les systèmes de culture.



Figure 1. Représentation schématique du forçage du modèle MACRO par le modèle STICS

Résultats et discussion

Une des premières étapes de ce travail a consisté à comparer les résultats fournis par MACRO à ceux fournis par [STICS-MACRO] et de les comparer à des mesures in situ. Nous nous sommes basés sur une expérimentation de plein champ localisée à Dijon-Epoisses (domaine expérimental de l'INRA) où plusieurs systèmes de cultures innovants sont caractérisés et évalués. Nous disposons, entre autres, de mesures de flux d'eau et de pesticides. Dans un premier temps, nous avons testé le cas d'une rotation colza-blé-orge de référence et d'un traitement au quinmérac (herbicide du colza). La comparaison des sorties des deux modèles montre des différences entre les quantités simulées d'eau mais aussi de pesticide. Le modèle [STICS-MACRO] simulant mieux que MACRO seul la dynamique de développement des plantes au cours des différentes phases de croissance, il permet de mieux décrire les flux d'évapotranspiration et donc d'améliorer le bilan hydrique du modèle « pesticide ».

Conclusions et perspectives

La méthodologie proposée dans ce travail, basée sur le forçage d'un modèle « pesticide » par un modèle de culture, [STICS-MACRO], permet d'intégrer la variabilité des pratiques agricoles et des conditions environnementales pour évaluer les flux de pesticides dans les systèmes de culture innovants. Les tests de la robustesse de [STICS-MACRO] se poursuivent en simulant divers types de systèmes innovants. Puis, l'étape suivante consistera à tester la sensibilité de cet outil aux variations des pratiques agricoles.

Remerciements

Action co-financée par l'INRA et le ministère chargé de l'agriculture, avec l'appui financier de l'ONEMA, par les crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Ecophyto, dans le cadre de l'APR « Pour et Sur le Plan Ecophyto (PSPE1) ».

Références bibliographiques

Brisson N. et al., 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.

Coucheney E. et al., 2015. Accuracy, robustness and behavior of the STICS soil-crop model for plant, water and nitrogen outputs: Evaluation over a wide range of agro-environmental conditions in France. Environmental Modelling and Software, 64, 177-190.

Larsbo M., Jarvis N.J., 2003. MACRO 5.0. A model of water flow and solute transport in macroporous soil. Technical description. Rep EmergoUppsala: Swedish University of Agricultural Sciences.

L'EAU ET L'AZOTE COMME INTRANTS : APPORTS D'UN MODELE DE CULTURE A L'ANALYSE ECONOMIQUE

WATER AND NITROGEN AS INPUTS: WHAT CROP MODELS CAN ADD TO ECONOMIC ANALYSIS

Pierre Humblot[1], Pierre-Alain Jayet, Elvire Petel, Athanasios Petsakos

INRA UMR Economie Publique, Centre de Grignon, France

Mots clés : irrigation, ressource en eau, modélisation économique, fonctions de réponse, changement climatique
Keywords : irrigation, water resource, economic modeling, yield functions, climate change

Introduction

L'eau et l'azote sont des intrants du système productif agricole qui n'ont pas toujours de prix, mais qui ont un coût. Selon leur disponibilité, ce coût évolue du fait des changements environnementaux et des contraintes économiques et environnementales. Les modèles de culture offrent des outils utiles à l'analyse économique au travers de l'élaboration des fonctions dose-réponse. Nous intégrons l'eau à la suite des travaux précurseurs réalisés pour l'azote, en tenant compte des spécificités des apports en éléments N et H2O. Les apports azotés organiques et minéraux sont également étudiés.

L'eau dans les modèles économiques

Afin de simuler le fonctionnement des systèmes agricoles, en particulier dans l'utilisation de modèles technico-économique, il est pertinent d'intégrer des informations agronomiques. Ceci est particulièrement important dans le cadre du changement climatique, lorsqu'on cherche à étudier l'adaptation de l'agriculture aux changements de l'environnement physique et économique.

La prise en compte de l'irrigation et de la ressource en eau est un élément clé de la capacité de prédiction des impacts d'un climat futur incertain. Ceci est d'importance majeure au vu de la tension actuelle sur la ressource dans de nombreuses régions d'Europe et du monde, à laquelle s'ajoutent les prédictions d'une baisse de la disponibilité en eau associée à une augmentation des variations inter-annuelles des précipitations. Aux échelles de travail envisagées (de l'exploitation agricole à la région, sur l'Union Européenne), nous devons tenir compte du peu d'observations disponibles quant aux quantités et prix d'eau utilisées.

Développer un cadre théorique

Dans ce contexte, nous avons développé une méthode intégrant cette ressource dans la modélisation bio-économique. La méthode est une extension des fonctions dose-réponse associant l'azote apporté au rendement de culture, et décrites dans Godard, 2008. Le principe est étendu à des fonctions à deux variables contrôlables par l'exploitant : l'azote (via l'apport d'engrais) et l'eau (par l'irrigation). Des travaux antérieurs ont déjà étudié ce concept et mis en évidence l'utilité de ces fonctions (Llewelyn, 1997) qui peuvent être intégrées dans des modèles d'optimisation économique.

Dans notre cas, le modèle STICS est d'abord utilisé pour estimer le rendement d'une culture en conditions fixées : climat, sol, variété, itinéraire technique. Différentes quantités d'intrants (N et H20) sont proposées, la réponse du modèle STICS aux facteurs eau et azote étant validée (Houlès et al 2004, Coucheney et al 2014). Les rendements ainsi simulés permettent d'estimer les paramètres de la fonction à deux variables. Parmi les diverses fonctions proposées dans la littérature, nous retenons la forme exponentielle de Mitscherlich-Baule, pertinente du point de vue des hypothèses usuelles en économie (croissance et concavité), et pertinente statistiquement (Frank 1990).

Pour chaque ensemble de paramètres physiques (climat, sol, itinéraire), on dispose donc des paramètres de la forme fonctionnelle. Parmi toutes les fonctions estimées, nous proposons une méthode de sélection combinant des données micro-économiques (issues du Réseau d'Information Comptable Agricole) et un critère mathématique fondé sur le prix des intrants et le rendement de l'année d'observation. Nous associons ainsi un jeu de paramètres physiques à une culture chez un exploitant type, que nous pourrons utiliser pour modifier les fonctions dose-réponse en climat futur.

Mise en pratique de la méthode

La méthode est appliquée sur la région Centre pour différents types de systèmes agricoles et pour deux cultures irriguées : le blé et le maïs. Pour chaque culture au sein de chacun des systèmes agricoles, la fonction sélectionnée parmi les fonctions calculées à partir de STICS est par construction compatible avec le rendement observé en climat présent. La méthode sera étendue à plusieurs cultures présentes chez un grand nombre de systèmes de production agricole représentés par le modèle économique AROPAj, dans la lignée de ce qui a été élaboré par Leclère et al, 2013.

Cette approche permet de poser les bases d'une meilleure prise en compte de l'eau d'irrigation dans la modélisation agro-économique. Au-delà du problème d'économie de la production, elle devrait permettre de mieux évaluer les impacts de la consommation conjuguée d'eau et d'azote sur l'environnement (voir l'étude des pertes d'azote sous différentes formes –NO3, NH3, N2O- comme des réponses aux quantités d'intrants, Bourgeois et al, 2014). De façon plus générale, les fonctions de réponse permettent de mieux traiter l'adaptation des systèmes agricoles aux échelles de la parcelle et de l'exploitation agricole.

Références bibliographiques

Godard, C., Roger-Estrade, J., Jayet, P.A., Brisson, N., Le Bas, C., 2008 - Use of available information at a European level to construct crop nitrogen response curves for the regions of the EU. Agricultural Systems, 97(1-2), 68-82.

Frank M., 1990 - A comparison of alternative crop response models. American Journal of Agriculture Economics, 72(3), 597-603.

Llewelyn V., Featherstoneb A., Allen M., 1997 - A comparison of crop production functions using simulated data for irrigated corn in western kansas. Agricultural systems. 54 (4), 521-538.

Leclère D, Jayet P.A., De Noblet Ducoudré N., 2013 - Farm-level autonomous adaptation of European agricultural supply to climate change, Ecological Economics, 87, 1-14.

Bourgeois C., Ben Fradj N., Jayet P.a., 2014 - How cost-effective is a mixed policy targeting the management of three agricultural N-pollutants? Environmental Modeling and Assessment. 19 (5), 389-405.

Houlès V., Mary B., Guérif M., Makowski D., Justes E., 2004 - Evaluation of the ability of the crop model STICS to recommend nitrogen fertilisation rates to agro-environmental criteria. Agronomie. 24, 339-349.

Coucheney E., Buis S., Launay M. Constantin J., Mary B., Garcia de Cortazar-Atauri I., Ripoche D., Beaudoin N., Ruget F., Andrianorisoa S., Le Bas C., Justes E., Léonard J., 2015 - Accuracy, robustness and behavior of the STICS 8.2.2 soil-crop model for plant, water and nitrogen outputs: evaluation over a wide range of agro-environmental conditions in France. Environmental Modelling & Software. 64, 177-190.

SESSION 3 - Posters

Couplage et approches intégrées mobilisant STICS

Animateur : Iñaki Garcia de Cortazar-Atauri

ETUDE DES CONSEQUENCES ENVIRONNEMENTALES DE LA SUBSTITUTION DES ENGRAIS MINERAUX PAR L'EPANDAGE DE PRODUITS RESIDUAIRES ORGANIQUES (PROS) AVEC LA METHODE D'ANALYSE DE CYCLE DE VIE (ACV)

ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF MINERAL FERTILIZERS SUBSTITUTION BY EXOGENOUS ORGANIC MATTERS (EOM) APPLICATION STUDY BY LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)

Emmanuelle Garrigues[1], Ahmed Karim Dhaouadi[2], Fiona Obriot[2], Laure Vieublé-Gonod[2], Patricia Laville[2], Michael S.Corson[3,4], Sabine Houot[2]

[1] Chercheur indépendante, F-35480 Saint Malo de Phily, France ; [2] INRA, UMR1402 ECOSYS, F-78850 Thiverval-Grignon, France; [3] INRA, UMR1069 SAS, F-35042 Rennes, France ; [4] Agrocampus Ouest, UMR1069 SAS, F-35042 Rennes, France

Mots clés : ACV, produits résiduaires organiques, indicateurs qualité du sol, changement climatique
Keywords : LCA, exogenous organic matters, soil quality indicators, climatic change

Introduction

Face au défi d'une agriculture durable et de son adaptation pour l'atténuation du changement climatique, la valorisation des effluents, boues et autres matières fertilisantes organiques d'origine résiduaire (PROs) sur les sols pourrait permettre la substitution totale ou partielle des engrais minéraux. La fertilisation et l'amendement des sols par l'apport des PROs apportent des éléments minéraux nécessaires à la plante et augmentent le stock de matière organique des sols. Mais cette substitution peut également générer des excès de phosphore et d'azote, responsables de l'eutrophisation et de l'émission de gaz à effet de serre (GES) pour l'azote. L'étude des conséquences environnementales de la substitution des engrais minéraux par l'épandage des PROs par la méthode d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) va permettre de faire le bilan des points forts et des points faibles de ces impacts. Les indicateurs choisis sont : changement de carbone organique du sol (COS) et tassement pour les indicateurs de la qualité du sol, changement climatique (CC) et eutrophisation. L'utilisation de STICS va permettre d'affiner la quantification des émissions de nitrates (NO_3^-) et d'ammoniac (NH_3) participant aux calculs deux derniers indicateurs.

Méthode et définition du système étudié

Le modèle STICS 6.9 a été utilisé pour simuler différents scénarii de substitution des engrais dans un système de grandes cultures: Colza – Blé – Maïs – Blé sur un sol limoneux à deux teneurs en matière organique initiale : une basse (1,9%) et une haute (3%). Cette succession est représentative de la zone étudiée : la Plaine de Versailles dans les Yvelines. Les boues d'épuration urbaine compostées ou non, les composts de déchets verts, le fumier de cheval sont les principales ressources disponibles localement. Nous avons étudié également un lisier séché importé de Bretagne, région excédentaire d'effluents d'élevage. Les limites du système sont tous les processus en amont à la production des cultures, jusqu'à la sortie de la ferme. Sont inclus la production d'engrais minéraux et les traitements des PROs avant épandage (séchage et compostage) ainsi que leur transport. Pour le scénario de référence défini avec une fertilisation 100% minérale, les processus de traitements des PROs se substituant à l'épandage (incinération) sont inclus aussi. Le modèle a été calibré et validé à partir de données provenant d'un essai à long terme (Qualiagro) par Dhaouadi (2014). Les résultats de simulation de STICS ont été utilisés afin de déterminer au mieux les flux de C et N apportées au sol selon les quantités épandues, la lixiviation de NO_3^- et la volatilisation de NH_3 que ces pratiques culturales peuvent engendrer. Les simulations STICS ont été faites pour répondre spécifiquement aux objectifs de cette étude : choix des doses et fréquences des apports se basant sur le maintien des rendements pour une substitution complète pouvant générer des excès de phosphore et diminution des apports de PRO couplée à un apport d'engrais azoté afin de gérer au mieux ces excès. La

référence (REF) est une fertilisation 100% minérale. La quantification des impacts de changement de carbone organique des sols (COS) et du tassement utilise la méthode ACV-SOL (Corson, 2012), les autres impacts, la méthode CML-IA 3.01.

Résultats et conclusions

Tout d'abord, les résultats des simulations STICS montrent que les niveaux initialement bas en COS ne permettent pas d'atteindre des rendements similaires à ceux obtenus avec les niveaux initialement hauts de COS. Cette augmentation de rendement provoque une diminution des impacts des niveaux hauts par rapport aux niveaux bas, quand on passe de l'expression des impacts « par hectare » à « par tonne de grain produit ». Néanmoins, à l'intérieur des scenarii d'un même niveau de COS_i, des substitutions par les PROs permettent de maintenir les rendements par rapport à REF, sans générer des excès de phosphore uniquement pour les scenarii avec complémentation en azote (pas de substitution complète).

Les résultats de l'indicateur de changement de COS montrent un stockage de carbone supplémentaire systématique d'en moyenne 0,3 t/C/ha/an par rapport à REF, avec un stockage supérieur des PROs amendants aux PROs fertilisants. Ce stockage supplémentaire permet de lire les impacts des scenarii à niveaux hauts de COS comme la conséquence à long terme de la substitution. Pour le tassement du sol, les substitutions des engrais par des PROs impliquent des passages au champ avec des engins plus lourds, mais avec un nombre plus réduit de passage, tout ceci engendrant des variations de tassement potentiel. Les différences de COS ont été prises en compte indirectement par l'intermédiaire des densités apparentes initiales plus faibles pour les niveaux haut observées sur Qualiagro. En l'état actuel du modèle utilisé [COMPSOIL], les propriétés physiques et mécaniques des sols n'ayant pas été calibrées sur leur teneur en COS, les sols moins tassés (niveau haut COS) engendrent des tassements potentiels supérieurs. Pour le CC, les émissions des GES au champ sont comparables entre scenarii, les processus les plus impactants correspondent aux traitements de certains PROs en amont du champ. Pour l'eutrophisation, l'impact est amélioré par la substitution par les PROs, grâce à la diminution, entres autres, de la volatilisation de NH_3, mais la question de la gestion des émissions en amont du champ restent importante.

Ce travail permet de poser les bases pour affiner les doses et les associations potentielles de PROs fertilisant avec PROs amendants afin de gérer au mieux, agronomiquement et environnementalement, la substitution des engrais par les PROs. Il permet de soulever aussi la question de l'amélioration de la prise en compte des effets du COS dans les modèles de tassement. Enfin, l'évaluation plus précise des processus de traitements des PROs en amont du champ doit être investie.

Références bibliographiques

Corson MS (2012) ACV-SOL: développement des indicateurs de l'impact des activités agricoles sur la qualité des sols dans l'Analyse de cycle de vie. Rapport scientifique détaillé, prog GESSOL.

Dhaouadi AK (2014) Thèse de Doctorat : Insertion des Produits Résiduaires Organiques dans les systèmes de culture : Cas des systèmes céréaliers de la Plaine de Versailles et du Plateau des Alluets. Soutenue à Agroparistech.

COUPLAGE DE STICS AVEC UN MODELE D'ARCHITECTURE RACINAIRE, ARCHISIMPLE

Marie Launay[1], Dominique Ripoche[1], Loïc Pagès[2], Claude Bruchou[3], Ronan Maron[1], Adrien Garcia[1]

INRA, [1]AgroClim, [2]PSH, [3]BioSP, 84914 Avignon, France

Mots clés : Eléments traces métalliques, couplage, croissance racinaire, analyse de sensibilité.
Keywords : Soil trace elements, coupling, root growth, sensitivity analysis.

Contexte et objectifs

L'accumulation dans les plantes cultivées des contaminants traces métalliques (ETM) constitue une menace pour la chaîne alimentaire mais aussi une solution potentielle pour dépolluer certains sols. Pour gérer au mieux la qualité des récoltes ou la dépollution des sols, il faut considérer la chimie des contaminants dans les sols et la physiologie de la culture vis-à-vis de leur absorption racinaire et de leur répartition dans les organes végétaux. Le projet ANR SimTraces (Fig. 1) a pour objectif d'intégrer ces processus au sein d'un modèle simulant le transfert des contaminants métalliques du sol jusqu'aux organes végétaux récoltés en considérant l'environnement de la culture : pratiques agricoles, conditions météorologiques. Pour les opérateurs agricoles et environnementaux, ce simulateur permettra une évaluation des risques de non-conformité sanitaire d'une récolte et le test (virtuel) de scénarios de gestion des cultures permettant de garantir la qualité des produits ou d'optimiser l'extraction des contaminants (phytoextraction).

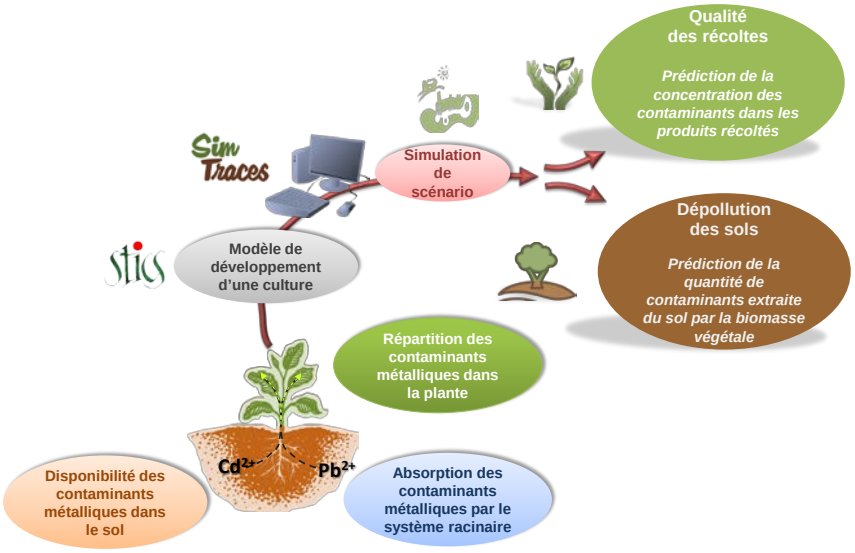


Figure 1 : SimTraces : de la modélisation des processus de transfert sol-organe végétaux des contaminants métalliques jusqu'à la simulation de la qualité des récoltes ou de la dépollution des sols par phytoextraction

Dans ce cadre, le modèle STICS a été couplé au modèle simple et générique ArchiSimple (Pagès et al., 2014) pouvant simuler différentes architectures racinaires dont celles des deux plantes modèles du projet : le tournesol (*Helianthus* annuus) et le tabouret calaminaire (*Noccaea* caerulescens). La chaîne de modélisation a été construite pour l'ETM Cadmium (Cd). ArchiSimple et STICS ont été simplement interfacés (sans rétroaction du Cd sur la croissance), en faisant l'hypothèse qu'un effet potentiel du Cd sur la croissance de la plante était improbable dans les contextes étudiés.

Méthodologie et résultats

L'interfaçage des 2 modèles a été réalisé via l'activation de formalismes récemment intégrés au modèle STICS (Brisson et al., 2008) et reposant sur l'hypothèse que c'est la croissance des parties aériennes qui pilote la croissance racinaire. Ainsi, STICS calcule à pas de temps journalier une biomasse totale produite par photosynthèse, selon une efficience modérée par les stress abiotiques. Cette biomasse est ensuite répartie entre organes aériens et racines, selon une fonction de répartition dépendant de l'âge de la plante (Fig. 2).

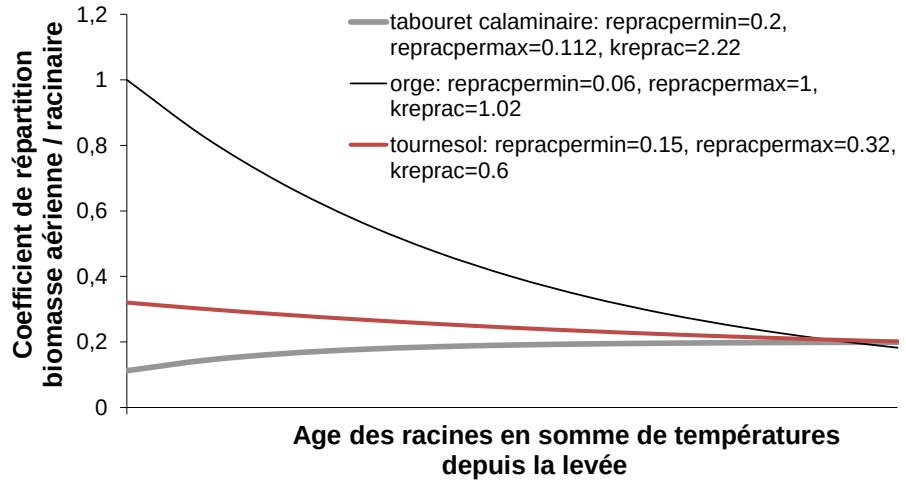


Figure 2 : Evolution dynamique du coefficient de répartition de la biomasse aérienne/racinaire, pour les deux espèces modèles du projet, le tabouret calaminaire et le tournesol (l'orge est présenté à titre comparatif)

Une analyse de sensibilité a permis d'identifier les deux paramètres de cette fonction les plus influents, déterminant la répartition initiale au début de la croissance racinaire (repracpermax) et la pente de la courbe (kreprac) (Fig.2). Ces paramètres ont été estimés pour le tournesol et le tabouret calaminaire, d'une part à l'aide d'expérimentations menées en conditions optimales de croissance (Pagès, com.pers.), d'autre part à l'aide de simulations d'ArchiSimple produisant des densités racinaires selon le déterminisme génétique de l'espèce. Le couplage a enfin été réalisé, le modèle STICS fournissant au modèle ArchiSimple une longueur racinaire totale calculée à partir de cette biomasse racinaire et d'un paramètre constant correspondant à une biomasse spécifique. ArchiSimple traduit cette longueur en profil de densité racinaire, dans un espace à 3 dimensions.

Conclusion

Le modèle couplé possède la double propriété de simuler une croissance racinaire sous contraintes environnementales, et une densité racinaire architecturée permettant à terme d'estimer de manière plus mécaniste l'absorption de cadmium par la plante. Ce modèle sera prochainement couplé à un modèle de biodisponibilité des ETM dans le sol.

Références bibliographiques

Brisson, N., Launay, M., Mary, B., Beaudoin, N., 2008. Conceptual Basis, Formalisations and Parameterization of the STICS Crop Model, p. 297.

Pagès, L., Bécel, C., Boukcim, H., Moreau, D., Nguyen, C., Voisin, A.-S., 2014. Calibration and evaluation of ArchiSimple, a simple model of root system architecture. Ecological Modelling. doi:10.1016/j.ecolmodel.2013.11.014.

SESSION 4 – Communications orales

Nouveaux formalismes et évaluation de STICS

Animateur : Françoise Ruget

AMELIORATION ET VALIDATION MULTI-SITES D'UNE VERSION DE RECHERCHE DU MODELE STICS POUR SIMULER SUR LE LONG TERME UNE CULTURE PERENNE : MISCANTHUS × GIGANTEUS

IMPROVEMENT AND MULTI-SITE VALIDATION OF A RESEARCH VERSION OF THE STICS SOIL-CROP MODEL TO SIMULATE ON THE LONG-TERM A PERENNIAL CROP: MISCANTHUS × GIGANTEUS

L. Strullu[1], F. Ferchaud[1], N. Beaudoin[1], N. Yates[3], I.G. de Cortàzar Atauri[2], I. Shield[3] et B. Mary[1]

[1]INRA UR1158 AgroImpact, Laon, France ; [2]INRA US1116 Agroclim, Avignon, France ; [3]Rothamsted Research, Harpenden, U.K.

Mots clefs: STICS, Miscanthus, validation multi-sites.
Keywords: STICS, Miscanthus, multi-site validation.

Introduction

La simulation à long terme de la production de biomasse et des impacts environnementaux de cultures pérennes conduit à s'intéresser aux rôles des organes souterrains comme réserves pérennes pour la plante et source de carbone pour le sol. La précédente version de recherche de STICS prenant en compte la remobilisation et la mise en réserve du carbone et de l'azote, paramétrée pour *M. giganteus* (Strullu *et al.*, 2014), ne permettait pas d'enchaîner les simulations ni de prédire le stock d'azote minéral du sol. Nous avons complété cette nouvelle version pour simuler de manière dynamique la production et le turnover des racines. Nous présentons ici la validation du modèle dans des pédoclimats variés.

Matériel et méthode

Concernant le système racinaire, le paramétrage du modèle a été réalisé à partir d'observations in situ sur les sites de Rothamsted (Riche and Christian, 2001) et d'Estrées-Mons (Ferchaud *et al.*, 2014), en 6^{ième} et 4^{ième} années de culture respectivement. Les performances du modèle ont ensuite été évaluées globalement dans une large gamme de pédoclimats sur des données indépendantes, excepté les données utilisées pour la calibration du système racinaire (Tableau 1). Les simulations sont réalisées de manière enchaînée à partir de l'implantation. La densité de départ a été fixée à la densité de plantes observée dans les cultures adultes et la quantité d'eau et d'azote minéral dans le sol initialisées grâces aux valeurs mesurées à l'implantation. La qualité des simulations a été quantifiée par les critères R^2, EF, RMSE, RMSEs et RMSEu (Tableau 2).

Site	T mean (°C)	Rainfall – PET (mm)	Global radiation (j cm^{-2})	SON (%)	SWCFC (mm)	Harvest	Fertilization	Irrigation	Number of years of simulations
Rothamsted (UK)	14.0	-115	276785	0.240	738	Feb	Yes / No	No	20
Marchais (FR)	15.4	-252	317394	0.092	115	Feb	Yes from year 3	No	5
Estrées-Mons (FR)	15.6	-260	324211	0.119	1059	Oct / Feb	Yes / No	No	7
Catenoy (FR)	15.7	-277	311933	0.158	259	Feb	No	No	7
Le Chesnoy (FR)	16.4	-316	322979	0.138	284	Feb	Yes year 5	Year 1	7
Le Subdray (FR)	17.1	-341	334638	0.203	212	Feb	Yes year 2, 3 and 5	Year 1	7
Saint Hilaire (FR)	16.0	-297	330642	0.124	361	Oct / Feb	Yes from year 2	No	6
Lusignan (FR)	16.2	-291	343620	0.104	633	Feb	Yes year 5	Yes / No	6
Montans (FR)	19.0	-397	355471	0.061	241	Feb	Yes from year 3	No	7
Bazièges (FR)	18.9	-488	362761	0.100	547	Feb	Yes from year 3	Yes / No	4

Tableau 1 : Présentation des différents sites. SON = teneur en azote organique du sol ; SWCFC= quantité d'eau dans le sol à la capacité au champ (mm).

Résultats et discussion

La biomasse aérienne mesurée varie de 0.2 à 37.5 t ha^{-1} et celle simulée de 0.5 à 37.9 t ha^{-1}. La quantité d'azote accumulée dans les organes aériens observée varie de 5.9 à 273.1 kg N ha^{-1} et celle simulée de 0.3 à 254.0 kg N ha^{-1} (Figure 1). A la récolte, le modèle surestime la biomasse produite de 1.7 t ha^{-1} en moyenne (Tableau 2) mais le R^2 et l'efficience du modèle sont bons. Les moyennes des données observées et simulées d'azote dans les parties aériennes sont très proches mais le R^2 et l'efficience du modèle assez faibles à cause d'une forte variabilité des données simulées par rapport aux données observées. Dans le sol,

la variation de la quantité d'eau est très bien reproduite par le modèle. Le stock d'azote minéral tend à être légèrement surestimé par le modèle mais le R^2 et l'efficience du modèle sont satisfaisants.
La surestimation du rendement par le modèle peut être expliquée par 1) une surestimation du rendement à Rothamsted de 2007 à 2012 à cause d'une carence en potassium non simulée, 2) des différences de procédures d'estimation du rendement entre sites, 3) une sous-estimation des pertes de rendements dans certains sites (chute des panicules non simulée) et certaines années (aléas climatiques). La forte variabilité des simulations de la quantité d'azote dans les organes aériens à la récolte par rapport aux données observées montre que des recherches sont nécessaires pour mieux simuler l'effet des facteurs environnementaux sur la remobilisation de l'azote pendant la sénescence des organes ariens.

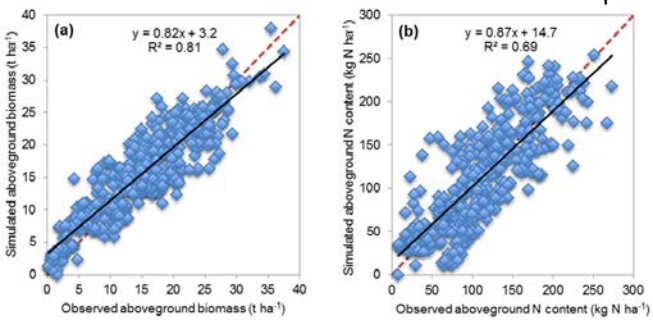


Figure 1: Relation entre les valeurs simulées et observées pour (a) la production de biomasse aérienne et (b) l'azote accumulé dans les organes aériens.

	N obs	*X* obs	*X* sim	R^2	EF	RMSE	pRMSEs	pRMSEu
Aboveground biomass (t ha^{-1})	478	15.1	15.6	0.81	0.80	3.4	0.17	0.83
Aboveground biomass N content (kg N ha^{-1})	365	113.5	112.9	0.69	0.64	35.0	0.04	0.96
Aboveground biomass at harvest (t ha^{-1})	129	14.4	16.1	0.68	0.57	3.5	0.29	0.71
Aboveground biomass N content at harvest (kg N ha^{-1})	103	68.2	68.8	0.47	0.26	30.8	0.06	0.94
Soil Water Content (mm)	115	284.4	291.9	0.97	0.96	28.7	0.13	0.87
Soil mineral N in 0-30 cm depth (kg N ha^{-1})	129	32.0	38.1	0.60	0.57	23.8	0.39	0.61
Soil mineral N content in the profile (kg N ha^{-1})	103	53.6	68.9	0.65	0.42	38.4	0.16	0.84

Tableau 2: Evaluation statistique du modèle. N obs : nombre de valeurs observées; X obs : moyenne des valeurs mesurées; X sim : moyenne des valeurs simulées; R^2 : coefficient de détermination de la régression linéaire; RMSE : erreur quadratique moyenne; pRMSEs : part de la variance attribuable à l'erreur systématique; pRMSEu : part de la variance attribuable à l'erreur non systématique; EF : efficience du modèle.

Conclusion

Le modèle a été utilisé comme outil cognitif de test d'hypothèse et les résultats montrent l'intérêt des formalismes proposés pour suivre les bilans C & N sur le long terme. Le modèle STICS pourra être utilisé pour prédire la production de biomasse et les impacts environnementaux (drainage et lixiviation du nitrate) d'une culture de *M. giganteus* sur le long terme et dans différents pédoclimats.

Remerciements

Nous remercions les différents contributeurs de la base de donnée utilisée pour le paramétrage et la validation du modèle : projet Lignoguide (CA Picardie, AgroTransfert RT, Arvalis, AXEREAL, CA Aisne, CA Loiret, CA Oise), CA Marne et l'unité INRA URP3F. Nous remercions Météo France pour les données météorologiques. Cette étude a été financée par le projet FP7 LogistEC (N°311858).

Références

Strullu L, Beaudoin N, Garcia de Cortàzar-Atauri I, Mary B (2014) Simulation of Biomass and Nitrogen Dynamics in Perennial Organs and Shoots of Miscanthus × Giganteus Using the STICS Model. Bioenergy Research, DOI 10.1007/s12155-014-9462-4.
Ferchaud F, Vitte G, Bornet F, Strullu L, Mary B (2014) Soil water uptake and root distribution of different perennial and annual bioenergy crops. Plant and Soil, DOI 10.1007/s11104-014-2335-y
Riche A, Christian DG (2001) Estimates of rhizome weight of Miscanthus with time and rooting depth compared to switchgrass. Aspects of Applied Biology 65 (Biomass and energy Crops II)

AMELIORATION D'UN MODELE DE COUVERT DE NEIGE ET SIMULATIONS MULTI-ANNUELLES AVEC STICS DANS LES CLIMATS NORDIQUES

IMPROVED SNOW-COVER MODEL FOR MULTI-ANNUAL SIMULATIONS WITH THE STICS CROP MODEL UNDER NORTHERN CLIMATES

Guillaume Jégo[1], Martin Chantigny[1], Elizabeth Pattey[2], Gilles Bélanger[1], Philippe Rochette[1], Anne Vanasse[3], Claudia Goyer[4]

[1]Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, 2560 Boulevard Hochelaga, Québec, QC G1V 2J3, Canada ; [2]Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherché de l'est sur les céréales et les oléagineux, 960 avenue Carling, Ottawa, ON K1A 0C6, Canada ; [3]Université Laval, Département de science végétale, 2425 rue De l'Agriculture, Québec, QC G1V 0A6, Canada ; [4]Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherches sur la pomme de terre, 850 rue Lincoln, Fredericton, NB E3B 4Z7, Canada

Mots clés : Précipitations hivernales, température du sol, humidité du sol, données climatiques, blé de printemps, maïs
Keywords : Winter precipitation, soil temperature, soil moisture, climatic data, spring wheat, corn

Introduction

L'impact du couvert de neige sur les cultures et les processus du sol n'est pas pris en compte dans la plupart des modèles agronomiques. Pourtant, la présence de neige a un effet important sur la survie hivernale des plantes pérennes et modifie également la dynamique des processus du sol. Plusieurs modèles de simulation du couvert de neige ont été développés au cours des dernières années (e.g. Trnka et al., 2010 ; Thorsen et al., 2010), mais le couplage avec un modèle de culture tel que STICS (Simulateur mulTIdisciplinaire pour les Cultures Standards; Brisson et al., 1998) n'a jamais été étudié en détail. L'objectif général de cette étude était d'améliorer et de développer des approches de modélisation permettant de simuler la température et l'humidité du sol d'une parcelle agricole dans les climats nordiques caractérisés par une courte saison de croissance (avril-octobre) et une longue période de couvert de neige (décembre-mars).

Matériel et méthodes

Tout d'abord, trois modèles de simulation du couvert de neige, issus de travaux précédents (Bélanger et al., 2002 ; Trnka et al., 2010 ; Thorsen et al., 2010), ont été calibrés à l'aide de hauteurs de neige mesurées au cours de trois hivers (2009 à 2011) sur deux parcelles expérimentales cultivées (maïs et blé de printemps) et labourées à l'automne situées à proximité de Québec (Canada). Ces modèles ont ensuite été validés sur 12 sites à travers le Canada.

Ensuite, le modèle donnant les meilleurs résultats a été couplé avec le modèle de culture STICS afin d'améliorer les simulations de température et d'humidité du sol sous couvert de neige. Le couplage a été réalisé via le prétraitement des données climatiques utilisées dans STICS comme proposé par Trnka et al. (2010). La température du sol et l'humidité du sol simulées à deux profondeurs (0-15 cm et 15-30 cm) ainsi que la biomasse aérienne de blé et maïs ont été comparées avec des mesures provenant de deux sites (Québec et Ottawa, trois années de données sur chaque site) lorsque STICS était utilisé avec ou sans prétraitement des données climatiques par le modèle de couvert de neige.

Résultats

Les trois modèles de couvert de neige évalués ont permis de bien simuler la hauteur du couvert de neige et le nombre de jours ayant un enneigement significatif (>10 cm) pour 9 des 12 sites étudiés (Jégo et al., 2014). Une calibration spécifique semble en revanche nécessaire pour la région de Montréal et le sud de l'Alberta. Globalement, le modèle proposé par Thorsen et al. (2010), et modifié selon certaines équations proposées par Bélanger et al. (2002), a donné des résultats légèrement meilleurs (efficience = 0.75) que les deux autres (efficiences comprises entre 0.49 et 0.71) et a donc été retenu pour tester le couplage avec le modèle STICS.

Le prétraitement des données climatiques avec le modèle de couvert de neige a permis d'améliorer nettement la performance de STICS pour simuler la température du sol lors de la saison hivernale (de novembre à avril). La performance du modèle pour simuler la température du sol était alors la même quelque soit la période de l'année (Root Mean Square Error [RMSE] = 2°C versus 4.5°C sans le modèle neige). La simulation de l'humidité du sol lors de la saison hivernale a également été quelque peu améliorée, mais la performance du modèle était meilleure dans la couche de sol de 15 à 30 cm (RMSE = 2.0 $\%_{vol}$ versus 2.7 $\%_{vol}$ sans le modèle neige) que dans la couche de 0 à 15 cm (RMSE = 3.5 $\%_{vol}$ versus 4.1 $\%_{vol}$ sans le modèle neige). La biomasse simulée (maïs et blé) n'a pas été affectée par l'utilisation du modèle de couvert de neige et était satisfaisante sur les deux sites (RMSE = 1.1 t ha^{-1}).

Conclusion

La simulation du couvert de neige, de l'humidité du sol et de la température du sol était une première étape nécessaire avant de pouvoir simuler des processus de sols plus complexes (drainage, lixiviation, minéralisation, dénitrification) durant la saison hivernale. Il s'agissait également d'une étape importante pour pouvoir simuler les cultures d'hiver et les cultures pérennes dont la survie à l'hiver dépend beaucoup de l'épaisseur du couvert de neige. Le modèle neige sera prochainement intégré dans la version modulaire de STICS.

Références bibliographiques

Bélanger, G., Rochette, P., Castonguay, Y., Bootsma, A., Mongrain, D., Ryan, D.A.J., 2002. Climate change and winter survival of perennial forage crops in Eastern Canada. Agron. J. 94, 1120-1130.

Brisson, N., Mary, B., Ripoche, D., Jeuffroy, M.H., Ruget, F., Nicoullaud, B., Gate, P., Devienne-Barret, F., Antonioletti, R., Durr, C., Richard, G., Beaudoin, N., Recous, S., Tayot, X., Plenet, D., Cellier, P., Machet, J.M., Meynard, J.M., Delécolle, R., 1998. STICS: A generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. Agronomie 18, 311-346.

Jégo, G., Chantigny, M., Pattey, E., Bélanger, G., Rochette, P., Vanasse, A., Goyer, C., 2014. Improved snow-cover model for multi-annual simulations with the STICS crop model under cold, humid continental climates. Agric. For. Meteorol. 195-196, 38-51.

Thorsen, S.M., Roer, A.G., van Oijen, M., 2010. Modelling the dynamics of snow cover, soil frost and surface ice in Norwegian grasslands. Polar Res. 29, 110-126.

Trnka, M., Kocmánková, E., Balek, J., Eitzinger, J., Ruget, F., Formayer, H., Hlavinka, P., Schaumberger, A., Horáková, V., Možný, M., Žalud, Z., 2010. Simple snow cover model for agrometeorological applications. Agric. For. Meteorol. 150, 1115-1127.

UTILISATION DU MODELE STICS POUR QUANTIFIER LA VITESSE POTENTIELLE DE MINERALISATION DE L'AZOTE ORGANIQUE DU SOL SUR LE RESEAU REGIONAL "MH"

USE OF THE STICS MODEL TO ESTIMATE THE POTENTIAL MINERALIZATION RATE OF SOIL ORGANIC MATTER NITROGEN ON THE REGIONAL NETWORK "MH"

Laure Beff[1], Yvon Lambert[2], Nicolas Beaudoin[3], Bruno Mary[3] et Thierry Morvan[1]

[1] INRA, UMR1069, Soil Agro and hydroSystem, Rennes, France; [2] Chambre d'agriculture de Bretagne, France ; [3] INRA, UR1158, Agro-Impact, site de Laon, France

Mots clés : STICS, azote, minéralisation, sol, histoire culturale, climat, modèle opérationnel, Bretagne
Keywords: STICS, nitrogen, mineralization, soil, crop history, weather, modeling, Brittany

Introduction

La qualité de prévision de la minéralisation de l'azote de la matière organique (**MO**) du sol représente un enjeu agronomique, économique et environnemental important. La minéralisation de l'azote de la MO humifiée du sol (**Mh)** est la composante la plus importante de la minéralisation nette **Mn**, comparativement aux autres composantes (minéralisation des résidus de culture, des apports récents d'effluents, etc.). Actuellement, l'approche adoptée au niveau national (Comifer, 2011) pour prédire **Mh** repose sur un modèle qui intègre l'effet de trois facteurs : le climat, les caractéristiques des sols et l'histoire culturale. Toutefois, l'évaluation du paramétrage actuel de ce modèle met en évidence la mauvaise qualité des prédictions pour les sols de l'Ouest de la France.

Dans ce contexte, la Chambre Régionale d'agriculture de Bretagne (CRAB) et l'INRA ont mis en place depuis 2010 un réseau de parcelles nommé "*réseau Mh*". Celui-ci a pour objectifs (i) de constituer un référentiel sur la minéralisation de l'azote (**N**) des matières organiques humifiées des sols de l'Ouest, et (ii) d'identifier les facteurs explicatifs de la variabilité des flux mesurés. L'utilisation d'un modèle comme STICS est nécessaire à l'analyse des données, pour (i) estimer des flux difficiles à mesurer sur un réseau de parcelles (lixiviation) et (ii) quantifier la contribution de la composante climatique à la minéralisation (calcul du temps normalisé).

Matériel et méthodes

Le "*réseau Mh*" est constitué de 137 parcelles réparties sur l'ensemble de la Bretagne et cultivées pendant 5 années consécutives (2010 à 2014) par un maïs non fertilisé en N, sans apport de produits organiques et laissé nu pendant l'hiver. La minéralisation nette, **Mn**, a été estimée par la mesure annuelle du bilan d'azote minéral réalisé entre mars et octobre, intégrant la lixiviation postérieure à l'ouverture du bilan calculée par STICS. Les données utilisées pour estimer **Mh** sont celles des 3 dernières années de mesure (2012, 2013 et 2014), pour lesquelles on peut considérer que **Mn** résulte pour l'essentiel de la minéralisation des MO humifiées du sol.

Le réseau a été conçu pour être représentatif de la diversité pédologique des sols bretons, et pour intégrer la diversité des successions culturales et des histoires organiques (types de produits organiques et fréquences d'apport) de la région. Un indicateur, **I_Sys**, a été calculé à partir du niveau de restitution de N par les cultures et des apports de N par les effluents, à partir de l'information collectée sur les 15 années précédant le début de l'expérience.

STICS (Java Stics Modulo v1.2) est utilisé pour convertir les jours calendaires en jours normalisés (**Jn**) à partir de l'humidité et de la température de la couche de sol minéralisante (0-30 cm). Les données sol nécessaires au paramétrage du modèle ont été acquises sur la totalité des parcelles. Les humidités à capacité au champ des sols ont été estimées à la parcelle à partir des données de reliquats N faites en sortie d'hiver. Un suivi bi-mensuel de l'humidité du sol sur 19 parcelles du réseau a également été réalisé en 2013 et 2014 pour évaluer l'aptitude du modèle à prédire l'évolution de l'humidité du sol, et affiner si nécessaire le paramétrage du modèle.

Résultats

Le paramétrage sol de STICS, à partir des propriétés du sol mesurées sur les parcelles du "*réseau Mh*", permet de simuler correctement la dynamique de l'eau dans les 2 premiers horizons (Hz1 et Hz2) de sol (exemple pour une parcelle à la Figure 1). Cette validation de STICS pour prédire l'humidité du sol est essentielle lorsque l'on souhaite prédire **Jn**, qui est fonction de l'humidité du sol de la couche minéralisante, i.e. Hz1.

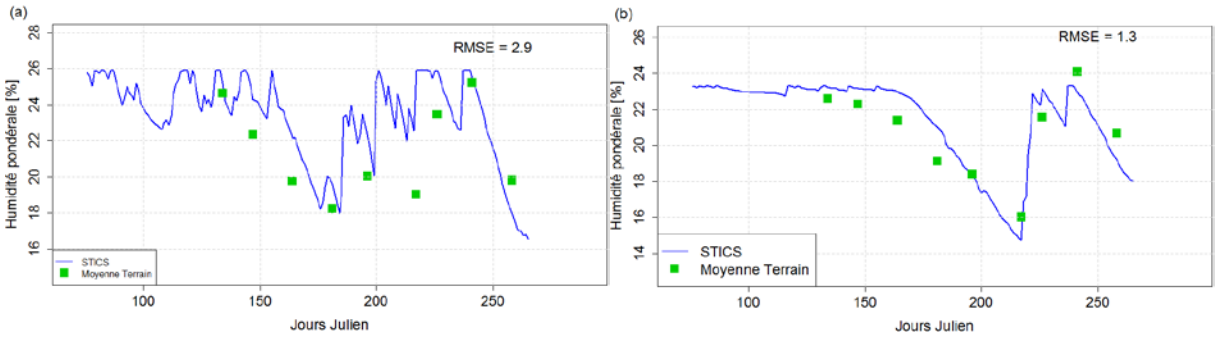


Figure 1 : Evolution de l'humidité du sol prédite par STICS et mesurée sur 1 des 19 parcelles suivies pour Hz1 (a) et Hz2 (b)

On observe, de 2012 à 2014, une variabilité de **Jn** allant de 121 à 217. Cette variabilité est représentative du *climat* observé pendant ces 3 années. La variabilité du climat à l'échelle de l'année est bien mise en évidence par l'effet très hautement significatif du facteur "*département*" ($p = 1.9 .10^{-6}$). Cela se traduit par des **Jn** plus élevés en Ille et Vilaine. D'autre part, l'ANOVA réalisée sur le facteur "*année*" met en évidence un effet hautement significatif ($p = 0.008$) de ce facteur sur **Jn**. La forte variabilité de **Jn** à l'échelle (spatiale et temporelle) du réseau impacte de façon importante la valeur de **Vp**.

Vp varie de 2012 à 2014 entre 0.42 et 1.82 $kgN.ha^{-1}.Jn^{-1}$, avec une moyenne de 0.9 $kgN.ha^{-1}.Jn^{-1}$. Cette valeur moyenne est très proche de celle obtenue par Valé (2006) pour les parcelles du nord de la France (0.89 $kgN.ha^{-1}.Jn^{-1}$). Une analyse de variance appliquée aux Vp de 2012 montre un effet significatif du type de sol ($p = 0.025$) et un effet très hautement significatif de **I_Sys** ($p = 0.0007$). Cette analyse confirme le formalisme de modèle proposé par Comifer (2011). L'ensemble des mesures acquises dans le cadre du "*réseau Mh*" seront mobilisées pour déterminer le paramétrage le plus adapté pour expliquer la variabilité de **Vp**.

Références bibliographiques

Comifer 2011 : Calcul de la fertilisation azotée, Comifer, Edition 2011, 92p.
Valé 2006 : Quantification et prédiction de la minéralisation nette de l'azote du sol, Thèse INP Toulouse, 182p

Le projet de recherche-développement Mh s'inscrit dans le cadre de la reconquête de la qualité de l'eau en Bretagne. Il est financé à hauteur de 1.02 M Euros par 5 partenaires du programme régional Grand Programme 5 : l'Agence de l'Eau Loire Bretagne, le Conseil Régional de Bretagne et les Conseils Généraux du Finistère, des Côtes d'Armor et du Morbihan.

SIMULATION DU DEVENIR DES PESTICIDES DANS LES SOLS A L'AIDE DU MODULE PESTICS : APPLICATIONS ET FUTURS DEVELOPPEMENTS

PESTICIDE FATE MODELLING IN SOILS WITH THE MODULE PESTICS : APPLICATIONS AND FUTURE DEVELOPMENTS

Wilfried Queyrel[1,2], Florence Habets[1], Hélène Blanchoud[1], Marie Launay[3], Dominique Ripoche[3]

[1] UMR Métis, UPMC/ CNRS/ EPHE, Paris, France ; [2] AgrosSup Dijon/ UMR Agroecologie, Dijon, France ; [3] INRA US 1116 Agroclim, Avignon, France

Mots clés : pesticide, transfert, modèle agronomique
Keywords : pesticide, transfer, crop model

Introduction

L'approche par modélisation est considérée pertinente pour étudier le devenir des pesticides de l'échelle de la parcelle au bassin versant. La représentation très simplifiée de la composante agronomique dans les modèles de transfert de pesticides existants, ne permet pas de représenter de manière raffinée l'impact des pratiques culturales sur le devenir des matières actives. Ce constat a motivé le développement d'un module de transfert de pesticides, PeStics, couplé à STICS (Queyrel, 2014).
L'objectif est de présenter les différentes applications effectuées avec la version STICS couplée avec PeStics et les futurs développements pour intégrer au mieux l'effet des pratiques agricoles sur le devenir des pesticides.

Evaluation à court terme du module

Dans une première phase, une évaluation à court terme (inférieur à 2 ans) de la version de STICS couplée à PeStics a été effectuée pour trois herbicides : la bentazone, l'atrazine et l'isoproturon. Les simulations ont été confrontées à différents jeux de données observées issus de mesures provenant de lysimètres ou de parcelles dans différents contextes agro-pédo-climatiques. Les résultats mettent en évidence la capacité du modèle à représenter les évolutions observées sur les différents sites Fig. 1. Cette évaluation a été complétée par une série de tests de sensibilité afin de déterminer la précision nécessaire pour les paramètres d'entrée du modèle.

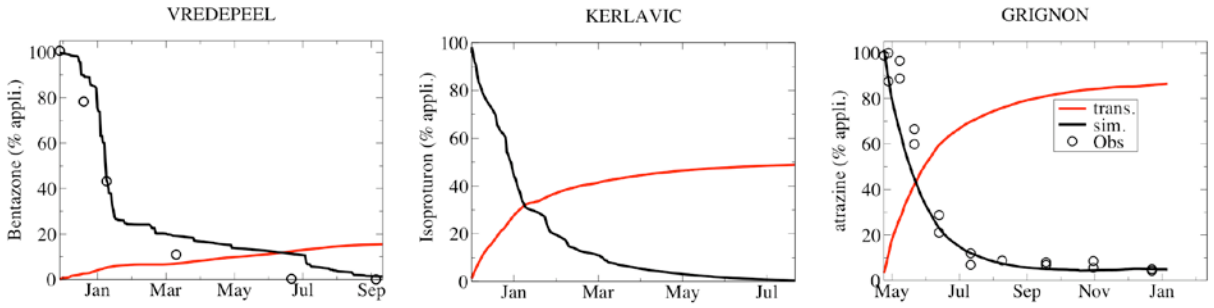


Fig. 1 Evolution du stock de pesticide restant dans les 30 premiers cm de sol, simulé et observé sur trois sites expérimentaux Vredepeel (Pays-Bas), Kerlavic (Bretagne), Grignon (Ile-de-France) ; sim : simulé ; trans : fraction transformée simulée par le modèle ; obs : observation

Evaluation sur le long terme du module

Dans une seconde phase, des simulations du devenir des pesticides dans les sols sur le long terme (23 ans) à l'échelle d'un bassin versant ont été effectuées pour 5 herbicides (l'atrazine, la simazine, l'isoproturon, le chlortoluron, le métolachlore) et un métabolite (la DEA). Le modèle couplé STICS + PeStics a été appliqué pour deux cultures le blé et le maïs, à partir de pratiques agricoles issues de la base de données APOCA

(Agricultural Practices of the Orgeval Catchment Area) (Nicola et al., 2011). Les résultats ont permis de mettre en évidence la nécessité de prendre en considération la dynamique des stocks restants dans les sols pour comprendre le transfert des pesticides sur le long-terme. En effet, une attention particulière doit être portée sur les paramètres qui influencent la rétention et la disponibilité des molécules à la lixiviation (Tab. 1).

Paramètre d'entrée	Lixiviation(%)	Dégradation (%)	Stock non dégradé (%)
DT 50 × 2	752.4	-0.80	1113.1
DT 50 ÷ 2	-91.2	0.01	-92.4
Koc × 2	-80.5	-0.1	-56.8
Koc ÷ 2	206.2	-0.2	91.1
Sol 1	2155.4	-2.0	-100.0
Sol 2	-85.9	0.05	-2.25
Avec stock initial	5.65	2.39	1.41

Tab. 1 Sensibilité du modèle aux paramètres associés aux pesticides et propriétés hydriques sur le long terme (23 ans) : exemple de l'atrazine ; Les résultats sont exprimés en % de variation par rapport à une simulation de référence.

Une notice d'utilisation a été rédigée ainsi que différentes recommandations d'utilisation du module. Par ailleurs, une harmonisation du code du module a été réalisée en vue de l'intégration du module dans la version standard de STICS. De futurs développements sont envisagés afin d'intégrer de manière plus raffinée l'influence de la culture et des pratiques culturales sur le devenir des pesticides. L'intégration dans le module de l'effet de la variation du pool de matière organique dans les sols sur l'adsorption des matières actives est en cours. Il pourra donner suite à une évaluation du devenir des pesticides sur le long terme à partir de différentes modalités d'apports organiques et de gestion des successions culturales (cipan). Par la suite, l'intégration dans le module de l'effet des travaux du sol sur la dissipation des matières actives est envisagée. Enfin, l'influence de la culture pourra être associée au module par l'intermédiaire d'un formalisme d'adsorption racinaire des matières actives par la plante.

Références bibliographiques

Nicola L., C. Schott, and C. Mignolet. 2011. Dynamique De Changement Des Pratiques Agricoles Dans Le Bassin Versant De l'Orgeval Et Création De La Base De Données APOCA (Agricultural Practices of the Orgeval Catchment Area). Rapport PIREN Seine, 49p.

Queyrel, W., 2014 - Modélisation du devenir des pesticides dans les sols à partir d'un modèle agronomique : évaluation sur le long terme, PhD. Thesis, Paris: Pierre et Marie Curie University, pp 284

ANALYSE DE SENSIBILITE DES FONCTIONS DE REPONSE A LA TEMPERATURE DANS STICS-PRAIRIE

ANALYSIS OF SENSIBILITY OF TEMPERATURE RESPONSE FUNCTION IN STICS-GRASSLAND

S. Zaka[1], S. Buis[2], F. Ruget[2], J.-L. Durand[1], G. Louarn[1]

[1]INRA, UR4 P3F, Le Chêne – BP6, F-86600 Lusignan, France ; [2]INRA, UMR 1114 EMMAH, F-84914 Avignon, France

Mots clés : Analyse de sensibilité, température, changement climatique
Keywords: Sensitivity analysis, temperature, climate change

Introduction

La température est l'un des facteurs les plus affectés par le changement climatique. Elle est une variable d'entrée majeure des modèles de culture en général, et de STICS en particulier. Elle affecte de nombreux processus biologiques en tant que variable pilote à effet instantané (croissance foliaire, racinaire etc.) ou cumulatif (émergence, phénologie etc.), et détermine aussi dans une certaine gamme un stress thermique (photosynthèse, fixation azotée etc.). L'augmentation future des températures pourrait modifier les paramètres les plus sensibles du modèle, voir nécessiter d'adapter les formalismes pour les représenter. Ceci est notamment vrai pour les espèces herbacées pérennes qui sont confrontées à une large gamme de températures au cours de leur cycle.

Matériels et Méthodes

L'analyse de sensibilité a été conduite sur la base des fichiers plantes de graminées et légumineuses pérennes (Fétuque et Luzerne) pour lesquels STICS avait préalablement été validé. Les paramètres de 3 fonctions représentant le développement (TDMIN, TDMAX, TCXSTOP), la croissance foliaire (TCMIN, TCMAX, TCXSTOP) et le stress thermique pour la croissance en biomasse (TEMIN, TEOPT, TEOPTBIS) ont été considérés. Un jeu de données climatiques de 25 années (Lusignan 1975 à 2000) a servi de base climatique pour cette analyse. Une augmentation ou diminution artificielle de la température a été effectuée pour chaque série (-4°C, -+2°C, +4°C, +6°C) afin de générer des climats plus contrastés. Leurs effets sur les variables de sorties (SOMCOUR, LAI, MASEC, INN, représentant respectivement le cumul de temps thermique, l'indice foliaire, la biomasse sèche aérienne et le statut azoté de la culture) a été analysé en deux étapes :

- tout d'abord une analyse a été réalisée fonction par fonction, pour chaque paramètre pris séparément en faisant varier de façon régulière sa valeur grâce à des multi-simulations sous MatLab.
- puis, dans un second temps une analyse de sensibilité du modèle complet a été réalisée au moyen de l'outil SENSILIB disponible sous MatLab (Buis et al. 2011).

Résultats et Discussions

Quels que soit le climat et la fonction de réponse considérée, les paramètres correspondants aux températures minimales (TDMIN, TEMIN et TCMIN) apparaissent les plus sensibles dans le modèle. De faibles variations de ces paramètres ont un fort impact sur SOMCOUR (figure 1), MASEC et LAI respectivement. Pour des climats plus chauds, la sensibilité de TDMIN et TCMIN s'accroît fortement lors des saisons froides tout en restant inchangée lors des saisons chaudes. Dans le cas de TEMIN, la sensibilité a, au contraire, tendance à diminuer pour des climats plus chauds. La fréquence de jour « non-stressant » augmente (moins de jours de stress froid et pas encore de stress chauds dans la gamme de valeurs testée).

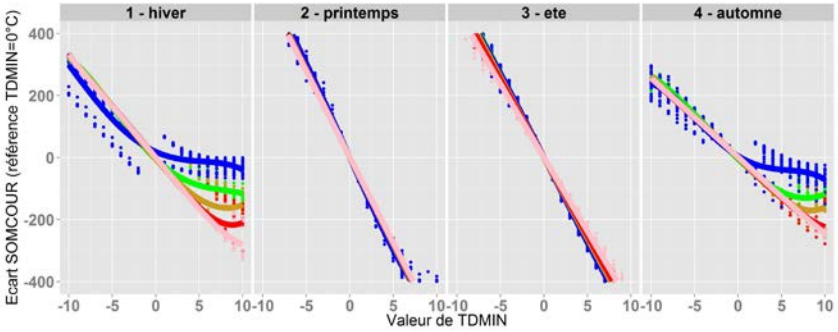


Figure 1 – Exemple d'effets de la modification des paramètres TDMIN sur SOMCOUR pour le fichier fétuque (climat actuel en vert, -4°C en bleu, +2°C en orange, +4°C en rouge et +6°C en rose).

Si pour les climats actuels les impacts des optimums (TDMAX et TCMAX) paraissent limités, ces paramètres pourraient prendre plus d'importance dans des climats plus chauds au travers d'une hausse relative de la sensibilité à ces paramètres lors de la saison estivale (figure 2). L'importance du paramètre de température maximale du développement (TCXSTOP) reste relativement négligeable dans la gamme testée. Aucune réelle évolution de sensibilité n'a été observée pour TEOPT et TEOPTBIS.

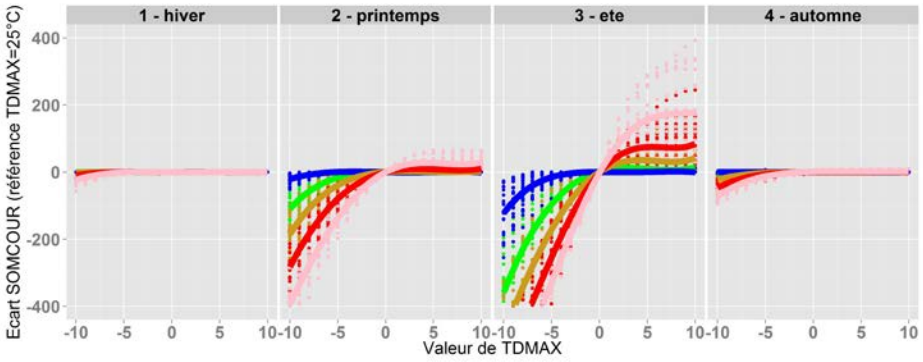


Figure 2 – Exemple d'effets de la modification des paramètres TDMAX sur SOMCOUR pour le fichier fétuque (climat actuel en vert, -4°C en bleu, +2°C en orange, +4°C en rouge et +6°C en rose).

L'analyse intégrée révèle des contributions variables des différents paramètres à la variation des sorties étudiées (L.A.I. et MASEC notamment) selon les saisons et les scénarios climatiques, en cohérence avec les résultats précédents. Peu de différences ressortent en revanche des analyses effectuées sur luzerne et fétuque.

Conclusion

Cette étude révèle l'importance de bien préciser les paramètres des fonctions de réponse à la température, notamment pour les applications de projections dans des climats futurs. L'étude se poursuit actuellement par l'analyse de la sensibilité du modèle à des changements de formalismes de ces réponses à la température.

Références bibliographiques

Buis, S., D. Wallach, S. Guillaume, H. Varella, P. Lecharpentier, M. Launay, M. Guérif, J.-E. Bergez, et E. Justes. 2011. « The STICS Crop Model and Associated Software for Analysis, Parameterization, and Evaluation ». Methods of Introducing System Models into Agricultural Research advancesinagric (methodsofintrod): 395‑426.

AQYIELD PEUT-IL RIVALISER AVEC STICS POUR SIMULER LA DYNAMIQUE HYDRIQUE ET LE RENDEMENT DE 3 CULTURES DE PRINTEMPS SOUS CONTRAINTES HYDRIQUES ?

IS AQYIELD AS GOOD AS STICS TO SIMULATE WATER DYNAMICS IN SOIL AND YIELD OF 3 SPRING CROPS UNDER WATER STRESS?

Magali Willaume[1, 2], Julie Constantin[1, 2], Olivier Therond[1, 2]

[1] Université de Toulouse, INP Toulouse, UMR AGIR 1248, F-31326 Castanet Tolosan, France ;
[2] INRA, UMR AGIR 1248, F-31326 Castanet Tolosan, France

Mots clés: bilan hydrique, irrigation, maïs, sorgho, tournesol
Keywords: water balance, irrigation, maize, sorghum, sunflower

Introduction

Dans un contexte de diminution de la disponibilité en eau pour les systèmes de grande culture (sécheresse, Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques, changement climatique), l'utilisation de modèles peut être intéressante pour explorer les performances d'alternatives. Pour être utilisable sur de larges étendues ou autres contextes où l'information est peu disponible, les modèles doivent rester performants avec des données d'entrée limitées et sans processus de calibration dédié. Est-il alors plus pertinent d'utiliser un modèle complexe (STICS) en faisant plusieurs hypothèses simplificatrices sur les entrées, ou choisir un modèle simplifié (AqYield) dont les entrées seront plus facilement accessibles ? Pour répondre à cette question nous avons comparé les simulations de ces 2 modèles en termes de rendement de cultures de printemps et dynamique hydrique sous diverses contraintes.

Présentation du modèle AqYield

Le modèle AqYield (Constantin, Willaume et al., in revision) est un modèle sol-plante piloté par des données climatiques journalières (pluie, ETP, Température). Il simule le bilan hydrique journalier en prenant en compte les pratiques de semis et récolte, de travail du sol et d'irrigation ainsi que le choix variétal. Le sol est représenté par un modèle à réservoir avec des compartiments emboités (superficiel; horizon exploré par les racines, profondeur du sol). Le développement de la culture est fonction de la somme de température et du stress hydrique. La culture est représentée uniquement par un coefficient cultural et une profondeur d'enracinement, sans simulation de biomasse. Le calcul d'un indicateur de stress hydrique cumulé sur le cycle de culture permet, grâce à une fonction de production, d'estimer le rendement de la culture à la récolte.

Données d'entrée des 2 modèles

Table 1 : *Comparaison des nombres et modes d'obtention des données d'entrée nécessaires à l'utilisation des modèles STICS et AqYield dans notre étude.*

	AqYield				**STICS**			
	Mesuré	Estimé	Calculé	Négligé	Mesuré	Estimé	Calculé	Négligé
Climat	2	-	1	-	3	-	1	1
Sol	3	1		1	5	4	3	16
Initialisation		1			-	2		
Culture	-	2	-	-	-	1	-	-
Pratiques	3	1	-	-	3	2	-	1
Total	***8***	***5***	***1***	***1***	***11***	***9***	***4***	***18***

Aucun des modèles n'a été calibré spécifiquement, les simulations ont été lancées au 1er janvier avec des hypothèses d'initialisation simplificatrices communes (table 1).

Présentation des données expérimentales

Les simulations des 2 modèles ont été comparées à des données expérimentales de rendements et de teneur en eau du sol relevés à différents moments du cycle cultural sur 68 situations : 4 sites du sud-ouest de la France (Auzeville, Gaillac, La Mirandette, Bouillac) pour 3 cultures de printemps (maïs, sorgho, tournesol) sous différents régimes d'irrigation (pas d'irrigation, irrigation +/- modérée, irrigation au potentiel).

Résultats

Les 2 modèles sont satisfaisants pour simuler les effets culture, site et niveaux d'irrigation (figure 1), mais pas pour reproduire la variabilité interannuelle des rendements (données non présentées). Pour les 2 modèles, les performances sont meilleures sur maïs que sorgho et tournesol.

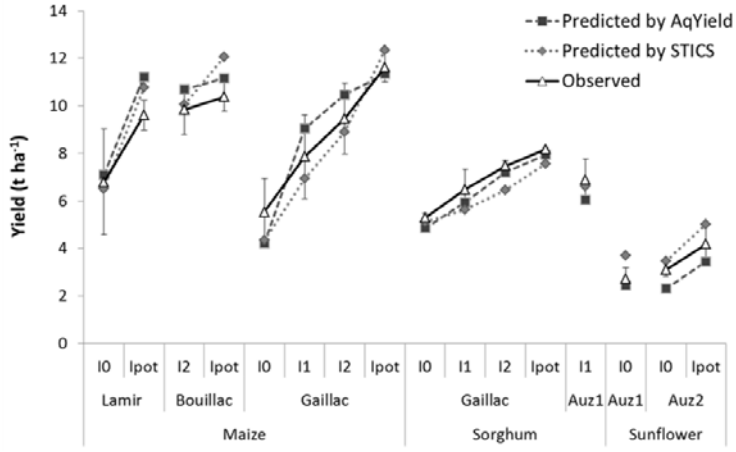
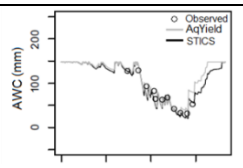
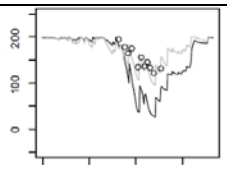
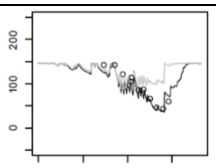
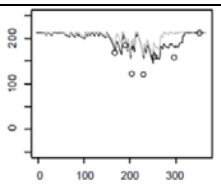


Figure 1 : *Moyennes interannuelles des rendements observés (±e.t) et simulés par culture, site et niveaux d'irrigation (Lamir signifie La Mirandette, I pot irrigation au potentiel, I0 pas d'irrigation, I1 irrigation intermédiaire faible, I2 irrigation intermédiaire forte).*

Issue de Constantin, Willaume et al. (in revision)

Les deux modèles permettent également une simulation satisfaisante de la teneur en eau du sol dans la majorité des 68 situations (table 2). Cependant, AqYield surestime la teneur en eau du sol sous tournesol dans les situations sèches, alors que STICS la sous-estime dans les mêmes conditions.

Table 2 *Evaluation par expertise du nombre de situations pour lesquelles la dynamique observée de l'eau dans le sol est bien simulée par les 2 modèles, par l'un des 2 ou par aucun des 2.*

	nb	Les 2	AqYield	STICS	Aucun
					
Toutes	68	37	13	13	3
Maïs	28	16	1	8	2
Sorgho	15	10	5	0	0
Tournesol	25	11	7	5	1

Des performances équivalentes, mais STICS reste plus polyvalent

AqYield a donc des performances comparables à STICS pour simuler la dynamique hydrique et le rendement de ces cultures de printemps. Plus simple et moins demandeur de données d'entrées, il pourra être privilégié pour des études portant spécifiquement sur des enjeux de gestion quantitative de l'eau et de production. Toutefois, le nombre de processus simulés par STICS est bien supérieur, donnant l'avantage à STICS dans les cas où des enjeux multiples (nitrate, GES, …) sont à évaluer.

Références bibliographiques

Constantin, J., Willaume, M., Murgue, C., Lacroix, B., Therond, O., n.d. The soil-crop models STICS and AqYield predict yield and soil water content for irrigated crops equally well with limited data. Agric. For. Meteorol. in revision.

SESSION 4 - Posters

Nouveaux formalismes et évaluation de STICS

Animateur : Françoise Ruget

CREATION DE IDE-STICS (BASE DE DONNEES INTERCONTINENTALE POUR L'EVALUATION DE STICS)

CREATION OF IDE-STICS (INTERCONTINENTAL DATABASE FOR EVALUATION OF STICS MODEL)

Beaudoin N[1]., Armas-Herrera C.M[1]., Le Bas C.[2], Buis S.[3], Garcia de Cortazar-Atauri I.[4], Ruget F.[3], Ripoche D.[4], Launay M.[4].

[1] UR1158 INRA AgroImpact, Barenton-Bugny, France. [2] US1106 Infosol, INRA, Orléans, France; [3] UMR114 EMMAH, INRA, Avignon, France; [4] INRA, US Agroclim, Avignon, France

Mots clés : système de culture, ensemble de données expérimentales, performance du modèle, production agricole, impact environnemental

Keywords: cropping system, Experimental dataset, model performance, crop production, environmental impact

Introduction

La capacité de STICS à traiter un large éventail de conditions pédo-climatiques a été démontré récemment en France du point de vue de sa robustesse, de sa généralité et de son opérationnalité (Coucheney et al., 2015). Le prochain défi consiste à tester cette nouvelle version à l'échelle internationale afin de contribuer à une adaptation plus large et l'adoption de STICS sur la scène internationale. Par conséquent, la prochaine étape de l'équipe projet STICS (EPS) est d'améliorer et d'étendre la base de données consacrée à l'étalonnage et au test du modèle sol-culture STICS à l'échelle globale, en intégrant une forte variabilité des climats, des sols et des systèmes de culture. Afin d'atteindre cet objectif, l'EPS entend mobiliser des projets et collaborations existantes pour partager / incorporer de nouveaux ensembles de données. La base de données intercontinentale pour l'évaluation de STICS (IDE-STICS) sera construite et utilisée pour tester régulièrement la version 8 de STICS et les versions suivantes du point de vue de la productivité des cultures et de l'environnement. Nous présentons ici le cahier des charges de cette base de données.

Méthodologie

Les jeux de données seront sélectionnés selon la représentativité des conditions techno-pédo-climatiques et selon le panel de variables observées permettant l'évaluation du modèle. D'abord, chaque jeu de données doit avoir été publié (obligatoire) et la priorité sera donnée à ceux où STICS a déjà été appliqué. Puis, les jeux de données seront qualifiés par un label de qualité, pour chaque variable d'entrée / sortie. Les collaborateurs seront invités à envoyer la liste des données disponibles, ainsi que la liste des auteurs concernés. Les modules de STICS seront testés, au niveau de la productivité des cultures et de l'environnement, compte tenu des principaux thèmes suivants :

Écophysiologie : phénologie, croissance des pousses, rendement
Systèmes de culture : par exemple, intercalaires vs. monoculture
Bilan d'eau : évaporation, besoins en eau des cultures, transpiration des plantes et stress
Bilan d'azote (N) : lixiviation de N, absorption de N, émissions de N_2O, nitrification / dénitrification
Turnover de la matière organique du sol (MOS) : minéralisation des résidus organiques et MOS

Une liste de métadonnées devra être fournie par chaque équipe en utilisant une procédure standard, afin de préciser les paramètres locaux du modèle d'une façon standardisée et fiable. Les métadonnées comprendront les informations suivantes :

Identification des unités de simulation (usms): nom de l'expérimentation, traitement ou parcelle, numéro de répétition ou moyenne, espèce(s), année de récolte ;
Plan d'expérience : objet observé (terrain agricole ou microparcelle-expérience ou lysimètre), système de culture, but expérimental, liste des traitements, nombre de répétitions et d'échantillons de culture et de sol par répétition, durée de l'expérience, type de modélisation.
Caractéristiques générales du site expérimental : coordonnées (degrés), altitude (m), type de climat (selon la typologie proposée), précipitation annuelle moyenne totale (mm), température annuelle moyenne (°C), relief / topographie, pente (%), exposition ;
Caractéristiques du sol du site expérimental : type de sol (World Reference Base for Soil Resources 2014 de préférence), type et profondeur du matériau parental, érosion, colluvions, profondeur des eaux souterraines (m), hydromorphie, description des horizons (1-5) (Guidelines for soil description, FAO 2006; sinon, indication de la méthode utilisée), méthodes d'analyse de pH, de carbone et de CEC
Origine des variables d'entrée « sol » de STICS : q0, albedo, obstarac, ruisolnu, infil, Vpotdenit (mesurée, calibrée, estimée par fonctions de pédotransfert) ;
Emplacement de la station climatique : (i) si toutes les variables sont mesurées à la même station : coordonnées (degrés), altitude (m) / (ii) si non : distance (km) pour les précipitations, rayonnement et humidité de l'air ; distance et altitude pour la température, distance et direction cardinale pour la vitesse du vent, méthode de mesure pour l'évapotranspiration potentielle / interpolation des données climatiques
Données complémentaires des cultures : variété, culture précédente, âge de plantation si culture pérenne ; fertilisation NPK, irrigation, contrôle des parasites et mauvaises herbes, mesure de rendement.
Métadonnées sur les fichiers de sortie fournis : humidité du sol (gravimétrie ou TDR ou sonde à neutron), lixiviation (lysimètre, bougies poreuses + module de drainage), méthode d'enregistrement de la phénologie, estimation du LAI et du rendement
Liste des auteurs, références des publications des données et de test de modèles (nom, version).

Les termes de la collaboration sont formalisés dans une charte signée par les partenaires. En échange de la fourniture des données et métadonnées, l'équipe STICS partagera son expérience sur le modèle et sur la valeur ajoutée par son application au jeu de donnée. Elle fournira aussi les fichiers des entrées et des sorties de la nouvelle version testée. L'équipe proposera à chaque expérimentateur responsable d'un jeu de données, d'être co-auteur dans l'une des publications découlant du projet.
Un système de gestion de base de données sera utilisé pour stocker et explorer le contenu de la base de données et des scripts seront développés pour générer automatiquement les fichiers d'entrée de STICS, suite à l'expérience précédente avec Postgre-sql (Duval et al., 2010).

Références bibliographiques

Coucheney E., Buis S., Launay M., Constantin J., Mary B., Garcia de Cortazar-Atauri I., Ripoche D., Beaudoin N., Ruget F., Andrianarisoa K.S., Le Bas C., Justes E., Joël Léonard, 2015 - Accuracy, robustness and behavior of the STICS soil-crop model for plant, water and nitrogen outputs: Evaluation over a wide range of agro-environmental conditions in France. Environmental Modelling & Software 64, 177-190.
Duval J., Constantin J., Beaudoin N., 2010 - Interfaçage d'une base de données POSTGRESQL d'essais de longue durée avec le modèle STICS. Poster- Séminaire STICS; 16-18 mars, Sorèze (F81).

SESSION 5 – Communications orales

Usage de STICS à des échelles spatiales « larges »

Animateur : Gaëtan LOUARN

IMPACT DE LA RESOLUTION SPATIALE DES PROPRIETES DE SOL ET DES DONNEES CLIMATIQUES SUR LES PREDICTIONS REGIONALES DE RENDEMENT DU MAÏS AVEC LE MODELE STICS (LOGICIEL OPTIMISTICS)

IMPACT OF SPATIAL RESOLUTION OF SOIL AND CLIMATIC DATA ON REGIONAL CORN YIELD PREDICTIONS USING STICS MODEL (OPTIMISTICS PACKAGE)

Elizabeth Pattey[1], Guillaume Jégo[2], S. Morteza Mesbah[1], Jiangui Liu[1], Isabelle Duchesne[3]

[1]Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherches de l'Est sur les céréales et les oléagineux, Ottawa, Canada ; [2]Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, Québec, Canada ; [3]La Financière agricole du Québec, St-Romuald, Canada

Mots clés : Assimilation de l'ISF, OptimiSTICS, Landsat TM/ETM+, pédodiversité, maïs non irrigué
Keywords : Assimilation of LAI, OptimiSTICS, Landsat TM/ETM+, pedodiversity, rainfed corn.

Introduction

High pedodiversity and convective rainfalls are the two main source of spatial crop variability in Eastern Canada. Simulation on field-scale narrow (less than 100 m width in some cases) and long agricultural fields in this region requires high resolution information for climatic data and soil texture. In this study, we took advantage of a recently developed method to extract high resolution (90 mx90 m) soil texture information (Niang et al. 2014) in L'Acadie site (QC, Canada; Figure 1), and compared the performance of LAI assimilation for high-resolution soil data and commonly used Canadian Soil Information System (CanSIS) data (e.g., Jégo et al. 2012). The impact of using climatic data from four weather stations rather than one is also investigated.

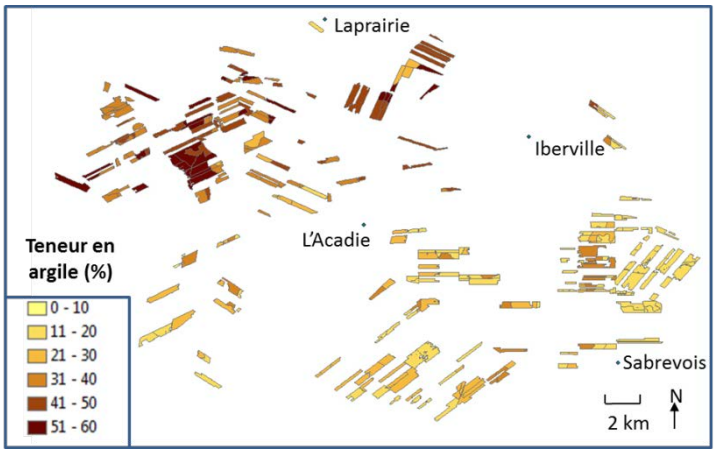


Figure 1. Map of clay content of the studied region and the location of weather stations.

Material and methods

Table 1. Specifications of different simulation scenarios.

Simulation scenario	Soil data	Year	Number of simulations	Reinitialized parameters		
				Seeding date	Seeding density	Field capacity
CS-1W[a]	CanSIS	2003	154	✓	✓	✓
		2007	175	✓	✓	✓
		2009	192	✓	✓	✓
CS-4W[b]	CanSIS	2003	154	✓	✓	✓
FS-1W[c]	Fine resolution	2003	159	✓	✓	-

[a]CS-1W: Coarse soil map & 1 weather station, [b]CS-4W: Coarse soil map & 4 weather stations, [c]FS-1W: Fine soil map & 1 weather station

To evaluate the yield prediction performance using STICS and the OptimiSTICS package (Wallach et al., 2011), we examined different re-initialization scenarios (Table 1). The climatic data were taken from one (1W scenario) or four weather (4W scenario) stations in the site (See Figure 1). To retrieve LAI from Earth observation (EO) data, four to six satellite images per year were used from Landsat RM/ETM+ and one came from SPOT-5. Three growing seasons were considered for the first evaluation of the coarse soil map. However, because 2003 exhibited water stress potential, it was kept to test the other scenarios.

Results

The results for CS-1W simulation indicate that the assimilation of LAI into STICS model provided seeding date estimates in a good agreement with measured ones reported by producers (Table 2). Furthermore, the estimated errors between the average predicted and measured yield were less than 5% for all three simulated years. The lower yield in 2003 and 2009 compared to 2007 was due to water stress in 2003, and lower solar radiation in 2009. The late seeding date in 2003 was due to the high precipitation in the spring which was accurately captured by the model.

Table 2. Comparison between measured and predicted outputs under the CS-1W simulation scenario.

Simulation CS-1W	2003		2007		2009	
	Measured	Predicted	Measured	Predicted	Measured	Predicted
Average seeding date (CD)	146	145	123	123	128	126
Average dry yield (t ha^{-1})	7.7	7.9	8.5	8.9	7.0	7.2

The RMSE for different scenarios varied from 13 to 20% (Table 3), which are considered as “good” estimate for yields (Jamieson et al. 1991). However, using finer resolution soil information from EO-derived data resulted in the lowest RMSE. The fine resolution soil texture reduced RMSE by about 15%, while using climatic data originating from four weather stations did not have an impact on yield predictions. This lack of impact on RMSE seems related to the limited reduction (from 10 km to 7 km) in the average distance between the weather stations and the simulation units when four weather stations were considered, which failed to capture the convective rainfall. However, we observed a high correlation between the aforementioned distance and the model error, which highlights the importance of using higher resolution climatic data (i.e., from weather station within 5 km) in regions were convective rainfall are frequent.

Table 3. Model performance for yield prediction under different simulation scenarios (ME: mean error, RMSE: Root Mean Square Error).

Simulation scenario	Year	Number of measurements	ME (t ha−1)	ME (%)	RMSE (t ha−1)	RMSE (%)
CS-1W	2003	27	−0.3	−4.5	1.2	16.1
	2007	33	−0.5	−6.3	1.3	15.3
	2009	32	−0.5	−7.6	1.4	19.8
CS-4W	2003	27	-0.1	-1.2	1.2	16.1
FS-1W	2003	27	-0.4	-5.2	1.0	13.5

Conclusion

The assimilation of LAI into the STICS crop model was examined via a case study in L’Acadie, (QC, Canada). The results indicated that using fine resolution soil texture, instead of the current CanSIS database, improved the performance of yield predictions in regions with high pedodiversity. Our results, however, did not find significant advantage in using four weather stations, certainly because the average distance between the simulation unit and the weather station was marginally reduced (10 vs 7 km). Future work can further investigate the uncertainty associated with climatic data by exploring the implementation of high resolution georeferenced rainfall extracted either from weather radar or satellite (e.g., Global Precipitation Measurement).

References

Jamieson, P.D., Porter, J.R., Wilson, D.R., 1991. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand, Field Crops Res. 27, 337–350.

Jégo, G., Pattey E., Liu, J. 2012. Using Leaf Area Index, retrieved from optical imagery, in the STICS crop model for predicting yield and biomass of field crops. Field Crops Res. 131: 63-74.

Niang, M.A., Nolin, M.C., Jégo, G., Perron, I., 2014. Digital mapping of soil texture using radarsat-2 polarimetric synthetic aperture radar data. Soil Sci. Soc. Am. J. 78, 673-684.

Wallach, D., Buis, S., Lecharpentier, P., Bourges, J., Clastre, P., Launay, M., Bergez, J.E., Guerif, M., Soudais, J., Justes, E., 2011. A package of parameter estimation methods and implementation for the STICS crop-soil model. Environmental Modelling and Software 26, 386-394.

ETUDE METHODOLOGIQUE DE L'IMPACT DES INCERTITUDES LIEES A L'ESTIMATION SPATIALISEE DES PARAMETRES SOLS DU MODELE STICS A PARTIR DE LA BASE DE DONNEES GEOGRAPHIQUE DES SOLS DE FRANCE A 1/1 000 000

METHODOLOGICAL STUDY OF IMPACT OF UNCERTAINTIES DUE TO SPATIAL ASSESSMENT OF SOIL INPUT PARAMETERS FOR THE STICS CROP MODEL USING THE SOIL GEOGRAPHICAL DATA BASE OF FRANCE AT 1:1,000,000

Christine Le Bas[1], Yves Coquet[2], Marion Bardy[1], Robert Faivre[3], Martine Guérif[4], Florence Habets[5], Samuel Buis[4], Isabelle Cousin[6]

[1] US1106 Infosol, INRA, Orléans, France; [2] UMR7327 ISTO, Université d'Orléans, Orléans, France; [3] UR875 MIAT, INRA, Castanet Tolosan, France; [4] UMR114 EMMAH, INRA, Avignon, France; [5] UMR7619 Métis, Université Pierre et Marie Curie, Paris, France ; [6] UR272 Sol, INRA, Orléans, France

Mots clés : analyse d'incertitude, paramètres sols
Keywords: uncertainty analysis, soil parameters

Introduction

L'utilisation spatialisée de Stics à l'échelle de la France nécessite d'utiliser des bases de données sols à petite échelle dans lesquelles les sols présentent une grande variabilité de leurs propriétés et pour lesquelles les paramètres sols de Stics doivent être estimés par l'emploi de fonctions ou de règles de pédotransfert plus ou moins précises. L'objectif de ce travail est la mise au point d'un protocole d'analyse d'incertitude de l'impact des paramètres sols de Stics estimés avec la Base de Données Géographique des Sols de France à 1/1 000 000 (BDGSF) sur les variables de bilan hydrique et de rendement simulées par Stics, afin de déterminer avec quelle précision ces paramètres sols doivent être définis.

Matériels et méthodes

L'analyse d'incertitude porte sur une partie de la chaîne de traitement permettant d'estimer les paramètres sols en entrée de Stics à partir de la BDGSF (figure 1). Seuls les paramètres sols liés au bilan hydrique et les teneurs en eau à l'initialisation sont considérés. Les incertitudes sont estimées pour les attributs estimés par les règles de pédotransfert (RPT) avant le calcul du profil de sol car les attributs en entrée des règles ne sont pas forcément quantifiables (nom du sol par exemple). Pour éviter que les paramètres de l'analyse soient dépendants, certains paramètres sont estimés en pourcentage de la réserve utile (teneur en eau initiale) ou en pourcentage de la profondeur du sol (paramètre zesx). La teneur en eau à capacité au champ est calculée comme la somme de la teneur en eau au point de flétrissement et une valeur de réserve utile.

L'analyse est réalisée selon plusieurs scénarios en termes de climat (sec et humide, caractérisés chacun par trois années), de culture (sol nu, blé tendre d'hiver et maïs), d'itinéraires techniques (sol nu et blé simulés du 1er septembre au 31 août, sol nu et maïs du 1er mars au 30 novembre ; un seul itinéraire technique en termes de date de semis, fertilisation, résidus de culture, variété ; pour le maïs, trois modalités d'irrigation (sans irrigation, irrigation avec restriction et irrigation optimale)). Les données climatiques utilisées sont les données Safran de Météo-France.

L'analyse d'incertitude est réalisée avec la plate-forme de modélisation Record et sous le logiciel statistique R. 1000 valeurs pour chaque paramètre incertain sont calculées de manière aléatoire entre des bornes minimale et maximale en considérant une distribution uniforme.

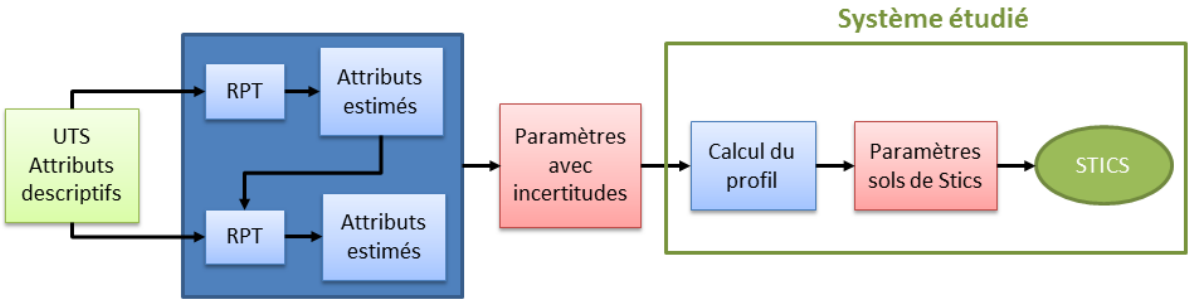


Figure 1 : schéma simplifié de la chaîne de traitement pour l'analyse d'incertitude. UTS = Unité Typologique de Sol, RPT = règles de pédotransfert.

Résultats

Ce travail a tout d'abord permis d'associer des incertitudes aux paramètres sols de Stics. Sur l'UTS test utilisée pour mettre au point l'analyse (un Luvisol de texture limoneuse situé en Région Centre), ces incertitudes sont fortes : la profondeur du sol varie de 90 à 130 cm, les teneurs en eau à capacité au champ varient entre 10 et 30 %, les teneurs en eau au point de flétrissement entre 6,5 et 16,8 %, la réserve utile varie de 63 à 248 mm.

Les premiers résultats de l'analyse d'incertitude réalisée sur cette UTS test montrent des impacts différents selon la variable de sortie : ainsi, en sol nu simulé de septembre à août, le cumul de l'évaporation du sol journalière calculé en fin de simulation a un coefficient de variation allant de 1,46 à 5,52% selon les années. A contrario, le drainage cumulé en fin de simulation a un coefficient de variation variant de 8,24 à 60,75%. L'impact est également variable selon les années climatiques, les années sèches présentant souvent des coefficients de variation plus élevés que les années humides. C'est le cas par exemple pour l'indice foliaire maximal du blé où les coefficients de variation sont faibles en années humides (0,50 à 1,64%) mais plus élevés en années sèches (10,15 à 20,29%). Selon la culture, les impacts sont également différents : le blé présente des coefficients de variation souvent plus faibles que le maïs montrant une plus grande sensibilité du maïs aux paramètres hydriques du sol que le blé, ce qu'a également montré Ruget et al. (2002). Pour le maïs, certains scénarios ne permettent pas d'atteindre la récolte ce qui rend l'analyse des données plus complexes. Certaines simulations présentent aussi des valeurs aberrantes qui seront à analyser.

Conclusion

Une méthodologie d'analyse d'incertitude adaptée à l'utilisation de Stics avec la Base de Données Géographique des Sols de France à 1/1 000 000 (BDGSF) a été mise au point. Elle a permis d'associer des incertitudes aux paramètres sols de Stics estimés avec la BDGSF et d'en analyser les effets sur certaines variables de sortie de Stics selon plusieurs scénarios. Les premiers résultats obtenus sur une Unité test montrent des impacts différents selon les variables de sortie et les scénarios. Une analyse de sensibilité est prévue pour permettre d'indiquer quels paramètres sols sont responsables de l'incertitude sur les sorties.

Références bibliographiques

Ruget F., Brisson N., Delecolle R., Faivre R., 2002. Sensitivity analysis of a crop simulation model, STICS, in order to choose the main parameters to be estimated. Agronomie 22, 133-158.

PERSPECTIVES D'AMELIORATION DU MODELE STICS PAR COUPLAGE POUR LA SPATIALISATION DU FONCTIONNEMENT DES AGROSYSTEMES EN CONDITIONS HYDRIQUES LIMITANTES

PROSPECTS FOR IMPROVEMENT OF THE MODEL STICS BY COUPLING FOR THE SPATIAL FUNCTIONING OF AGRICULTURAL SYSTEMS IN LIMITING WATER CONDITIONS

Enguerrand Burel, Rémy Fieuzal, Frédéric Baup, Nathalie Jarosz-Pellé, Vincent Bustillo

CESBIO, 24, rue d'Embaquès 32000 AUCH. enguerrand.burel@iut-tlse3.fr

Mots clés: spatialisation, stress hydrique, racines, répartition de biomasse, phénologie
Keywords: spatialization, water stress, roots, biomass partition, phenology

Introduction

Pour une approche réaliste des flux d'eau et de carbone il est nécessaire d'estimer la production de biomasse racinaire ainsi que sa répartition dans le profil de sol. Toutefois une des limites actuelle de l'estimation de la biomasse racinaire concerne la mesure elle-même qui nécessite en mesure directe des méthodes lourdes d'un point de vue logistique, coûteuses et à la précision variable (Bonzon & Picard, 1969 ; Caldwell & Virginia, 2000 ;Pierret, Moran, & Doussan, 2005). L'autre limite concerne la difficulté de déduire cette production de racines à l'échelle de la parcelle étant donné l'hétérogénéité spatiale du développement des cultures. Dans ce but, l'outil de télédétection pourrait répondre à ces deux problématiques grâce à la déduction de la biomasse racinaire via une fonction la reliant aux parties aériennes de la culture puis par une spatialisation des simulations. Dans cette étude, il est proposé (i) d'établir une relation fonctionnelle entre les parties aériennes de la culture et la biomasse racinaire et (ii) de spatialiser les simulations du modèle de culture STICS grâce à l'introduction de données spatialisées dans le modèle. L'objectif est d'estimer la production de racines de manière spatialisée à partir d'observations satellite et de mesures in-situ, de façon à apprécier la vulnérabilité des cultures au stress hydrique et de ses conséquences sur le rendement.

Matériels et méthodes

Dans cette optique, un certain nombre de mesures ont été nécessaires pour relier le développement aérien et souterrain pour différents niveaux de stress hydriques et types de sols. Ces mesures ont été collectées sur des dispositifs situés sur une parcelle semée en Tournesol à Auradé (Gers) et sur une autre parcelle irriguée de soja située sur les terrasses alluviales de la Garonne à Lamasquère (Haute Garonne). Il s'agit d'un dispositif emboîté, combinant des mesures locales temporellement intégratrices, suivis racinaires par endoscan, mesures biophysiques différenciées par organes et suivi d'humidité mais également des mesures spatialisées (e.g. géophysique) pour relier ces mesures à une échelle supérieure.

A l'échelle de la parcelle et du bassin versant, la prise en compte d'informations issues de la télédétection a permis de spatialiser le modèle STICS. Nous avons simulé le fonctionnement spatialement explicite d'une parcelle de tournesol de 5 ha, par une approche multi-1D, consistant à (1) forcer le modèle par une carte de réserve utile issue de l'inversion du modèle SAFY (Duchemin, Maisongrande, Boulet, & Benhadj, 2008) et (2) à moduler le forçage radiatif selon l'exposition et la déclivité de chaque zone (Allen, Trezza, & Tasumi, 2006). La cartographie de RU a fait l'objet d'une validation in-situ à l'aide des acquisitions géophysiques.

Résultats

Les analyses d'images racinaires ont permis d'estimer la profondeur et le profil densité racinaire au cours d'un cycle de culture. Le rapport entre biomasse souterraine et biomasse aérienne diminue au cours du temps, ce qui est conforme au formalisme « densité vraie » qui fait état d'un coefficient de partition dynamique par la fonction REPRAC.

Il a également été établi qu'il existe des relations stables entre les vitesses de production de biomasse aérienne et racinaire en conditions non-limitantes. Ces relations offrent des possibilités de déduire avec une approche empirique la quantité de biomasse de racines par rapport à la biomasse aérienne visible (LAI/NDVI) moyennant une prise en compte des stress adaptée. Il semblerait que l'architecture de la plante détermine des niveaux de corrélation différents entre biomasse racinaire d'une part et PAI ou LAI d'autre part, selon que les racines ont une fonction d'ancrage (ex : tournesol) ou que la fonction de prélèvement d'eau prime (ex : soja). Les données expérimentales s'écartent de cette relation empirique dès lors que des conditions de stress apparaissent.

Par ailleurs, à l'échelle de la parcelle, les simulations multi-1D résultant de forçages spatialisés dérivés de la télédétection (carte de RU) amènent des contrastes considérables en termes de production de biomasse. Les secteurs exposés sud et bénéficiant d'un ensoleillement maximum, par exemple, expriment un développement foliaire précoce. Mais, en condition de stress hydrique marqué, ces secteurs semblent pénalisés d'un point de vue agronomique en cas d'une faible RU et d'un déficit de précipitations. Les effets conjugués de la RU et du rayonnement reçu déterminent des réponses physiologiques contrastées (e.g. root/shoot ratio) que STICS est à même de simuler dès lors que les entrées sont correctement renseignées.

Conclusion

La télédétection spatiale constitue une voie de recherche prometteuse pour aider à la calibration des modèles de culture, à renseigner les entrées de modèle de manière spatialement explicite et à valider les simulations avec l'appui de mesures in-situ. Cela implique d'adapter des modèles de transfert sol-végétation-atmosphère, dont la résolution temporelle est infra-journalière, et de les coupler au modèle de culture STICS, de façon à interpréter la signification de signaux infrarouge à une date et une heure données. La répartition de la biomasse étant liée aux conditions microclimatiques, le TSVA doit également permettre d'affiner la simulation de cette répartition.

Références bibliographiques

Allen, R. G., Trezza, R., & Tasumi, M. (2006). Analytical integrated functions for daily solar radiation on slopes. *Agricultural and forest meteorology*, 55-736.

Bonzon, B., & Picard, D. (1969). Matériel et méthodes pour l'étude de la croissance et du développement en pleine terre des systèmes racinaires. *Cahiers ORSTOM*, 3-18.

Caldwell, M. M., & Virginia, R. A. (2000). Root systems. *Plant Physiological Ecology*, 367-398.

Duchemin, G., Maisongrande, P., Boulet, G., & Benhadj, I. (2008). A simple algorithm for yield estimates: Evaluation for semi-arid irrigated winter wheat monitored with green leaf area index. *Environnemental Modelling & Software*, 876-892.

Pierret, A., Moran, C. J., & Doussan, C. (2005). Conventional detection methodology is limiting our ability to understand the roles and functions of fine roots. *New physiologist*, 967-980.

PERSPECTIVES DE LA TELEDETECTION DANS LA MODELISATION AGRO-HYDROLOGIQUE SPATIALISEE : L'EXEMPLE DE LA POLLUTION AGRICOLE DANS LE SUD-OUEST DE LA FRANCE

PROSPECTS FOR REMOTE SENSING IN SPATIALLY DISTRIBUTED AGRO-HYDROLOGICAL MODELING: THE EXAMPLE OF AGRICULTURAL POLLUTION IN SOUTH-WEST OF FRANCE

Sylvain Ferrant[1,2], Simon Gascoin[1,3],Patrick Durand[4,5], Vincent Bustillo[1]

[1] Université de Toulouse, UPS, Centre d'Etudes Spatiales de la BIOsphère (CESBIO), Toulouse, France ; [2] Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), CESBIO, Toulouse, France ; [3] Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), CESBIO, Toulouse, France ; [4] INRA – UMR1069 Sol Agro et hydrosystème Spatialisation (SAS), Rennes, France ; [5] Agrocampus Ouest, UMR1069, SAS, Rennes, France

Mots clés : Couplage STICS et TNT, Azote, indices foliaires, télédétection, calibration spatiale
Keywords : Coupling approach STICS and TNT, Nitrogen, Leaf Area Index, remote sensing, spatial calibration

L'objectif de ce travail est d'explorer l'importance de caractériser la variabilité spatiale de la croissance des cultures dans la simulation du cycle de l'eau et de l'azote dans les bassins versants agricoles.
Les cycles de l'eau et de l'azote sont étroitement liés. Les systèmes agricoles modernes reçoivent un excès d'azote sous la forme d'intrants agricoles qui permettent de sécuriser la production végétale à des niveaux économiquement viables. S'ensuivent, dans certains contextes, des pollutions accrues de la ressource en eau, ayant des impacts écologiques sur les écosystèmes aquatiques et socio-économiques sur la potabilité remettant en cause les pratiques agricoles (Moreau et al., 2013; Viavattene, 2006).
Les fuites d'azote vers le compartiment hydrologique sont difficiles à prévoir et à spatialiser car elles dépendent de la localisation du lessivage et du système hydrologique. Le couplage entre les concepts du modèle de culture STICS et un modèle hydrologique spatialisé, TNT2 (Beaujouan et al., 2002; Ferrant et al., 2011) permet d'intégrer les variables pédoclimatiques et hydrologiques à l'échelle de la grille du modèle numérique de terrain (MNT), ainsi que les itinéraires techniques à l'échelle de la parcelle (cultivar, date de semis, fertilisation) pour représenter la croissance des cultures (LAI, Biomasse, azote absorbé) en fonction de stress hydriques et azotés. Le modèle hydrologique représente les transferts de l'eau et de l'azote solubilisé (forme NO_3) entre les mailles du MNT dépendant de la topographie, et simule des flux d'eau et d'azote dans la rivière. Le modèle utilise les informations dérivées d'une carte pédologique détaillée (profondeur, texture, matière organique par ex) et agricoles (succession culturale à la parcelle, estimation annuelle des fertilisants minéraux, semis et type de récolte par ex) provenant d'enquêtes de terrain pas toujours exhaustives. Généralement, quelques paramètres hydrologiques ou liés à la minéralisation de la matière organique des sols sont calibrés sur les débits et flux d'azote à l'exutoire d'un bassin versant.
Comment alors calibrer spatialement ces paramètres du modèle agro-hydrologique pour reproduire la consommation des cultures et les fuites d'azote dans l'environnement ?
C'est dans l'émergence des outils de télédétection spatiale appropriés que se trouve une partie des solutions. Les missions satellite récentes (Copernicus, Sentinel) ont et vont permettre de suivre la croissance des cultures à de hautes résolutions spatiales et temporelles adaptées aux caractéristiques des agro-systèmes (Claverie et al., 2013) : cycle de croissances rapides sur des surfaces hétérogènes.
Nous avons dans cette étude utilisé 105 cartes d'indice foliaire (LAI, BV-NNET, (Baret et al., 2007)) dérivés d'image Formosat-2 à 8 m de résolution entre 2006 et 2010 sur le bassin expérimental d'Auradé (3.5 km^2) pour calibrer spatialement la productivité agricole simulées par le modèle agro-hydrologique TNT2. Nous avons ici mis au point une calibration spatialisée de paramètres contrôlant la croissance des cultures: la

date de semis à l'échelle des parcelles (Ferrant et al., 2014) et le couple de paramètre porosité et profondeur de sol, définissant une réserve utile maximale à la résolution spatiale des images (par pixel). La calibration permet d'améliorer la dynamique temporelle de croissance des cultures, qui entraine globalement une augmentation de la biomasse et de l'exportation d'azote par les récoltes simulées. Il en résulte une diminution de l'excédent d'azote simulé entrainant elle-même une diminution des flux hydriques d'azote dans la rivière. Cette diminution (de 11 à 9.6 $kgN.ha^{-1}.y^{-1}$) est réaliste par rapport à la valeur de 7.5 $kgN.ha^{-1}.y^{-1}$ mesurée à l'exutoire par Ferrant et al. (2012). Les séries temporelles d'images satellite type Sentinel-2 sont autant d'observations spatialisées permettant d'accroitre le niveau de compréhension des processus impliqués dans la pollution diffuse agricole, la spatialisation de la ressource en eau du sol et le fonctionnement biogéochimique des bassins versants.

Références bibliographiques

Baret, F., Hagolle, O., Geiger, B., Bicheron, P., Miras, B., Huc, M., Berthelot, B., Nino, F., Weiss, M., Samain, O., Roujean, J.L., Leroy, M., 2007. LAI, fAPAR and fCover CYCLOPES global products derived from VEGETATION. Part 1: Principles of the algorithm. Remote Sens. Environ. 3, 275–286.

Beaujouan, V., Durand, P., Ruiz, L., Aurousseau, P., Cotteret, G., 2002. A hydrological model dedicated to topography-based simulation of nitrogen transfer and transformation: rationale and application to the geomorphology-denitrification relationship. Hydrol. Process. 16, 493–507.

Claverie, M., Vermote, E.F., Weiss, M., Baret, F., Hagolle, O., Demarez, V., 2013. Validation of coarse spatial resolution LAI and FAPAR time series over cropland in southwest France. Remote Sens. Environ. 139, 216–230.

Ferrant, S., Gascoin, S., Veloso, A., Salmon-Monviola, J., Claverie, M., Rivalland, V., Dedieu, G., Demarez, V., Ceschia, E., Probst, J.L., Durand, P., Bustillo, V., 2014. Agro-hydrology and multi temporal high resolution remote sensing: toward an explicit spatial processes calibration. Hydrol. Earth Syst. Sci. 18, 5219–5237. doi:doi:10.5194/hess-18-5219-2014

Ferrant, S., Laplanche, C., Durbe, G., Probst, A., Dugast, P., Durand, P., Sanchez-Perez, J.M., Probst, J.L., 2012. Continuous measurement of nitrate concentration in a highly event-responsive agricultural catchment in south-west of France: is the gain of information useful? Hydrol. Process. n/a–n/a.

Ferrant, S., Oehler, F., Durand, P., Ruiz, L., Salmon-Monviola, J., Justes, E., Dugast, P., Probst, A., Probst, J.L., Sanchez-Perez, J.M., 2011. Understanding nitrogen transfer dynamics in a small agricultural catchment: comparison of a distributed (TNT2) and a semi distributed (SWAT) modelling approaches. J. Hydrol. 406, 1–15.

Moreau, P., Ruiz, L., Vertès, F., Baratte, C., Delaby, L., Faverdin, P., Gascuel-Odoux, C., Piquemal, B., Ramat, E., Salmon-Monviola, J., Durand, P., 2013. CASIMOD'N: An agro-hydrological distributed model of catchment-scale nitrogen dynamics integrating farming system decisions. Agric. Syst. 118, 41–51.

Viavattene, C., 2006. Exploitation socio-economique de la modélisation souterraine du transfert des nitrates à l'échelle du bassin de la Seine. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.

EXPERTISE MULTICRITERE DE LA SPATIALISATION DE STICS A L'ECHELLE MACRO-REGIONALE : APPLICATION A LA MODELISATION DES FLUX D'EAU ET D'AZOTE DANS LE BASSIN DE LA SEINE

MULTI CRITERIA EXPERTISE OF STICS MODEL DISTRIBUTION AT THE MACRO-REGIONAL SCALE: APPLICATION TO THE MODELING OF WATER AND NITROGEN FLOWS IN THE BASIN OF THE SEINE

Beaudoin N.[1], Mary B.[1], Gallois N.[2], Le Bas C.[3], Puech T.[4], Schott C.[4], Viennot P.[2].

[1] INRA-AgroImpact, Laon ; [2] MINES ParisTech, Centre de Géosciences, Fontainebleau ; [3] INRA-US1106 Infosol, Orléans ; [4] INRA SAD-Aster, Mirecourt
Correspondant : Unité INRA AgroImpact, nicolas.beaudoin@laon.inra.fr

Mots clés : système de culture, bases de données, production agricole, impact environnemental, système d'information géographique, performance de modèle, sensibilité de modèle.
Keywords: cropping system, databases, agricultural production, environmental impact, geographic information system, performance of the model, sensitivity study.

Introduction

La modélisation des cycles biogéochimiques à l'échelle du bassin hydrogéologique pose la question récurrente de son évaluation. La plate-forme de modélisation *MINES ParisTech* gère pour le PIREN-Seine (Programme Interdisciplinaire de Recherche en Environnement du bassin de la Seine) le couplage des modélisations du modèle agronomique STICS et du modèle hydrologique MODCOU. Elle permet de simuler la pollution diffuse d'origine agricole des nappes phréatiques (Ledoux et al. 2007). La chaîne de simulation a été réactualisée, pour intégrer les dernières avancées de STICS V8.3 et des bases de données de pratiques culturales. Cette réactualisation a été associée à une expertise détaillée des sorties du modèle agronomique afin d'en évaluer la fiabilité.

Méthodologie

Les entrées du modèle proviennent du croisement de couches de données climatiques (SAFRAN), pédologiques (INRA au $1/10^6$), d'occupation du sol (modèles statistiques de rotations, Mignolet et al., 2007) et d'itinéraire technique sur les 164 PRA (petite région agricole). Les données couvrent le territoire du bassin de la Seine et de la Normandie et les années 1970-2012. Le croisement des couches d'information donne un ensemble de 11 522 unités géographiques de simulation (UGSM). La prise en compte de différents types de sol et de succession conduit ensuite à un effectif de 39.10^6 usm de STICS. Pour l'analyse, les sorties élémentaires ont été regroupées en 95 PRA (Petite région Agricole), qui regroupe les PRA sur des critères géologiques et géomorphologique.
Le protocole d'expertise des sorties visait à décrire la variabilité d'indicateurs via des histogrammes et à vérifier l'existence de relations robustes entre variables (Beaudoin et al., 2008). La conception de la méthode a été itérative. Un premier « run » a porté sur une seule grande région (N°0) et les 3 suivants sur l'ensemble des UMA. Les tests 0 et 1 ont conduit à s'intéresser aux entrées du modèle, qui ont été modifiées pour les runs 2 et 3. Seuls sont comparés ici les « runs » 1 et 3.

Résultats

Les statistiques des valeurs moyennes pondérées par PRA sont présentées dans le tableau 1. Les entrées « sol » ont été changées à partir des données 2003 du Réseau de Mesure de la Qualité des Sols, avec construction de classes de pédotransfert croisant occupation du sol, texture et taux de calcaire. Elles prédisent le stock initial d'N organique, le taux d'argile après décarbonatation et le pH. Le stock initial

moyen d'N organique a peu varié *a contrario* de sa répartition, avec une corrélation de 0.16 entre les deux étapes (Tabl. 1). L'amélioration des données techniques portait sur la fertilisation et la restitution des résidus, qui impactent l'apport d'N minéral et organique (totapN). L'étude du taux d'interception du rayonnement a conduit à modifier la sensibilité du colza et blé dur au gel. L'étude des indices de récolte carbone et azote, par espèce et UMA, a conduit à faire un zonage des variétés de maïs (contre 1 seule) et à changer la variété d'orge. Enfin, le calcul *a posteriori* des indices de récolte a révélé des valeurs aberrantes, par un défaut du formalisme de STICS, qui a été corrigé. Ces corrections ont permis d'améliorer la prédiction des rendements comparés aux rendements moyens régionaux observés; les biais de simulations sont compris entre -20 % pour le tournesol et + 34 % pour la pomme de terre, deux espèces au paramétrage provisoire (non présenté). Le rendement des cultures de printemps, ont été logiquement plus sensibles à la modification de Norg, sauf le pois. Le maïs ensilage a plus répondu à l'adaptation de la variété que le maïs grain.

De l'étape 1 à 3, le drainage (drat) baisse de 10% sans affectation de répartition *a contrario* des pertes par voies gazeuses. Les exportations changeant peu (non présenté), la lixiviation moyenne d'azote (Qles) a baissé de 17%, en lien avec celle des apports (totapN) et drat. Sa répartition spatiale a varié avec celle du stock initial Norg à laquelle il est sensible à long terme (Beaudoin et al.,2008).

		moyennes inter PRA		C.V. inter PRA		corrélation
Etape		*1*	*3*	*1*	*3*	1 et 3
Entrées						
Stock Norg initial (Mg/ha)		**5.24**	**5.54**	0.08	0.17	0.16
Semis (Jour Julien)		**393**	**400**	0.22	0.22	0.97
QN ressuite (kgN/ha)		**42**	**21**	0.37	0.59	0.90
TotaPN ((kgN/ha))		**88**	**67**	0.22	0.26	0.90
Sorties						
Rendement aux normes						
Cult. hiver	Ble tendre (qx /ha)	**63**	**63**	0.09	0.10	0.90
	Escourgeon (qx /ha)	**67**	**62**	0.10	0.08	0.83
	Colza (qx /ha)	**45**	**35**	0.13	0.07	0.49
Cult. printemps	Orge P	**22**	**44**	0.34	0.20	0.92
	Maïs grain (qx /ha)	**76**	**73**	0.38	0.29	0.90
	Maïs ensilage (qx /ha)	**45**	**137**	0.43	0.14	0.70
	Betterave S (Mg /ha)	**599**	**523**	0.16	0.12	0.31
	Pois printemps (qx /ha)	**42**	**42**	0.20	0.11	0.63
Impacts environnementaux						
DRAT (mm/an)		**273**	**255**	0.41	0.41	1.00
QLES (kgN/ha/an)		**35**	**30**	0.47	0.36	0.80
Pertes voies gazeuses (kgN/ha/an)		**26**	**27**	0.20	0.21	0.91
Teneur eau drainage zone agri. (mgNO3/L)		**58**	**54**	0.34	0.35	0.81

Tableau 1: Statistiques sur les valeurs moyennes pondérées par PRA des étapes 1 et 3.

Conclusion et perspectives

L'expertise a porté autant sur les entrées que les sorties. Elle consiste surtout en des tests de cohérence et de sensibilité, mais pourrait profiter avantageusement de données de télédétection. A l'avenir, une méta-modélisation valorisera le jeu de données et de sorties de STICS et la chaine de modélisation sera testée sur les cinétiques de teneur en nitrate des captages.

Références bibliographiques

Ledoux et al., 2007. Agriculture and groundwater nitrate contamination in the Seine basin: The STICS–MODCOU modelling chain. STOTEN, 375, 33-47.

Mignolet et al., 2007. Spatial dynamics of farming practices in the Seine basin: Methods for agronomic approaches on a regional scale. STOTEN, 375; 13-32

Beaudoin et al, 2008. Evaluation of the soil crop model STICS over 8 years against the "on farm" database of Bruyères catchment, European Journal of Agronomy, 29, 1, 46-57.

SESSION 5 - Posters

Usage de STICS à des échelles spatiales « larges »

Animateur : Gaëtan LOUARN

MODELISATION AVEC STICS DE L'IMPACT DE LA GESTION DES RESIDUS DE CULTURE SUR L'EVOLUTION DE LA FERTILITE DU SOL ET DU POTENTIEL DE RENDEMENT D'UNE CULTURE DE BLE

MODELLING USING STICS OF THE IMPACT OF CROP RESIDUE MANAGEMENT ON THE EVOLUTION OF SOIL FERTILITY AND YIELD POTENTIAL OF WINTER WHEAT CROP

Marie-Pierre Hiel[1], Bernard Bodson[2]

[1] AgricultureIsLife, Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, Gembloux, Belgique ;
[2] Phytotechnie tempérée, Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, Gembloux, Belgique

Mots clés : résidus de culture, gestion des résidus, blé d'hiver
Keywords : crop residues, residues management, winter wheat

Introduction

Les résidus de culture représentent une quantité de biomasse potentiellement restituable au sol afin de restaurer ou maintenir la fertilité du sol ou encore être valorisés pour un usage extérieur (fourrage, isolant, énergie, …). Ceci ne peut évidemment se faire au détriment d'une gestion durable des terres agricoles. Les résidus sont donc un stock de biomasse à valoriser et il est important pour nous de savoir comment, dans le contexte d'une agriculture durable, exploiter au mieux ce potentiel.

Un axe du projet AgricultureIsLife (agricultureislife.be) se regroupe autour d'une même problématique : l'étude de l'impact de la gestion des résidus sur le système eau-sol-plante. Ici nous nous intéresserons plus particulièrement à la composante culture et fertilité du sol.

Compte tenu du grand nombre de variables observées et de la forte dépendance du système par rapport aux facteurs climatiques, la modélisation est l'outil idéal pour analyser nos données expérimentales.

Essai expérimental

Pour atteindre nos objectifs, un essai pluriannuel a été mis en place en 2008. Cet essai reprend quatre modalités contrastées, liées à la quantité de résidus de culture et à leur profondeur d'enfouissement. Ces modalités sont les suivantes : travail superficiel (10 cm de profondeur maximum) avec restitution des résidus (NL-IN), travail superficiel avec exportation des résidus (NL-OUT), labour (à 25 cm) avec restitution (L-IN) et labour (à 25 cm) sans restitution (L-OUT). La rotation est la suivante : colza (2009), blé d'hiver (2010), blé d'hiver (2011), blé d'hiver (2012), féverole (2013), blé d'hiver (2014), maïs (2015), blé d'hiver (2016).

Données de terrain

Nous disposons de nombreuses données issues de cet essai :

D'ordre pédologique : analyses de sol au printemps et à l'automne. Les échantillons sont prélevés sur trente centimètres de profondeur (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm). Les éléments solubles (Mg, K, Na, P, Ca). Pour l'azote minéral des prélèvements ont été réalisés chaque année mensuellement de mars jusqu'à après la récolte jusqu'à 1,5 m de profondeur.

D'ordre climatique : L'essai dispose d'une station météo mesurant : température, humidité de l'air, vent, radiation solaire et pluviométrie. Quatre parcelles (une par traitement) est équipée de sondes mesurant l'humidité et la température du sol à trois profondeurs (5, 15 et 40 cm).
Sur la culture : taux de levée, biomasse mensuelle avec séparation des épis et des tiges, nombre d'épis, indice de surface foliaire total, rendement, qualité des produits récoltés et teneur en N, P et K du grain et des résidus ainsi que la quantité de résidus restituée au sol.

Modélisation

L'objectif est de modéliser l'impact de la gestion des résidus sur le potentiel de rendement d'une culture de blé. Nous avons décidé de nous focaliser sur les cultures de blé d'hiver afin de diminuer les variations dues à la paramétrisation des différentes cultures. Quatre années de données de terrain sont actuellement disponibles pour la culture de blé et seront utilisées pour la paramétrisation, calibration et validation du modèle STICS en fonction de nos différentes modalités, données climatiques et données observées. La paramétrisation de la plante a déjà été réalisée pour le blé dans nos conditions (Dumont et al., 2014)**.**

La seconde étape consiste à prévoir à long terme comment le système va réagir et distinguer les paramètres clés responsables des variations dans le système et en comprendre les mécanismes. La modélisation va nous permettre de mieux analyser le système en atténuant le facteur climatique qui rend difficile la comparaison des données d'une année à l'autre. Pour ce faire nous utiliserons le LARS-Weather Generator (WG) (Racsko et al., 1991) pour créer une série de scénarios climatiques statistiquement semblables aux données climatiques observées.

Références bibliographiques

Dumont, B., Basso, B., Leemans, V., Bodson, B., Destain, J.-P., Destain, M.-F., 2014. Systematic analysis of site-specific yield distributions resulting from nitrogen management and climatic variability interactions. Precision Agriculture. doi:10.1007/s11119-014-9380-7

Racsko, P., Szeidl, L., Semenov, M., 1991. A serial approach to local stochastic weather models. Ecological Modelling. 57, 27–41.

CYCLE DE L'AZOTE EN MILIEU TROPICAL SEMI-ARIDE SOUS CULTURE INTENSIVE: LE BASSIN VERSANT DE LA BERAMBADI

NITROGEN CYCLE IN A TROPICAL SEMI-ARID WATERSHED UNDER INTENSIVE AGRICULTURE: THE BERAMBADI CASE

BuvaneshwariSriramulu[1,2], M Sekhar[1,2], Jean Riotte[2,4], Laurent Ruiz [2,3], Samuel Buis [5]

[1] Indian Institute of Science, Dept of Civil Eng, 560012 Bangalore, India; [2] Indo-French Cell for Water Sciences, Indian Institute of Science, Bangalore, India; [3] INRA, UMR 1069 SAS, 35000 Rennes, France ; [4] Géosciences Environnement Toulouse (Université de Toulouse, CNRS, IRD),14 avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse, France ;[5] INRA, UMR 1114 EMMAH, 84914 Avignon, France

Keywords: nitrate pollution, tropical system, soil-plant scale, STICS crop model

Mots clés : pollution nitrate, tropiques, profil sol-plante, modèle agronomique STICS

Nitrate Contamination of water systems in agricultural catchments is a ubiquitous problem in many developed countries due to the intensive agriculture and farming practices. In India the nitrate contamination in groundwater have been raising for the last decades due to over use of chemical fertilizers, combined with intensive bore well irrigation. It is necessary to monitor the nitrogen cycle at soil-plant scale for various agricultural practices to reduce nitrate leaching below the root zone by optimizing the fertilizer application without compromising the crop growth.

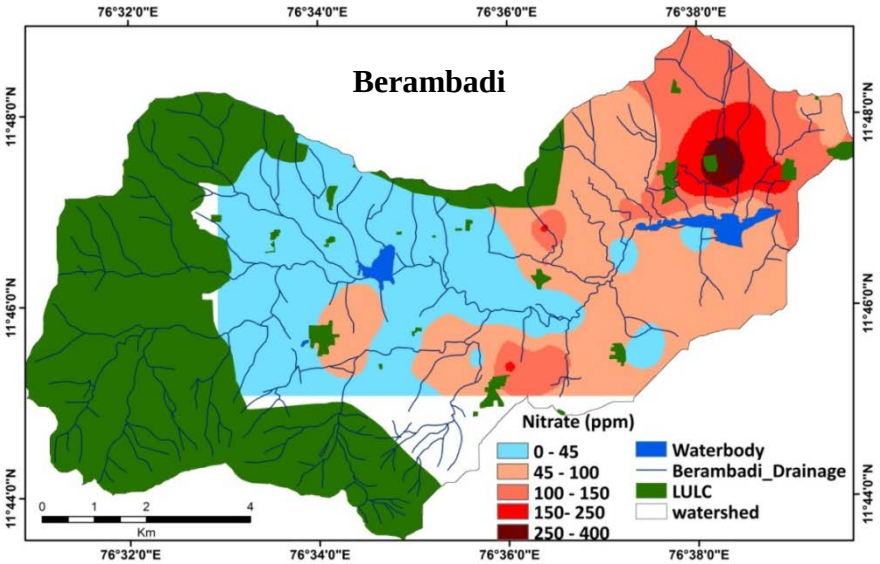


Fig 1: Spatial distribution of nitrate concentration in groundwater

The Berambadi watershed (84 km²) is an environmental observatory (www.ambhas.com) located in the semi-arid part of the Kabini river basin. Groundwater is characterized by an inverse hydraulic gradient with respect to topography (deeper groundwater down slope, due to higher groundwater pumping) and by

highly variable nitrate concentrations, with values reaching up to 400 mg NO_3/L in some areas (Fig 1). Because of the diversity of agricultural practices and the large spatial variation of nitrate observed in groundwater, this watershed is an ideal site to study the relative influences of the factors such as land use, agricultural practices and soil properties on the large spatial variations of nitrate concentration in groundwater.

For this purpose specific experiments have been initiated at the soil-plant scale in 2013. Two turmeric plots (on ferralsol and vertisol) were monitored for management practices, physical and chemical parameters of soil and crop over a complete crop cycle (extended kharif crop) and continued for the bare soil condition during. Soil solution samplers (Rhizons) and soil moisture access tubes (TDR- profile soil moisture) were implemented for building profiles of nitrate concentrations in pore water. The nitrate concentration profiles in the soil pore water suggest contrasting processes governing the nitrate dynamics in the two different soils (Fig 2).

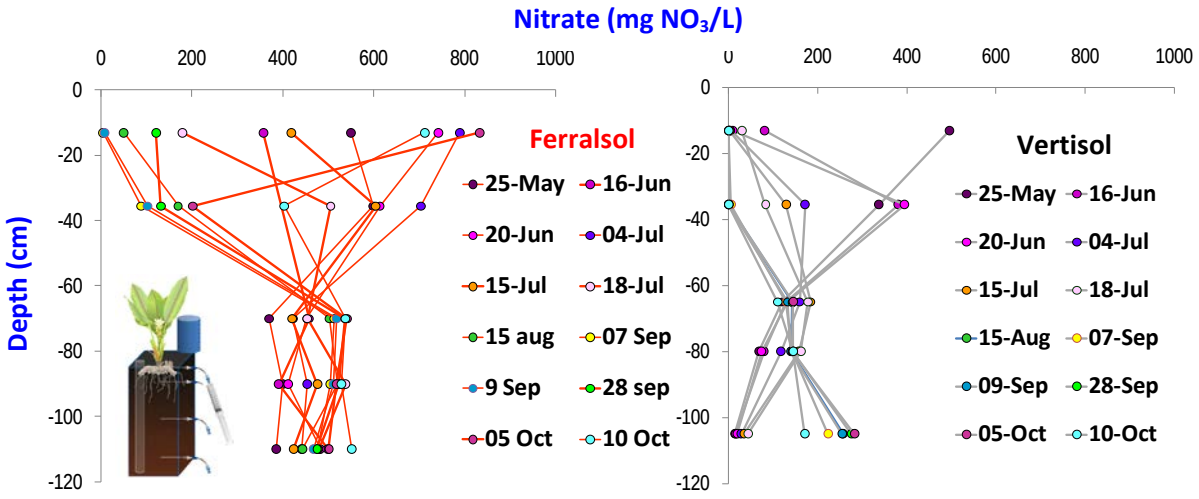


Fig 2: Soil Plant scale set up and pore water nitrate in the root zone

The water and nitrogen balances at the soil-plant scale were assessed by combining field data and STICS crop model. The local climate, soil properties (texture, moisture content, organic nitrogen content etc) and management practices (irrigation, fertilizer etc) were used as inputs in the model. Preliminary results showed significant discrepancies between observed and simulated nitrate profiles, stressing the need for a better calibration of soil organic matter mineralization. Further, the simulated nitrate leaching below the root zone will be compared with the local groundwater concentration at those two plots to assess the role of soil type on nitrogen flux to the groundwater.

STICS ET LA PRODUCTION DE REFERENCES LOCALES : EXEMPLE DE LA MODELISATION DU DEVELOPPEMENT DU BLE DANS UNE REGION NATURELLE DE CHARENTE-MARITIME

STICS AND LOCAL REFERENCES PRODUCTION: EXAMPLE OF MODELLING OF DEVELOPMENT OF WHEAT IN A NATURAL REGION OF CHARENTE-MARITIME

Jean-Philippe Bernard

Chambre d'agriculture de Charente-Maritime, La Rochelle, France

Mots clés : STICS, Charente-Maritime, carte des sols, station climatique, blé, simulation, indicateurs agroenvironnementaux
Keywords : STICS, Charente-Maritime, soil mapping, climatic station, wheat, simulation, agronomic and water indicators

Introduction

Les Chambres d'agriculture, en tant qu'organisme vecteur de développement agricole, ont tendance à donner la priorité aux outils qui permettent un conseil opérationnel en direct aux agriculteurs. Elles valorisent ainsi leur production de références issues de leurs expérimentations de terrain.

Cependant, l'expérience vécue ces trois dernières années au sein du Groupe Régional d'Expertise Nitrates (GREN) de Poitou-Charentes a démontré l'obsolescence des référentiels non évolutifs, et donc leur nécessaire actualisation à synchroniser avec l'évolution des méthodes de raisonnement agronomique.

D'autre part, l'accumulation régulière d'informations (comme l'acquisition de données climatologiques ou la réalisation régulière d'analyses sur parcelle) est une opportunité d'amélioration des référentiels mais qui nécessite des outils pour leur exploitation dans une perspective d'analyse statistique à l'aide des outils d'analyse exploratoire.

C'est dans cette perspective que nous envisageons d'adopter STICS pour la production de références agro-environnementales sur le département de Charente-Maritime, notamment en ce qui concerne les valeurs de minéralisation de l'humus, de reliquats et de pertes par lessivage, en corrélation avec résultats de production (rendement , teneur en protéines). A terme, sur la base d'un zonage combinant les stations climatiques et la situation des principaux sols du département, et à partir des cas de successions culturales propres au département, nous

Travaux préparatoires aux simulations : cartographies des conditions édaphiques.

En cours de constitution d'une base de données climatologiques, nous travaillons sur les situations climatiques des stations météo de La Rochelle, Saintes, Nuaillé sur Boutonne, Jonzac ou St Germain de Lusignan et Royan ou Saujon.

Pour obtenir des profils de sol exploitables pour l'outil de modélisation qui correspondent suffisamment à ceux identifiés sur le territoire et dont la probabilité de rencontre puisse être quantifiable par la surface de recouvrement, nous avons conduit un travail d'exploitation des informations proposées par la carte des pédopaysages IGCS au 1/250 000 de Charente-Maritime de 2007, les études cartographiques provenant du catalogue IGCS au 1/100 000, et leurs bases d'analyses proposées sous format DONESOL[1] , auxquelles a été associé le capital d'analyses de sol disponible en interne, et de l

[1] 1989. CARTE PEDOLOGIQUE DE FRANCE : FEUILLE FONTENAY-LE-COMTE - F14 - CARACTERISATION DES SOLS. Echelle au 1/100 000ème. Etude n°5997
1995. CARTE PEDOLOGIQUE DE FRANCE : FEUILLE LA-ROCHELLE - F15 - CARACTERISATION DES SOLS. Etude n°5999
1995. CARTE PEDOLOGIQUE DE FRANCE : FEUILLE ROYAN - F16 - CARACTERISATION DES SOLS. Echelle au 1/100 000ème. Etude n°5998

Ce travail a permis la construction d'une carte du parcellaire agricole départemental issu du RPG 2011 et classé par familles pédologiques de sols, puis la détermination des profils-type de sols avec leurs caractéristiques analytiques, qui alimenteront le paramétrage local de STICS.

En Charente-Maritime, c'est la famille des sols calcaires (calcosols et rendosols) qui est la plus représentée dans cette approche par profil type, soit 61% de la SAU, puis ce sont les sols de marais (sols sodiques ou salés et thalassosols), soit presque 10%, les quatre autres principaux types (luvisols, brunisols, planosols et fluviosols) représentent entre 4 et 7% de la SAU.

Cadre de l'étude

Nous avons choisi de commencer notre programme de modélisation par la région naturelle qui abrite la combinaison pédo-climatique la plus fréquente, à savoir la région Aunis-Nord Saintonge, pour la station climatique de Nuaillé sur Boutonne.
Sur cette situation, nous avons retenu les quatre cas de sols les plus représentatifs de cette région :

Calcosol leptique limono-argileux sur marne et calcaire (40 cm)
Calcosol hypercalcaire sur marne et calcaire (58 cm)
Rendosol plus ou moins argileux sur marne et calcaire (35 cm)
Fluviosol rédoxique hypercalcaire (85 cm).

Le blé tendre a été choisi comme première culture à étudier dans ce programme car il s'agit en effet de la culture principale sur le département (28% de la surface arable en 2013 – Agreste 2014). Deux orientations de scénario ont été appliquées dans la réalisation des simulations :

Une situation témoin sans intervention de fertilisation ou d'irrigation, qu'on pourrait qualifier de "témoin 0", et qui permet de fixer un niveau de production en situation minimaliste. Seule la fertilité du sol intervient en matière d'alimentation azotée et l'alimentation hydrique correspond à la situation naturelle.
Une situation idéale en matière d'alimentation avec le calcul automatique par le logiciel de l'intervention d'apport d'azote ou d'irrigation.

Exploitation des résultats de simulation

Les indicateurs simulés par STICS qui nous intéressent sont :

Dans le cas des deux simulations : date d'implantation, date de récolte, durée de cycle, évaluation de biomasse, évaluation de rendement, évaluation de taux de protéine, évaluation des pertes par lessivage, évaluation des reliquats et évaluation de la minéralisation globale du sol.
Dans le cas de la simulation « conditions idéales d'alimentation » : doses totales d'azote et d'eau, fractionnement des apports d'eau et dates d'apport.

Leur analyse, par méthode de statistique exploratoire unidimensionnelle et multidimensionnelle, en particulier à l'aide de l'analyse en composantes principales et de l'analyse factorielle discriminante, nous a permis d'obtenir des intervalles de valeurs probables en fonction des situations pédoclimatiques et l'identification de cas climatiques.

Nos perspectives de simulations à moyen et long terme devraient s'orienter vers la valorisation des informations climatiques, dans un cadre prospectif, pour évaluer, voire anticiper les impacts du changement climatique.

SALIN R., 2000. CARTE PEDOLOGIQUE DE FRANCE : FEUILLE ST-JEAN-D'ANGELY - G15 - CARACTERISATION DES SOLS. Echelle au 1/100 000ème. Etude n°5996

Elles pourront être confortées par un travail d'identification agrologique des sols du département, avec une volonté de se caler sur la typologie nationale proposée par le Référentiel pédologique français, et selon un objectif d'expertise des potentialités de production.

Les résultats attendus de ces simulations devraient prioritairement être utiles pour la préservation de la ressource en eau :

Détermination des plages de risque de pertes en azote pour des scénarios de systèmes culturaux pour des cas de figure « Sol » et « Climat » spécifiques du département ;

Classification des assolements-type en fonction de leur consommation en eau d'irrigation pour la construction des études d'incidence, des plans de répartition et des protocoles de gestion à développer par les OUGC.

SESSION 6 – Communications orales

Systèmes de culture innovants et paramétrages associés

Animateur : Marie Launay

APTITUDES DE STICS CALIBRE A ESTIMER LE RENDEMENT DU RIZ EN CAMARGUE LORSQU'IL EST CALIBRE SUR DES DONNEES EN PARCELLES AGRICOLES

ABILITIES OF STICS FOR ESTIMATING RICE YIELD IN CAMARGUE, WHEN CALIBRATED ON FARM FIELD DATA

Françoise Ruget, Kamran Irfan, Samuel Buis

INRA, UMR 1114 EMMAH, 84914 Avignon, France

Mots-clés : riz, calibration, estimation de rendement parcellaire ou moyen, données pauvres
Keywords : rice, calibration, field or mean yield estimation, poor data

Un ensemble de rendements de riz collectés en parcelles agricoles au cours d'un quart de siècle en Camargue a été utilisé pour calibrer STICS pour le riz. Notre objectif est de montrer la possibilité d'obtenir un jeu de paramètres pour simuler une culture nouvelle, dans des conditions relativement pauvres en données.

Description de la base de départ

La "base" de données est constituée de 4 bases élémentaires provenant du même laboratoire, mais où chacune avait son propre objectif scientifique et, par conséquent, des mesures un peu différentes. Il s'agit de mesures dans des parcelles d'agriculteurs censées représenter l'ensemble des conditions de Camargue, sns exclusion. L'essentiel des parcelles ne contient comme données sur la culture que des observations à la récolte. Sur les 472 parcelles, seules 31 ont des observations dynamiques (6 à 10 valeurs par cycle).

Sélection de parcelles ne présentant pas de facteurs limitants non simulés

Etant donné que les rendements peuvent avoir été affectés par différents facteurs limitants non pris en compte par le modèle, un tri sévère des parcelles à utiliser pour l'estimation de paramètres a été fait à partir (i) de l'analyse qui a été faite par Delmotte et al. (2011), complétée par une analyse agronomique et de vraisemblance des résultats (tableau 1). Lanalyse statistique de Delmotte conduit à éliminer environ 1/3 des parcelles à cause des adventices et quelques-unes à cause de la salinité. D'autres (20 %) sont éliminées pour manque d'information (sol, phénologie détaillée). Quelques autres, enfin, sont des parcelles à caractéristiques de peuplement soit non simulables (densités très faibles, accidents de fécondation) soit peu vraisemblables (densité de talles très élevées), ce qui conduit à une base de calibration-validation de 124 parcelles, soit un peu plus du quart de la base originale.

Tableau 1. Méthode et résultats de la sélection des parcelles dans la base disponible

Qualification de la base et des résultats obtenus

	Elimination	Raison	Seuil	Référence	Nombre de parcelles éliminées
Facteur limitant					
	adventices	non pris en compte directement	>0.8 t ha^{-1}	Delmotte et al., 2011	178
	salinité	parcelles au niveau de la maer Na/CEC	>0.23	Delmotte et al., 2011	14
	stérilité et faible indice de récolte (HI)I	provenant de basses températures	fert<.5 or HI<.35	Analyse agronomique	11
	Densité de plantes	couvert non continu, à cause de la densité très faible de plantes ou d'épis	plte.m^{-2}<100 or panicule.plte^{-1}<1		18
Informations manquantes ou douteuses					
	Propriétés de sol	pas d'information sur l'azote organique			44
	Phénologie	absence d'observation des dates d'initiation florale			60
	Variétés rares	pas d'information sur les feuilles			23

Selon la méthode présentée par Kersebaum et al., soumis et logiciel DatasetRanker), adaptée au riz, en éliminant les informations inutiles pour cette culture (informations sur la teneur en eau du sol), la plupart des types de données sont du niveau le plus faible possible (cuivre) particulièrement les variables d'état du couvert.

Malgré cette qualité médiocre, les valeurs obtrenues pour les 15 paramètres sélectionnés (parmi une cinquantaine d'actifs) sont pour la plupart logiques par rapport aux équations dans lesquelles ils apparaissent et aux connaissances qu'on a du comportement de l'espèce (ou des variétés, pour lesquels quelques paramètres ont été optimisés). Les valeurs des critères statistiques sont plutôt médiocres (tableau 2, une seule variable à efficience positive, le rendement).

Tableau 2. Critères statistiques exprimant la qualité des estimations selon le jeu de données sur lequel ils sont estimés (C calibration, V validation, S points "singuliers")

Variable ou Unité gamme	Jeu de données	Nombre de parcelles	Nombre total d'observations	Moyenne des valeurs observées **SD ou t ha^{-1}**	Moyenne des valeurs simulées **SD ou t ha^{-1}**	Efficience **[-∞,1]**	RMSE **SD ou t ha^{-1}**	rRMSE **[0,~1]**	RMSEu **SD ou t ha^{-1}**	RMSEs **SD ou t ha^{-1}**
LAI	C+V	10	76	2.72	3.28	-1.063	2.369	0.871	0.561	2.302
	C+V-S	0	0							
Biomasse	C+V	124	124	13.07	13.12	-0.092	2.756	0.211	1.884	2.011
	C+V-S	69	69	13.37	13.01	0.2	2.126	0.159	1.337	1.653
Rendement	C+V	124	124	6.53	6.57	0.104	1.220	0.187	0.868	0.857
	C+V-S	69	69	6.58	6.40	0.399	0.937	0.142	0.684	0.64
Nb grains	C+V	124	124	28470	25772	-0.087	7126	0.25	5786	4158
	C+V-S	69	69	28739	30939	0.119	5798	0.202	4738	3341

Néanmoins, le modèle donne de "bonnes" réponses aux facteurs discontinus avec lesquels les rendements ont varié : année, type de sol, variété (figure1 a, b, c). Avec la fertilisation (figure 1d), facteur numérique, la relation est bonne sauf aux faibles et fortes fertilisations, ce qui dénote certainement des défauts d'estimation concernant la fourniture d'azote du sol et les paramètres de croissance potentielle.

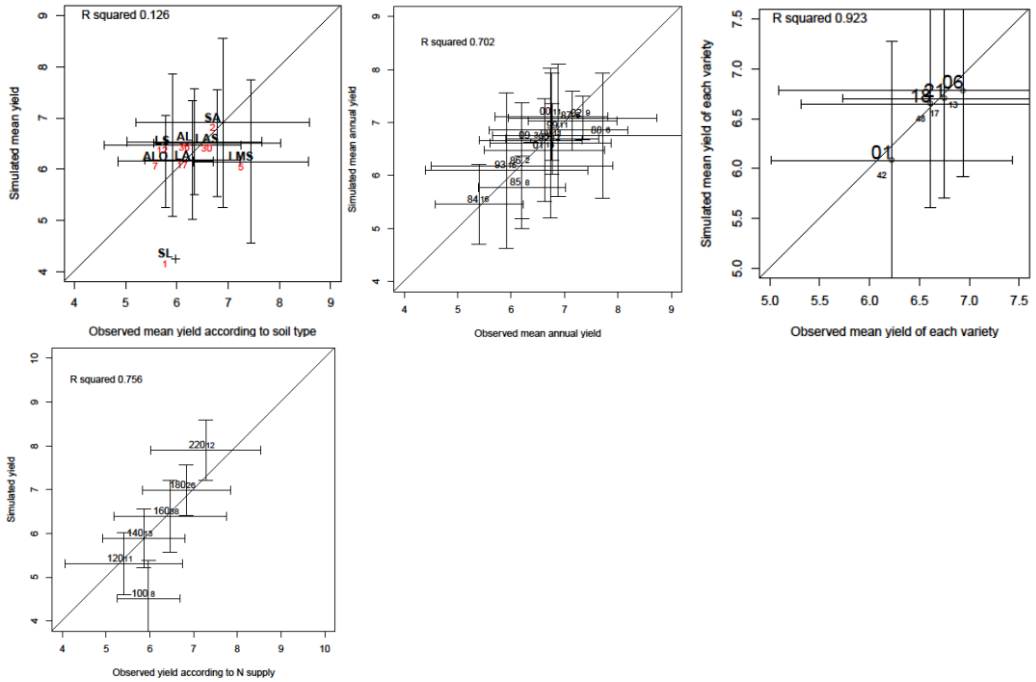


Figure 1. Moyennes des rendements simulés et observés, groupés selon différentes modalités : a. type de sol, b.année, c., variété, d. fertilisation

Par ailleurs, les points les plus excentrés du nuage de valeurs simulées ont pu être expliqués, par des facteurs mal identifiés au préalable : sols très sableux, sols salins (abaissement du seuil), enfouissemnt de résidus, biomasseet rendement du jeu de données conçu pour étudier le LAI). La base quoique légèrement réduite, par cette sélection supplémentaire présente alors de bien meilleures valeurs de critères statistiques (tableau 2).

Le paramétrage obtenu semble correct, quoique la réponse à la fertilisation ne soit pas tout à fait satisfaisante. Une plus grande sévérité dans la sélection aurait peut-être amélioré la qualirté des

estimations, mais il est probable qu'il faudrait quelques données de parcelles au potentiel pour obtenir un résultat plus satisfaisant.

Références

Delmotte, S., Tittonell, P., Mouret, J.C., Hammond, R., Lopez-Ridaura, S., 2011. On farm assessment of rice yield variability and productivity gaps between organic and conventional cropping systems under Mediterranean climate. European Journal of Agronomy 35, 223-236.

Kersebaum K.C., Boote K.J., Jorgenson J.S., Nendel C., Bindi M., Frühauf C., Gaiser T., Hoogenboom G., Kollas C., Olesen J.E., Rötter R.P., Ruget F., Thorburn P., Trnka M., Wegehenkel M. Analysis and classification of data sets for calibration and validation of agro-ecosystem models Soumis à Env Soft

SIMULATION AVEC LE MODELE STICS DE 6 SYSTEMES DE CULTURE A BAS INTRANTS INCLUANT DES LEGUMINEUSES A GRAINES ET DES CULTURES INTERMEDIAIRES

Daniel Plaza-Bonilla et Eric Justes

INRA, UMR 1248 AGIR, Toulouse, France

Mots clés: culture intermédiaire; système de culture; légumes à graines; rotation; simulation; STICS

Introduction

The design of low-input cropping systems is one of the key strategies to reduce the environmental impact of agriculture while maintaining productivity. In these systems a part of the fertilizer-N applied is usually replaced by the inclusion of legumes within the rotations while the use of cover crops aimed to better couple nutrient and N cycling and cash crop requirements. The objective of this work was to analyze the ability of the STICS model (Brisson et al. 1998, 2002, 2003) to simulate successions of crops in different rotations to assess the performance of different innovative cropping systems and better analyse the N balance using STICS outputs.

Materials and Methods

In order to study the sustainability and productivity of the inclusion of legumes and cover crops in the rotations, a low-input cropping system experiment was established at INRA Auzeville (SW France) in 2003. The experiment consisted in a split-plot design with three replications. In the main plot, three 3-year rotations without (GL0), and with one (GL1) and two (GL2) grain legumes were compared whereas the presence (CC) or absence (F, fallow) of cover crops was compared in the sub-plot. The GL0 treatment consisted in a sorghum – sunflower – durum wheat rotation. The GL1 treatment was based on a sunflower – winter pea – durum wheat rotation, while the GL2 treatment consisted on a soybean – spring pea – durum wheat rotation. Mustard, vetch and a vetch – oat mixture were used as cover/catch crops. The use of cover crops aimed to (i) reduce the losses of nitrate due to leaching and/or (ii) produce a green manure effect allowing the reduction of mineral N fertilization with the use of a legume.
Crop biomass, grain production, crop N uptake, the amount of mineral N and water in the soil in key stages of the cropping cycle and the amount of N fixed by legume cash and cover crops by the ^{15}N natural abundance method were measured during two successive three-year rotations (6 years). The capacity of the STICS model to simulate with precision the different cropping systems was tested. In order to do so, a parameterization of the different crops and varieties of the three rotations was performed using observed data of all the F treatment. Special attention was paid to well simulate biomass, N uptake and grain production. The predictive performance of the model was tested by simulating the CC treatments and calculating the: (i) model efficiency (EF), (ii) mean deviation (MD), (iii) normalized root mean square error (nRMSE) and (iv) R-square (R^2). Crop management practices and pedoclimatic conditions were used as model inputs.

Results and Discussion

The model performed well when simulating the successive units of simulation (USM) of the different rotation tested (Table 1). For instance, for the two rotation cycles (6 years) positive efficiencies (EF) were observed when predicting aboveground biomass and grain yield in the GL0, GL1 and GL2 rotations (Table 1). Accurate successive simulations of grain yield were also obtained when distinguishing between the different cash crops of the rotation studied (Figure 1). STICS performed correctly when simulating grain yields of durum wheat, winter pea, soybean and spring pea, while the agreement between observed and simulated values was lower for sorghum and sunflower (Figure 1). Similarly than crop biomass, a good

agreement between simulated and observed values of N uptake was also observed for the two cycles of the 3-yr rotations. Similarly, the amount of N fixed by the legumes was correctly simulated in GL1 and GL2 (Table 1). These results confirms the robustness of the STICS model to simulate correctly a wide range of crops (Coucheney et al., 2015)

Table 1 Model efficiency (EF), mean deviation (MD), normalized RMSE (nRMSE) and R^2 of the simulation of 2 consecutive 3-year rotations without (GL0) and with one (GL1) and two (GL2) grain legumes with cover crops.

	Biomass (t DM ha^{-1})			Grain yield (t DM ha^{-1})			N uptake (kg N ha^{-1})			N_2 fixed (kg N ha^{-1})	
	GL0	GL1	GL2	GL0	GL1	GL2	GL0	GL1	GL2	GL1	GL2
EF	0.90	0.90	0.86	0.59	0.48	0.64	0.74	0.73	0.70	0.79	0.56
MD	0.08	-0.48	0.54	0.24	0.06	0.07	6.79	18.26	16.19	-8.4	-18.49
nRMSE	20%	24%	25%	24%	28%	18%	28%	34%	32%	43%	32%
R^2	0.90	0.91	0.88	0.59	0.65	0.68	0.76	0.79	0.74	0.79	0.67

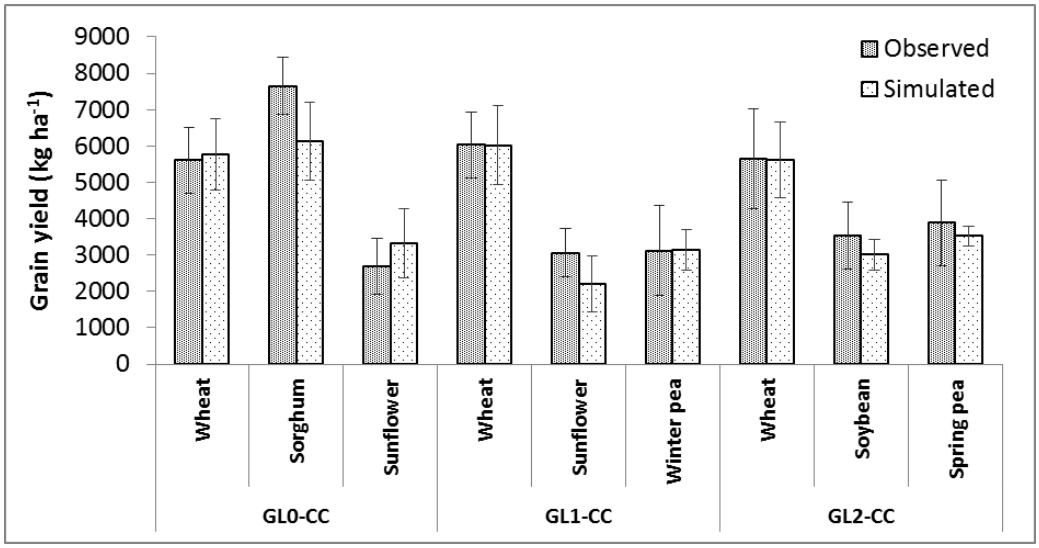


Figure 1. Grain yield of the different cash crops used in each rotation with cover crops (GL0, GL1 and GL2, 3-year rotation with 0, 1 and 2 grain legumes, respectively). Values are the mean of seven years of experiment. For each rotation, each cash crop was grown each year. Vertical bars correspond to the standard deviation.

Conclusion

This preliminary results show the potential of STICS to simulate successions of crops in different rotations and consequently to assess the performances of various cropping systems including legumes and cover crops. The outputs could then be use to analyse N dynamic at the rotation level.

References

Brisson, N. et al. 1998. Agronomie 18, 311-346 ; Brisson, N. et al. 2002. Agronomie 22, 69-92.
Brisson, N. et al. 2003. Eur. J. Agr. 18, 309-332.
Coucheney, E. et al. 2015. Envir. Model. & Soft, 64, 177-190.

MODELISATION AVEC STICS DES EFFETS DE NON TRAVAIL VERSUS TRAVAIL DU SOL EN SYSTEMES DE CULTURE SOUS DES CONDITIONS PEDOCLIMATIQUES CONTRASTEES

MODELING WITH STICS THE EFFECTS OF NO-TILLAGE VS. TILLAGE IN CROPPING SYSTEMS UNDER CONTRASTING PEDOCLIMATIC CONDITIONS

Cecilia M. Armas-Herrera[1], Nicolas Beaudoin[1], Silvina B. Restovich[2], Adrian E. Andriulo[2], François Affholder[3], Alexandra Maltas[4], Jørgen E. Olesen[5], Behzad Sharif[5], François Laurent[6], Jean-Pierre Cohan[6], Bruno Mary[1]

[1] INRA UR1158 AgroImpact, site of Laon, Barenton-Bugny, France;[2] INTA EAA Pergamino, Argentina; [3] CIRAD UPR AIDA, Montpellier, France; [4] Agroscope, Nyon, Switzerland; [5] Aarhus University, Tjele, Denmark ; [6] Arvalis Institut du Végétal, Boigneville, France

Mots clés : STICS, paillis, no-labour, semis direct, systèmes de culture, bilan d'eau et N, culture intermédiaire

Keywords : STICS, mulch, no-tillage, direct drilling, cropping systems, water and N balances, catch crop

Introduction

STICS a été largement utilisé dans de nombreux contextes agro-environnementaux, en particulier en France. Il a été testé en situation labourée et climat tempéré *a contrario* des systèmes de non-labour en zones tropicales. Quelques études ont évalué STICS dans des conditions tropicales, mais elles sont basées sur d'anciennes versions du modèle où les processus biologiques de dégradation du mulch de résidus de culture ne sont pas décrits. Nos hypothèses sont : i) les bilans d'eau, d'azote et de carbone à court, moyen ou long terme sont davantage sensibles aux modalités de décomposition du mulch qu'à la structure du sol, quand on compare les impacts du non travail du sol et du labour ; ii) le comportement et le devenir du mulch dépendent fortement des interactions advenant au sein du système techno-pédo- climatique. Notre stratégie a été de tester la capacité de STICS (v8.3.1) à simuler les systèmes de culture basés sur le non-labour et avec une couverture permanente d'un paillis de résidus de plantes sous les climats contrastés de plusieurs sites expérimentaux.

Méthodologie

Quatre sites expérimentaux ont été choisis dans des conditions tempérées et tropicales, situés en France (*Boigneville*), Danemark (*Foulum*), Argentine (*Pergamino*) et Brésil (*Rio Verde*). A *Boigneville* les traitements croisent la présence d'une culture intermédiaire (CI) *vs*. sol nu et le labour conventionnel (CT) *vs*. absence de travail du sol (NT) (Constantin et al. 2010). La rotation des cultures inclut le blé d'hiver, l'orge de printemps et le pois, avec des résidus toujours restitués au sol. Les traitements à *Foulum* croisent le labour du sol *vs*. le semis direct (SD) et la paille enlevée *vs*. restituée, tous incluant des CI (Hansen et al. 2010). La rotation des cultures est constitué par le blé d'hiver, orge de printemps et d'hiver, avoine et pois. L'expérimentation à *Pergamino* comprend différents CI *vs*. sol nu et deux niveaux de fertilisation dans une rotation maïs-soja sous NT et SD (Restovich et al 2012). A *Rio Verde*, nous avons sélectionné une chronoséquence d'une rotation maïs-soja de différents âges (2, 6, et 14 années) sous SD et un paillis permanent de résidus (Maltas et al. 2007). STICS a été évalué en comparant les prédictions du modèle avec les valeurs observées. Pour chaque site, nous avons testé la prédiction de i) la biomasse aérienne totale et azotée durant le cycle cultural (masec et QNplante) et celles des grains à la récolte (mafruit et QNgrain); ii) le bilan d'eau: teneur en eau du sol (*resmes*) et drainage (*drat*); et iii) bilan de N: N minéral du sol (*azomes*) et lessivage de nitrates (*QLES*). *Drat* and *QLES* n'ont pas été simulés à *Rio Verde*. Les modes de simulations annuelles et enchaînées sont comparés sur les sites de *Boigneville* (1991-2006), *Foulum* (2002-2012) et *Pergamino* (2005-2013). A *Rio Verde,* le dispositif ne permet pas d'exécuter des simulations continues. Trois

critères statistiques ont servi à évaluer la performance du modèle: la différence moyenne (MD), l'erreur quadratique moyenne (RMSE), et l'efficacité du modèle (EF).

Résultats et discussion

Nous avons dû adapter le paramétrage du maïs et du soja aux variétés tropicales semées sur nos sites, et ré-estimer le taux d'augmentation de l'indice de récolte de N en fonction du temps (*vitirazo*), le poids de grain maximal (*pgrainmaxi*), le nombre maximum de graines (*nbgrmax*), et la température maximale au-dessus de laquelle le grain arrête son remplissage (*tmaxremp*). A *Foulum,* l'étalonnage des variétés locales de blé, orge d'hiver et pois fut aussi nécessaire. Après cette calibration, les simulations étaient correctes avec enchaînement des usm pour la plupart des variables de sortie sélectionnées (0.4<EF<0.8). La principale exception était *resmes* à *Pergamino* et *azomes* à *Boigneville*, dont les résultats ont été meilleurs en réinitialisation annuelle. Les résultats dans le site de *Rio Verde* ont été bons (0.5<EF<0.9). Toutefois, il a été nécessaire de calibrer des paramètres généraux : fraction de N organique du sol inactif pour la minéralisation (*Finert*), quantité minimale de pluie nécessaire pour produire ruissellement (*pminruis*) et coefficient de diffusion de N-nitrate dans le sol à la capacité au champ (*difN*) pour les adapter aux conditions tropicales (Sierra et al. 2003).

Il a été possible d'évaluer directement la capacité de la nouvelle version à reproduire les données de paillage des résidus de récolte seulement à Rio Verde, alors qu'elles faisaient défaut sur les autres sites. Il apparaît bien que le même formalisme de décomposition des résidus, avec deux jeux de paramètres, l'un adapté aux résidus en mulch et l'autre aux résidus enfouis, est apte de prédire leur devenir de façon réaliste. Dans un proche avenir, cette aptitude sera évaluée indirectement par la comparaison des stocks eau, de carbone et d'azote du sol (minéral et organique) observés et simulés.

Remerciements :

Cette étude a été conduite dans le cadre du projet IDE-STICS, financé par le département INRA -E&A.

Références bibliographiques

Constantin J., Mary B., Laurent F., Aubrion G., Fontaine A., Kerveillant P., Beaudoin N., 2010 - Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. Agriculture, Ecosystems and Environment 135, 268-278.

Hansen E.M., Munkholm L.J., Melander B., Olesen J.E., 2010 - Can non-inversion tillage and straw retainment reduce N leaching in cereal-based crop rotations? Soil & Tillage Research 109, 1-8.

Maltas A., Corbeels M., Scopel E., Oliver R., Douzet J.-M., Macena da Silva F.A., Wery J., 2007 - Long-term effects of continuous direct seeding mulch-based cropping systems on soil nitrogen supply in the Cerrado region of Brazil. Plant & Soil 298, 161-173.

Restovich S.B., Andriulo A.E., Portela S.I., 2012 - Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humids Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. Fields Crops Research 128, 62-70.

Sierra, J., Brisson, N., Ripoche, D. and Noel, C., 2003. Application of the STICS crop model to predict nitrogen availability and nitrate transport in a tropical acid soil cropped with maize. Plant & Soil 256, 333-3

SIMULATION AVEC LE MODELE STICS DES SERVICES ECOSYSTEMIQUES DE GESTION DE L'AZOTE PRODUITS PAR DES CULTURES INTERMEDIAIRES BISPECIFIQUES

SIMULATING WITH STICS MODEL THE ECOSYSTEM SERVICES OF N MANAGEMENT PRODUCED BY COVER CROPS IN MIXTURE

Hélène Tribouillois et Eric Justes

INRA – UMR AGIR INRA-INPT, Toulouse-Auzeville, France

Mots clés : simulation, CIPAN, engrais vert, lixiviation, mélange, légumineuse, non-légumineuse
Keywords : simulation, catch crop, green manure, nitrate leaching, intercrop, legume, non-legume

Introduction

Un des objectifs de l'implantation de culture intermédiaire (CI) en interculture (entre deux cultures principales) est de piéger l'azote minéral restant dans le sol après la récolte de la culture précédente et celui issu de la minéralisation « naturelle » de l'N organique du sol. Cette fonction permet de limiter la lixiviation de l'azote nitrique (CIPAN). Toutefois, ces CI peuvent aussi produire d'autres services écosystémiques, notamment celui d' « engrais vert » qui permet de restituer de l'N minéral pour la culture de vente suivante après destruction (Justes et al., 2012; Thorup-Kristensen et al., 2003). L'objectif de ce travail est de quantifier, via la modélisation et l'utilisation de STICS, la production de services écosystémiques de gestion de l'azote pour des mélanges bispécifiques et des cultures pures de CI, en comparaison à un sol laissé « nu » (sans CI). L'hypothèse testée ici est que les mélanges bispécifiques associant une légumineuse à une non-légumineuse pourraient simultanément remplir les deux fonctions de piège à nitrate grâce à la non-légumineuse et de renforcer l'effet engrais vert via la légumineuse.

Matériels et méthode

Pour répondre à cet objectif nous avons utilisé le modèle de culture STICS pour quantifier i) le piégeage de l'N nitrique et l'effet sur la quantité d'N lixivié et ii) l'effet d' « engrais vert » via la simulation de la quantité d'azote minéralisé à partir des résidus enfouis après la destruction des cultures intermédiaires (mono ou bispécifiques). STICS a été choisi car il a déjà été évalué comme performant pour l'estimation de la lixiviation nitrique et de la minéralisation de l'azote à partir de résidus de cultures intermédiaires (Constantin et al., 2012; Justes et al., 2009). Les simulations ont été réalisées pour évaluer en comparatif: 25 mélanges bispécifiques, 5 légumineuses et 5 non-légumineuses monospécifiques et un sol « nu ». Les simulations ont été initialisées à partir de la date de destruction automnale des couverts (novembre) et ont été réalisées jusqu'à mai suivant où le drainage était terminé et la minéralisation des résidus à court terme quasiment complète. Afin de savoir si de la lixiviation s'était produite pendant la période de croissance des simulations ont été faites, mais uniquement pour les cultures pures et le sol nu car la version actuelle du modèle STICS pour les cultures associées (STICS-intercropping) n'a pas donné de résultats satisfaisants pour simuler la croissance des CI en mélange. Au final, seule la version standard (v. 8.3) a été utilisée pour simuler la croissance des cultures monospécifiques. Afin d'initialiser le modèle, et de paramétrer les cultures pures, nous avons réalisé une campagne d'essais au champ en 2012 qui avait pour objectif d'étudier 25 mélanges bispécifiques, 10 cultures pures correspondantes et un sol nu sur trois sites pédoclimatiques contrastés : INRA Auzeville (31), ARVALIS Bignan (56) et Lyon (69). Les semis ont eu lieu en août et les destructions des couverts en novembre. Les reliquats azotés et le stock d'eau du sol ont été mesurés au semis et la destruction des couverts ainsi que la biomasse et le ratio C/N des couverts; ces mesures ont servi de données d'entrée pour initialiser le modèle STICS.

Résultats et discussion

Les résultats de simulations ont mis en évidence que les mélanges bispécifiques de CI légumineuse/non-légumineuse permettaient de réduire la lixiviation de nitrate après une destruction automnale des couverts, ceci par rapport à un sol nu. Bien que les performances varient en fonction des espèces associées et des sites pédoclimatiques, globalement, les mélanges réduisent la lixiviation avec une efficacité proche de celle des non-légumineuses pures, couramment utilisées pour produire ce service. Les couverts de légumineuses monospécifiques sont par contre moins efficaces, mais leur effet de réduction est significatif en comparaison au sol nu, confirmant qu'il est préférable d'avoir un couvert de légumineuse à forte vitesse de croissance semé en fin d'été que de laisser le sol « nu » en interculture vis-à-vis de la pollution nitrique. La quantité simulée d'N minéralisée à partir des résidus des mélanges de CI enfouis à l'automne s'est révélée être intermédiaire entre celle permise par les légumineuses en pure et celle des non-légumineuses en pure. Ces résultats sont en accord avec ceux issus de la littérature bien qu'ils aient été obtenus par expérimentation et dans d'autres pédoclimats (e.g. Tosti et al. 2012). Ainsi, bien qu'aucun mélange n'ait atteint le niveau maximal (100%) produit par les cultures pures pour chacun des deux services escomptés, certains mélanges ont montré une excellente capacité de piégeage du nitrate et un effet « engrais vert » d'au moins 80% d'atteinte de chacun des deux services visés (ex. mélanges raygrass italien/vesce pourpre et phacélie/féverole), indiquant l'intérêt des mélanges bi-spécifiques pour produire simultanément ces 2 services écosystémiques lorsque le mélange est complémentaire. Par ailleurs, nous avons également réalisé des simulations pour étudier l'effet de 3 dates de destruction sur la production des services par les mélanges. Les résultats des simulations ont montré que certains mélanges produisent un effet graduel entre ces deux services, indiquant qu'il est possible d'adapter le choix des mélanges en fonction de la date de destruction et de la situation de l'interculture (N résiduel, risque de lixiviation).

Bien que ces résultats montrent l'intérêt des mélanges de cultures intermédiaires, il serait utile de disposer d'un modèle dynamique, comme STICS, correctement paramétré et validé pour simuler les flux d'azote pendant la période de croissance des cultures intermédiaires en mélange bispécifique.

Références bibliographiques

Constantin, J., Beaudoin, N., Launay, M., Duval, J., Mary, B., 2012. Long-term nitrogen dynamics in various catch crop scenarios: Test and simulations with STICS model in a temperate climate. Agric. Ecosyst. Environ. 147, 36–46.

Justes, E., Beaudoin, N., Bertuzzi, P., Charles, R., Constantin, J., Dürr, C., Hermon, C., Joannon, A., Le Bas, C., Mary, B., Mignolet, C., Montfort, F., Ruiz, L., Sarthou, J.P., Souchère, V., Tournebize, J., 2012. Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires: Conséquences sur les bilan d'eau et d'azote, autres services écosystémiques. Rapport d'étude, INRA France.

Justes, E., Mary, B., Nicolardot, B., 2009. Quantifying and modelling C and N mineralization kinetics of catch crop residues in soil: parameterization of the residue decomposition module of STICS model for mature and non mature residues. Plant Soil 325, 171–185.

Thorup-Kristensen, K., Magid, J., Jensen, L.S., 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. Adv. Agron. 79, 227–302.

Tosti, G., Benincasa, P., Farneselli, M., Tei, F., Guiducci, M., 2012b. Barley–hairy vetch mixture as cover crop for green manuring and the mitigation of N leaching risk. Eur. J. Agron. 54, 34–39.

SESSION 6 - Posters

Systèmes de culture innovants et paramétrages associés

Animateur : Marie Launay

INTEGRATION DE DONNEES SIMULEES PAR STICS DANS UN INDICATEUR AGRO-ENVIRONNEMENTAL DE COUVERTURE DU SOL

INTEGRATING SIMULATION DATA FROM THE STICS CROP MODEL INTO AN INDICATOR FOR SOIL COVER

Lucie Büchi[1], Alain Valsangiacomo[2], Enguerrand Burel[3], Raphaël Charles[1]

[1] Agroscope, Institute for Plant Production Sciences, 1260 Nyon, Suisse ; [2] Agroscope, Institute for Sustainability Sciences, Competence Centre AEI, 8046 Zürich, Suisse ; [3] Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère UMR 5126, 32000 Auch, France

Mots clés : protection du sol, agriculture de conservation, réseau d'exploitations, monitoring agro-environnemental
Keywords : soil protection, conservation agriculture, farm network survey, agri-environmental monitoring

Introduction

La protection des sols est un facteur central dans le développement d'une agriculture plus durable. Cet objectif est au cœur de l'agriculture de conservation, qui se base sur trois principes fondamentaux : 1) travail minimal du sol, 2) diversification de la rotation et associations, 3) couverture « permanente » du sol. Une couverture du sol élevée contribue à la protection des sols. Elle réduit les risques d'érosion et la perte en éléments minéraux ou organiques (nutriments, pesticides, métaux lourds), permet de lutter contre les adventices et contribue au maintien de la fertilité du sol. Elle est directement liée au choix des espèces cultivées et à leur organisation dans la rotation, à leur dynamique de développement saisonnier, du semis jusqu'à la récolte, et aux modalités de gestion de l'interculture. Dans cette étude, un indicateur agro-environnemental de couverture du sol est présenté. Il se base sur le dépouillement centralisé des indicateurs agro-environnementaux (DC-IAE) que l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) utilise pour son monitoring visant à évaluer l'influence de l'agriculture sur l'environnement en Suisse (OFAG, 2014). Cet indicateur vise à prendre en compte la couverture offerte par la culture elle-même, ainsi que celle par les résidus de culture, pour une période allant de la récolte du précédent à la récolte de la culture principale. Des données issues de simulations avec le modèle de culture STICS (Brisson et al., 1998, 2002, 2003) ont été intégrées pour évaluer la dynamique de la couverture du sol pendant la période de croissance de la culture dans différents environnements, en Suisse. Elle remplace des valeurs constantes et génériques usuellement considérées. En effet, il s'agit de prendre en compte les variations climatiques et pédologiques, ainsi que des facteurs de l'itinéraire technique.

Matériel et Méthodes

L'unité de calcul de l'indicateur est la parcelle agricole. Le résultat est exprimé en un nombre de jours couverts SCD (nombre de jours couverts à 100%, 2 jours couverts à 50% = 1 jour couvert à 100%) ou en un taux de couverture, en suivant la méthodologie développée au Canada (Huffman et al. 2000, 2015). La dynamique de couverture journalière par les cultures est simulée avec STICS pour les principales cultures cultivées en Suisse. Le LAI (leaf area index) est la variable de sortie de STICS utilisée pour estimer le taux de couverture sc, selon la relation sc=1-exp(-KxLAI) avec K le coefficient d'extinction de la culture considérée. Les taux de couverture journaliers sont ensuite sommés sur la période de présence de la culture pour obtenir le nombre de jours couverts SCD pour différentes conditions pédoclimatiques et dates de semis. La couverture par les résidus de culture est évaluée à partir de données collectées dans la littérature technique et de vulgarisation afin d'estimer le taux de couverture après récolte, le taux d'incorporation des résidus lors des travaux du sol et le taux de décomposition de ces résidus. Les SCDs de la phase de culture

et d'interculture sont ensuite sommés pour obtenir le SCD total, lui-même divisé par le nombre de jours écoulés pour obtenir un taux de couverture moyen.
Cet indicateur a été appliqué à un jeu de données issu d'un réseau d'exploitations agricoles (4000 parcelles en moyenne sur 3 années consécutives) réparties dans toute la Suisse, et fournissant des données détaillées d'itinéraires techniques par parcelle dans le cadre du DC-IAE.

Résultats et Discussion

La dynamique de couverture du sol simulée par STICS donne des résultats contrastés en fonction du type de culture, de la date de semis et des conditions pédoclimatiques.
La comparaison des six cultures principales cultivées en Suisse (automne : blé, colza, orge ; printemps : maïs ensilage, betterave, pomme de terre) montre qu'une large gamme de taux de couverture du sol peut être obtenue. L'orge d'automne et le maïs ensilage atteignent les plus haut taux de couverture, respectivement 69% et 75% en moyenne, bien qu'une grande variabilité soit observée. La plus grande variabilité est obtenue pour les cultures de printemps. En effet, au vu de leur période de végétation courte, une part importante de la couverture est déterminée par l'interculture, avec une grande variabilité selon les techniques culturales et la présence ou non de cultures intermédiaires. Pour les cultures d'automne, la date de semis en interaction avec le climat apparaît comme un facteur déterminant. La considération de ces facteurs améliore ainsi la qualité de l'indicateur.
Les exploitations de grandes cultures présentent en moyenne 61% de taux de couverture, une valeur largement inférieure aux exploitations de polyculture-élevage (80%). Une adoption plus large des principes de l'agriculture de conservation permet d'améliorer cette couverture qui, pour un maïs, peut passer de 30% à 80% de couverture en fonction des pratiques culturales considérées.

Références bibliographiques

Brisson N., Mary B., Ripoche D., Jeuffroy M.H., Ruget F., Gate P., Devienne-Barret F., Antonioletti R., Durr C., Nicoullaud B., Richard G., Beaudoin N., Recous S., Tayot X., Plenet D., Cellier P., Machet J.M., Meynard J.M., Delecolle R., 1998 - STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balance. I. Theory and parametrization applied to wheat and corn. Agronomie, 18, 311-346.
Huffman E., Eilers R.G., Padbury G., Wall G., MacDonald K.B., 2000 - Canadian agri-environmental indicators related to land quality: integrating census and biophysical data to estimate soil cover, wind erosion and soil salinity. Agriculture, Ecosystems & Environment, 81, 113–123.
Brisson N., Ruget F., Gate P., Lorgeou J., Nicoullaud B., Tayot X., Plenet D., Jeuffroy M.H., Bouthier A., Ripoche D., Mary B., Justes E., 2002 - STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. II. Model validation for wheat and corn. Agronomie, 22, 69-93.
Brisson N., Gary C., Justes E., Roche R., Mary B., Ripoche D., Zimmer D., Sierra J., Bertuzzi P., Burger P., Bussière F., Cabidoche Y.M., Cellier P., Debaeke P., Gaudillère J.P., Hénault C., Maraux F., Seguin B., Sinoquet H., 2003 - An overview of the crop model STICS. European Journal of Agronomy, 18, 309-332.
Office fédéral de l'agriculture OFAG, 2014 – Rapport agricole 2014, 320 pp., Berne.
Huffman E., Liu J., Green M., Coote D.R., Li Z., Liu H., Liu T., Zhang X., Du Y., 2015 - Improving and evaluating the soil cover indicator for agricultural land in Canada. Ecological Indicators, 48, 272-281.

LES PERTES DE C ET N ORGANIQUE DU SOL SONT REDUITES GRACE A L'INTRODUCTION DE CULTURES INTERMEDIAIRES DANS LES ROTATIONS AVEC LEGUMINEUSES : SIMULATIONS AVEC LE MODELE STICS

SOIL ORGANIC C AND N LOSSES ARE REDUCED WHEN COVER CROPS ARE USED IN GRAIN LEGUME ROTATIONS: SIMULATION WITH THE STICS MODEL

Daniel Plaza-Bonilla et Eric Justes

INRA, UMR 1248 AGIR, Toulouse, France

Keywords: cover crop; grain legumes; rotation; soil organic carbon; soil organic nitrogen; STICS

Introduction

The need for more sustainable cropping systems has been pointed out as one of the main challenges of current agriculture. In this line, grain legumes play a major role given their ability to establish symbiosis for the fixation of N_2 and, as a consequence, reducing the needs of synthetic fertilizers. In turn, other management practices such as the use of cover crops has been suggested as a viable mean to increase soil organic carbon (SOC) and nitrogen (SON) given their impact on C and N inputs and other ecosystem services such as the reduction in soil erosion and N leaching. However, there is still a need to determine the impact of the inclusion of legumes in cropping systems on SOC and SON given their higher decomposability due to a low C:N ratio and lower amounts of C returning to soil.

Materials and Methods

We simulated 2 or 3 sequences of three 3-year rotations with different levels of inclusion of grain legumes: GL0, GL1 and GL2, no, one (winter pea) and two grain legumes (soybean and spring pea) included in the rotation, respectively, with (CC) or without (F, fallow) catch crops using the data obtained in a field experiment located in INRA Auzeville (SW France). A conceptual diagram of the different cropping systems studied is shown in Figure 1.

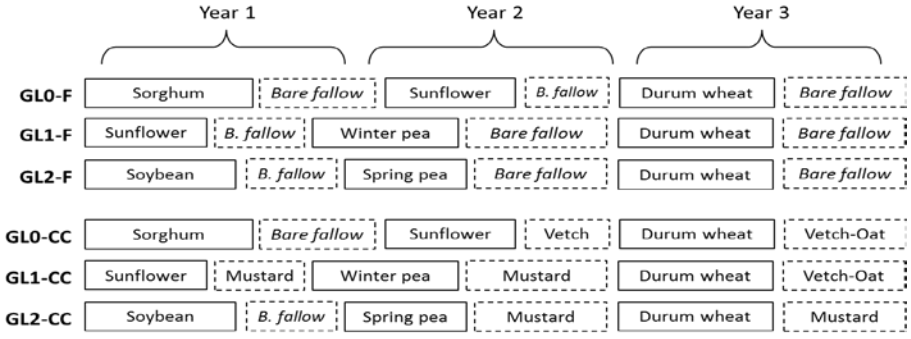


Figure 1 Conceptual diagram of the six 3-year cropping systems tested in the experiment (GL0, GL1 and GL2: 0, 1 and 2 grain legumes in each rotation, respectively, CC and F: cover crop and bare fallow, respectively).

The experiment consisted in a split-plot design with three blocks and two zones of sampling. In order to quantify SOC and SON, soil samplings at the ploughing depth (0-30 cm) were performed at the beginning of the experiment (2003) and successively in 2006, 2009 and 2012 for GL0 and GL1, and 2006 and 2009 for GL2. The Dumas method was used to quantify C and N. Bulk density was also quantified in all plots (0-30 cm) by the cylinder method. SOC and SON stocks were calculated at the equivalent soil mass. The STICS model (Brisson et al. 1998, 2002, 2003) was used to simulate the effects of the different rotations on SOC and SON changes over two or three rotation cycles (i.e. 6 or 9 years) after being parameterized in order to

reach a precise prediction of the amount of biomass produced, the amount of nitrogen acquired by each crop of the rotation and the fraction of soil organic matter which can be decomposed by soil microorganisms.

Results and Discussion

The STICS model simulated reasonably well the amount of biomass produced by the different cash and cover crops of the rotation and their N uptake (model efficiency, EF: 0.86 and 0.72 without bias, respectively). In turn, STICS model was able to simulate correctly SOC (EF: 0.96) and SON (EF: 0.81) stocks (Figure 2a and b). The preliminary results obtained show a decrease in SOC when no cover crops are used regardless of the amount of grain legumes in the rotation. As an average, for the period simulated, the model predicted a loss of 8.1%, 4.3% and 6.7% of the initial total SOC in the first 30 cm of soil when no cover crops were used in the GL0, GL1 and Gl2 treatments, respectively, while a decrease of a 4.9%, 1.9 and 1.3% was simulated with cover crops in GL0, GL1 and GL2, respectively. In the treatments without cover crop the model tended to attenuate SOC losses when increasing the amount of grain legumes in the rotation, a fact which is not in line with the observed dynamics of SOC in the field experiment where, after 6 years, an annual loss of SOC of 411±323 and 259±315 kg C ha^{-1} was observed under the GL1 and GL2 treatments, respectively. Those results could be related to a partial lack of simulation of the priming effect caused by the incorporation of low C:N ratio crop residues. As a difference, the model predicted the maintenance or increase of SOC levels when including cover crops, mainly in the GL1 and GL2 treatments. Similarly, STICS predicted a slight increase of SON over time when using cover crops in the GL1 and GL2 treatments, while a decrease of SON was predicted without cover crops, being more accentuated in the GL0 and GL2 treatments.

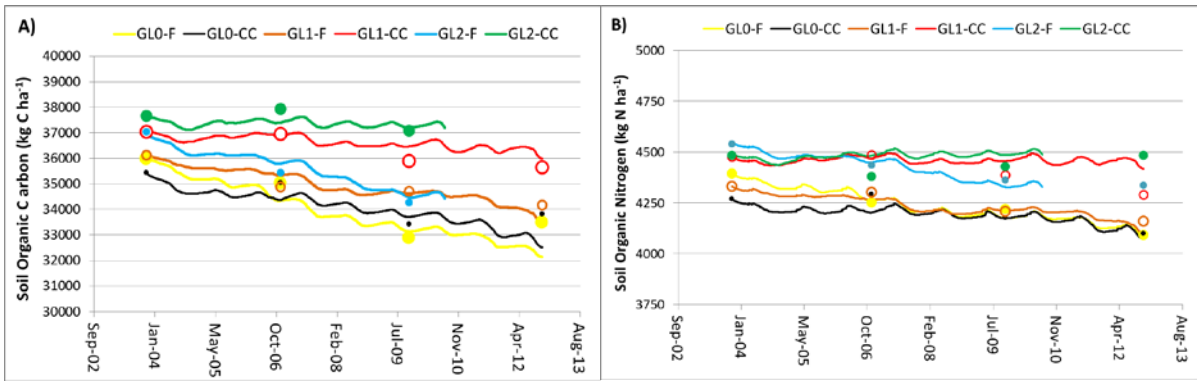


Figure 2 Soil organic carbon (A) and nitrogen (B) observed (circles) and simulated (continuous lines) values (0-30 cm soil depth) for the 6 low-input cropping systems studied in the experiment (GL0, GL1 and GL2: 0, 1 and 2 grain legumes in each rotation, respectively, CC and F: cover crop and bare fallow, respectively).

Conclusion

The STICS model was able to simulate with efficiency the dynamics of soil organic carbon and nitrogen in complex cropping systems based on grain legumes and the incorporation of cover crops.

References

Brisson, N. et al. 1998. Agronomie 18, 311-346.
Brisson, N. et al. 2002. Agronomie 22, 69-92.
Brisson, N. et al. 2003. Eur. J. Agr. 18, 309-332.

PARAMETRAGE DU MODELE DE CULTURE STICS POUR SIMULER LA CROISSANCE DES PRAIRIES DE *BRACHIARIA BRIZANTHA* CV. BRS PIATÃ EN CONDITIONS DU CERRADO BRÉSILIEN

PARAMETERIZATION OF STICS SOIL-CROP MODEL FOR SIMULATING THE GROWTH *BRACHIARIA BRIZANTHA* CV. BRS PIATÃ GRASSLANDS IN THE BRAZILIAN CERRADO

Darliane de Castro Santos[1], Fernando Antônio Macena da Silva[2], Roberto Guimarães Júnior[2], Lourival Vilela[2], Aldi Fernandes de Souza França[1], Eric Justes[3]

[1] Université Fédérale de Goiás, Goiânia-GO, Brésil ; [2] Institut Brésilien de Recherche Agricole – EMBRAPA Cerrados, Planaltina-DF, Brésil ; [3] Institut National de la Recherche Agronomique – UMR1248 AGIR, INRA, Toulouse, France

Mots clés : fourrage, indice de surface foliaire, matière sèche, paramétrage plante
Keywords : forage, leaf area index, dry matter, plant parameterization

Introduction

Le modèle de culture STICS, développé depuis 1996 à l'INRA, utilise en entrée des variables relatives au climat, au sol et aux pratiques culturales, et permet de simuler une large gamme de cultures sous divers pédoclimats (Brisson *et al*. 2008). La modélisation est un outil intéressant pour prédire la production agricole et il existe déjà des modèles de simulation de la croissance des cultures utilisés au Brésil et dans le monde. Différents travaux ont montré que STICS pouvait être pertinent pour simuler la production agricole de diverses cultures au Brésil (Balde, 2011). Notre objectif est d'utiliser le modèle STICS pour simuler la production annuelle de fourrage dans les conditions brésiliennes avec des coupes tout au long de l'année. Notre travail a consisté à tester la capacité du modèle de culture STICS à simuler la production de prairies pâturées de l'espèce fourragère *Brachiaria brizantha* dans les conditions du Cerrado brésilien.

Matériels et méthodes

Les données utilisées ont été obtenues à l'Embrapa Cerrados (Planaltina – DF – Brésil). L'espèce étudiée est *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã qui est une graminée C4 pérenne. Deux expérimentations ont été réalisées. De mars 2011 à février 2012 après semis, 4 coupes ont été effectuées pendant le période de pluie (Janvier – Mai ; Novembre – Décembre) pour évaluer la production de matière sèche (MS) selon un dispositif expérimental en bloc complet avec 4 répétitions. D'avril 2013 à Avril 2014 sur une prairie installée depuis 1 an, 11 coupes (fauche) ont été effectuées et, pour chacune, la production de MS et l'indice de surface foliaire ont été mesurés à la date de coupe, selon un dispositif expérimental en bloc complet avec 3 répétitions. Pour estimer la production de fourrage, des échantillons de 1 m^2 ont été prélevés avec à chaque date de coupe au niveau du sol. Les variables climatiques ont été recueillies à station météorologique de l'Embrapa Cerrados (latitude 15°36'36.31'' S et longitude 47°42'11.63'' W). En 2013 à 2014 les coupes ont été réalisés tous les 28 jours durant les périodes de pluie et tous les 56 jours durant la période de sécheresse (Juin – Octobre). Un premier travail de paramétrage « plante » du modèle STICS a été fait pour *B. brizantha* cv. Piatã à partir d'informations recueillies auprès d'experts brésiliens et dans la bibliographie (Rodrigues & Rodrigues, 1987) pour paramétrer la phénologie, la courbe de dilution de l'azote (N) et le fonctionnement écophysiologique de la graminée ; nous sommes partis du fichier plante « grass » fourni dans la version standard v8.3 de STICS.

Résultats et discussion

Les premiers résultats obtenus sont encourageants (figure 1). Ils ont été obtenus en renseignant aussi précisément que possible les caractéristiques du sol mais aussi en faisant des hypothèses sur l'état initial à partir de données de la bibliographie (d'Andréa *et al*., 2004) car ces données n'ont pas été mesurées sur le

site expérimental. Le modèle STICS simule bien la matière sèche et l'indice de surface foliaire pour les différentes coupes et représente globalement la variabilité saisonnière de la production. Toutefois il reste à améliorer la qualité des simulations en ajustant les paramètres par une optimisation mathématique ainsi qu'en complétant la recherche bibliographique sur l'écophysiologie de la plante. STICS simule des périodes de stress hydrique et de stress azoté pendant l'expérimentation qui expliquent la forte variabilité de production saisonnière.

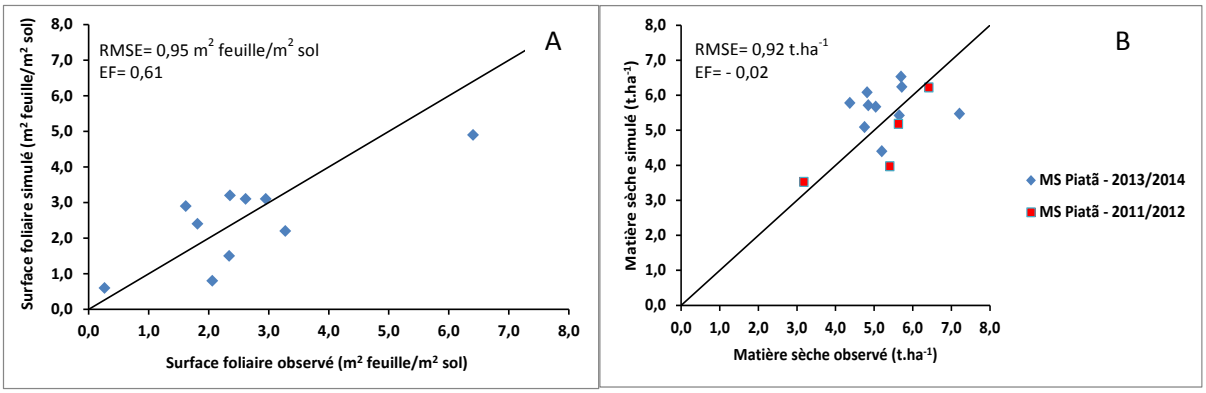


Figure 1 – Données simulées versus observées de l'indice de surface foliaire (A) et de la matière sèche (B) de *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã.

Conclusions

Le modèle de culture STICS permet de simuler correctement la matière sèche et l'indice de surface foliaire de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã produite à chaque coupe, aussi bien après semis que pour une prairie déjà installée, dans des conditions du Cerrado brésilien. Une optimisation mathématique devrait maintenant permettre d'affiner le paramétrage et un travail de validation sera nécessaire, mais il nous reste à trouver d'autres jeux de données.

Références bibliographiques

Balde A.B., 2011 - Analyse intégrée du partage des ressources (eau, azote et rayonnement) et des performances dans les systèmes de culture en relais sous semis direct en zone Tropicales subhumides, thèse. Centre International d'Études Supérieures en Sciences Agronomiques Montpellier, Montpellier.

Brisson N., Launay M., Mary B., Beaudoin N., 2008 - Conceptual basis, formalisations and parameterization of the STICS crop model, 1ª edition. Quae, Versailles.

d'Andréa A.F., Silva M.L.N, Curi N., Guilherme L.R.G., 2004 – Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 39(2), 179-186.

Rodrigues L.R.A., Rodrigues T.J.D., 1987 - Ecofisiologia de plantas forrageiras. In: Castro, P.R.C., Ferreira, S.O., Yamada, T. (Ed.) Ecofisiologia da produção agrícola. Potafos, Piracicaba, 203-230.

UTILISATION DE STICS POUR L'ANALYSE DE SERVICES ECOSYSTEMIQUES MULTIPLES EN VERGER DE POMMIERS

USING STICS TO ANALYSE MULTIPLE ECOSYSTEM SERVICES IN APPLE ORCHARDS

Constance Demestihas[1], Daniel Plénet[1], Iñaki Garcia de Cortazar-Ataurí[2], Marie Launay[2], Dominique Ripoche[2], Françoise Lescourret[1], Michel Génard[1]

[1] INRA, Plantes et Systèmes de culture Horticoles (UR PSH), Avignon, France ; [2] INRA, US Agroclim, Avignon, France

***Mots-clés** : arboriculture, modélisation, cycles biogéochimiques, fonctions écosystémiques, services écosystémiques*
***Keywords** : fruit-growing, modeling, biogeochemical cycles, ecosystem functions, ecosystem services.*

Introduction

L'analyse du contexte actuel de la filière fruits met en évidence le besoin de concilier la double performance économique et écologique : améliorer d'une part les performances agronomiques et économiques des systèmes de production pour préserver la compétitivité des exploitations en termes quantitatifs et qualitatifs; réduire d'autre part les impacts environnementaux en limitant l'usage des produits phytopharmaceutiques de synthèse et des ressources non renouvelables. Le concept de services écosystémiques (SE) – bénéfices que les Hommes tirent des écosystèmes (MEA, 2005) est utile à cet égard. Il a déjà été utilisé dans le cadre d'agroécosystèmes mais peu en arboriculture. Pourtant le caractère pérenne d'un verger, la présence quasi systématique d'enherbement, la possibilité de stockage de carbone sont autant de caractéristiques dirigées par des fonctions ou transformations écosystémiques qui permettent de tirer des bénéfices pour les performances agronomiques, économiques et environnementales requises. Les relations entre fonctions et services écosystémiques dans un verger de pommier sont complexes et multiples, elles nécessitent l'intégration de plusieurs processus écologiques influencés par les pratiques culturales, dans tous les compartiments du verger, sol, plante et atmosphère. L'utilisation de modèles biotechniques est donc une aide précieuse -voire nécessaire- pour l'analyse intégrée de ces processus. Cette présentation est l'occasion de montrer en quoi STICS peut permettre l'évaluation des principales fonctions écosystémiques liées aux cycles biogéochimiques et à la production dans un système de verger de pommiers en vue d'étudier les liens entre les services écosystémiques multiples. Le principal contenu du texte est la description de la logique du processus de paramétrage de STICS pour le pommier.

Pourquoi utiliser STICS ?

On utilisera un cadre conceptuel pour analyser les liens entre SE. Il est basé sur la chaîne « ressource naturelle - fonction écosystémique- service écosystémique » ou modèle en cascade de (Haines-Young & Potschin, 2009) qui est une façon de décortiquer la création d'un service ou d'un dysservice (on parle alors de perte ou d'inconvénient pour l'Homme). Les fonctions écosystémiques engendrent la transformation d'éléments biochimiques dans le continuum sol-plante-atmosphère. L'utilisation de modèles adéquats permet de simuler ces transformations sous l'influence de pratiques culturales et de conditions pédoclimatiques variées et de calculer certaines variables de sortie pouvant être considérées comme des indicateurs de fonctions ou de services. En fixant le cadre d'étude au verger de pommier, nous raisonnons sur un pas de temps multi-annuel en se focalisant sur des campagnes annuelles allant de la taille d'hiver à la récolte, et un espace correspondant à une parcelle. Au sein de cet agroécosystème, des ressources naturelles ou des conditions environnementales comme le climat (rayonnement, température, pluviométrie), la biodiversité, la composition physicochimique du sol approvisionnent des fonctions écosystémiques liant les 3 compartiments du verger. L'agencement de STICS en différents types de fichiers permet de comparer simultanément une gamme de systèmes de pilotage et une gamme de conditions

pédoclimatiques pouvant être toutes les deux très contrastées. Les sorties seraient alors utilisées comme des indicateurs décrivant l'impact des conditions pédoclimatiques et du pilotage des vergers sur l'agroécosystème. Des indicateurs comme la vitesse de minéralisation, la quantité de carbone humifiée ou le rendement décriraient les liens entre des services de support, de régulation et d'approvisionnement selon un pilotage du verger et des conditions pédoclimatiques particulières. Par ailleurs, STICS sera couplé à un autre modèle d'évaluation des dégâts des bioagresseurs, afin d'intégrer la dimension biotique des trois compartiments décrits.

Paramétrage de STICS pour le pommier

Pour adapter STICS à une nouvelle culture il est nécessaire de choisir quels processus, parmi les gammes de processus disponibles, permettront de représenter au mieux la culture selon ce que l'on connaît de son écophysiologie (plante pérenne, culture en rangs, présence de réserves et de bois, …).

Différentes sources ont permis de fournir les paramètres du fichier « plant. ». Dans la mesure du possible, nous avons repris des paramètres définis pour la vigne (Garcia de Cortazar Atauri, 2006), qui a la physiologie la plus proche du pommier parmi les plantes paramétrées sur STICS. Ensuite, nous avons utilisé des études bibliographiques pour les paramètres généralisables à toutes les variétés de pommes, notamment les températures. Nous avons également reconstitué des courbes de croissance ou de lois de réponse dont les paramètres sont nécessaires, par exemple ceux de la courbe de dilution de l'azote ou de la croissance potentielle des fruits. Par ailleurs, une grande partie des paramètres nécessaires (plante, sol, pratiques) a été documentée à partir de mesures sur le terrain grâce à des suivis de croissance de pousses, feuilles et fruits, ainsi que des analyses régulières de sol et des suivis hydriques avec des sondes capacitives. Certains paramètres ont été « calés » sur des simulations répétées suivies d'analyses des sorties vérifiant leur pertinence agronomique.

Le paramétrage de STICS pour le pommier est encore inachevé : la dimension variétale n'a pas été travaillée et certains paramètres ne sont pas renseignés spécifiquement pour le pommier, mais tirés d'autres cultures. Cependant, un premier travail de comparaison entre les variables de sorties simulées et les performances réelles du verger de pommiers expérimental analysé en 2014 présenterait des résultats satisfaisants. Cette étude sera poursuivie en 2015 sur d'autres vergers expérimentaux.

Références bibliographiques

Brisson N, Launay M, Mary B, Beaudoin N (2008). Conceptual basis, formalisations and parameterisation of the STICS crop model. Editions QUAE, 297 pp.

Garcia de Cortazar Atauri, I. (2006). Adaptation du modèle STICS à la vigne. Utilisation dans le cadre d'une étude d'impact du changement climatiqueà l'échelle de la France.

Haines-Young, R. H., & Potschin, M. B. (2009). Methodologies for defining and assessing ecosystem services. . Final Report, JNCC, Project Code C08-0170-0062, 69 pp.

MEA. (2005). Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and their Services (pp. 49–70). Washington DC.

QUANTIFICATION DES NIVEAUX DE STRESS ABIOTIQUES AVEC LE MODELE DE CULTURE STICS : UNE PREMIERE ETAPE DANS L'EVALUATION DE LA ROBUSTESSE DES SYSTEMES AGRICOLES

QUANTIFICATION OF ABIOTIC CONSTRAINTS THROUGH STICS CROP MODEL: A FIRST STEP IN THE ASSESSMENT OF ROBUSTNESS IN AGRICULTURAL SYSTEMS

Nicolas Urruty[1, 2], Christian Huyghe[1], Camille Chansiaux[3], Philippe Gate[4]

[1] INRA, Collège de direction (CODIR), Paris, France ; [2] PRES France Centre Atlantique Université, Poitiers, France ; [3] InVivo AgroSolutions, Paris, France ; [4] ARVALIS Institut-du-végétal, Paris, France

Mots clés : robustesse, variabilité du rendement, stress abiotiques, STICS
Keywords : robustness, yield variability, abiotic stress, STICS crop model

Introduction

Dans un contexte d'optimisation de la durabilité des exploitations agricoles, la recherche agronomique est aujourd'hui questionnée pour concevoir des systèmes de production agricole permettant de mieux concilier plusieurs types de performances (Guyomard et al., 2013) tout en étant plus résilients (Justes et al., 2012) face aux différentes contraintes exogènes qui pèsent sur les exploitations agricoles : variabilité climatique, volatilité des prix sur les marchés agricoles, évolution de la pression des bioagresseurs, etc. Selon plusieurs auteurs, cela nécessitera de changer de paradigme, de passer du paradigme du *contrôle* à celui de la *robustesse* (ten Napel et al., 2006), de dépasser la tendance d'homogénéisation et de mono-performance pour une plus grande diversification des moyens de production et une meilleure reconnaissance de la complexité des processus (Østergård et al., 2009; Tichit, 2014). Malgré le consensus actuel sur la nécessité d'améliorer la robustesse des systèmes de production agricole, les méthodes aujourd'hui disponibles pour caractériser, mesurer puis amplifier ce critère font défaut. Le travail engagé et présenté ci-dessous vise en partie à cela à travers le déploiement d'une méthode de quantification des perturbations abiotiques et son application à un réseau de parcelles de blé tendre en France. La robustesse de la performance productive de ces parcelles de blé sera ensuite étudiée en confrontant les niveaux de rendement obtenus face aux niveaux de perturbations abiotiques mesurés via le modèle de culture STICS.

Matériel et méthode

Ce réseau de parcelles de blé tendre est issu des données FERMEcophyto qui regroupe plus de 200 exploitations et 1600 parcelles de blé tendre réparties dans des contextes pédoclimatiques variés. En vue d'analyser les niveaux de perturbations abiotiques, les données climatiques journalières sur la période 1983-2013 des différentes exploitations ont été obtenues via les services de Météo-France (données SAFRAN – résolution 8 x 8 km) et ont permis de regrouper les 200 exploitations en 33 sites climatiques par une méthode de classification ascendante hiérarchique sur 8 variables de phéno-risques climatiques (risques d'excès d'eau au semis et pendant le reste de la saison, risques de déficit hydrique au semis, au stade épi 1 cm et pendant la fin du cycle, risques de gel pendant l'hiver et au printemps et enfin risque d'échaudage en fin de cycle).

Pour chaque site climatique, les différents types de sols recensés sur les parcelles enregistrées ont ensuite été paramétrés dans le modèle STICS en croisant les informations descriptives de la base de données FERMEcophyto avec la base régionalisée des sols d'ARVALIS Institut-du-Végétal.

En standardisant ensuite pour l'ensemble des sites climatiques l'itinéraire technique et les données d'initialisation du modèle, les rendements du blé ont été simulés pour chaque type de sol sur la période

1983-2013. La variabilité interannuelle de ces rendements pour un même type de sol peut alors être interprétée comme la résultante des différents stress abiotiques au cours du temps puisque seuls les fichiers climatiques en entrée varient. En considérant le rendement maximal simulé sur la série 1983-2013 comme le reflet d'une année sans facteur limitant abiotique, nous avons ensuite construit un indicateur annuel de stress abiotique en exprimant le rendement simulé chaque année par rapport au rendement maximal simulé. L'indicateur final de stress abiotique s'exprime donc, pour chaque type de sol et pour chaque année, en pourcentage de perte de rendement par rapport au rendement maximal simulé.

Résultats et discussion

Les niveaux de perturbations abiotiques mesurés sous STICS font ressortir de fortes différences interannuelles et interrégionales. En moyenne, ce sont les exploitations du nord-est qui présentent les niveaux de stress abiotiques les plus importants. Ceci est la composante à la fois de niveaux d'exposition et de sensibilité plus importants. Par régression quantile nous avons pu mettre en évidence que l'intensité de ces stress abiotiques a augmentée en moyenne sur la période étudiée (Figure 1).

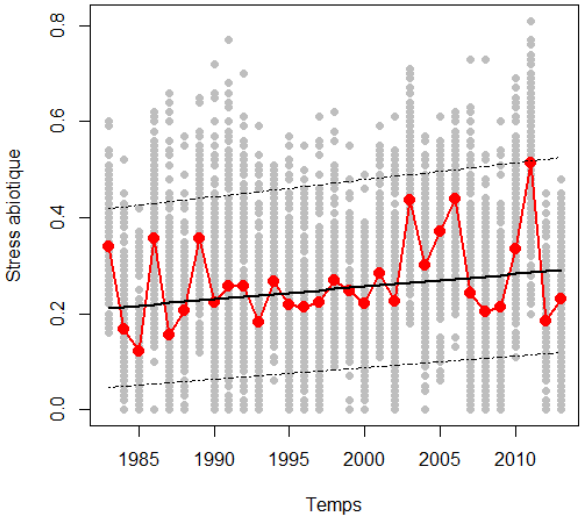


Figure 1 : Niveaux de stress abiotiques mesurés sur la période 1983-2013 avec le modèle STICS pour chaque type de sol (points gris) ; les points rouges représentent les points moyens annuels et les droites en noir (gras et pointillés) sont les droites de régression sur la médiane et les quantiles 1/10 et 9/10

Dans la suite de ce travail, le croisement entre performances et perturbations permettra d'analyser la robustesse de ces systèmes de production et d'identifier les facteurs agronomiques pouvant expliquer cette robustesse.

Références bibliographiques

Guyomard, H., Huyghe, C., Peyraud, J. L., Boiffin, J., Coudurier, B., Jeuland, F., and Urruty, N. (2013). "Volume 2 : Conception et évaluation de systèmes innovants en agriculture conventionnelle." INRA, Paris.

Justes, E., Debaeke, P., and Nolot, J. M. (2012). Diversifier les systèmes de culture pour concilier performance et résilience. *In* "L'agriculture face aux aléas : de la variabilité du climat à la volatilité des prix" (INRA, ed.). Salon international de l'agriculture, Paris.

Østergård, H., Finckh, M. R., Fontaine, L., Goldringer, I., Hoad, S. P., Kristensen, K., Lammerts van Bueren, E. T., Mascher, F., Munk, L., and Wolfe, M. S. (2009). Time for a shift in crop production: embracing complexity through diversity at all levels. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **89**, 1439-1445.

ten Napel, J., Bianchi, F. J. J. A., and Bestman, M. W. P. (2006). Utilising intrinsic robustness in agricultural production systems. *In* "Invention for a sustainable development of agriculture", pp. 32-54. TransForum, Zoetermeer.

Tichit, M. (2014). La diversité facteur de robustesse dans les systèmes agricoles ? *In* "Perte de biodiversité et vulnérabilité sanitaire des systèmes de production". ANSES, Paris.

LISTE DES PARTICIPANTS

AFFHOLDER Francois
CIRAD
Montpellier
affholder@cirad.fr

BARATTE Christine
INRA - UMR PEGASE
Saint Gilles
christine.baratte@rennes.inra.fr

BEAUDOIN Nicolas
INRA unité AgroImpact
Barenton-Bugny
nicolas.beaudoin@laon.inra.fr

BEFF Laure
INRA - UMR SAS
Rennes
laure.beff@rennes.inra.fr

BENOIT Marie
UPMC
Paris
marie.benoit@upmc.fr

BERNARD Jean-Philippe
CHAMBRE D'AGRICULTURE
LA Rochelle
jean-philippe.bernard@charente-maritime.chambagri.fr

BERTUZZI Patrick
INRA US1116 AgroClim
Avignon
patrick.bertuzzi@avignon.inra.fr

BUCHI Lucie
Agroscope
Nyon
lucie.buchi@agroscope.admin.ch

BUIS Samuel
INRA
Avignon
samuel.buis@paca.inra.fr

BUREL Enguerrand
CESBIO
Auch
enguerrand.burel@iut-tlse3.fr

CASELLAS eric
INRA
castanet tolosan
eric.casellas@toulouse.inra.fr

CAUBEL Julie
CNRS
Gif-Sur-Yvette
jcaubel@avignon.inra.fr

CELLIER Pierre
INRA
Grignon
pierre.cellier@grignon.inra.fr

CONSTANTIN Julie
INRA UMR AGIR
Castanet-Tolosan
jconstantin@toulouse.inra.fr

COUTURIER Alain
INRA
Orléans
Alain.Couturier@orleans.inra.fr

DE CASTRO SANTOS Darliane
Université Federal de Goiás
Goiânia-GO
darliane.castro@hotmail.com

DEMESTIHAS Constance
INRA - UR PSH
Avignon
constance.demestihas@paca.inra.fr

DURAND Patrick
INRA - UMR SAS
Rennes
patrick.durand@rennes.inra.fr

FERCHAUD Fabien
INRA
Barenton-Bugny
fabien.ferchaud@laon.inra.fr

FERRANT sylvain
CESBIO
Toulouse
sylvain.ferrant@cesbio.cnes.fr

GALLOIS Nicolas
Ecole des mines de Paris
Fontainebleau
Nicolas.Gallois@mines-paristech.fr

GARCIA DE CORTAZAR-ATAURI Iñaki
INRA
Avignon
igarcia@avignon.inra.fr

GARRIGUES Emmanuelle
Chercheur indépendant
St Malo de Phily
garrigues.emmanuelle@wanadoo.fr

GRAUX Anne-Isabelle
INRA - UMR PEGASE
Saint Gilles
anne-isabelle.graux@rennes.inra.fr

HIEL Marie-Pierre
Gembloux Agro-Bio Tech, ULg
Gembloux
marie-pierre.hiel@ulg.ac.be

HUMBLOT Pierre
INRA UMR economie publique
Thiverval-Grignon
pierre.humblot@grignon.inra.fr

IRFAN Kamran
INRA
Avignon
kamran.irfan@paca.inra.fr

JAYET Pierre-Alain
INRA
Grignon
jayet@grignon.inra.fr

JEGO Guillaume
Agriculture et Agroalimentaire Canada
Québec
guillaume.jego@agr.gc.ca

JUSTES Eric
INRA UMR INRA
Castanet-Tolosan
eric.justes@toulouse.inra.fr

LATRECHE Filali
Université de Souk Ahras
Souk Ahras
filalila84@gmail.com

LAUNAY Marie
INRA
Avignon
mlaunay@paca.inra.fr

LE BAS Christine
INRA
Orléans
christine.le-bas@orleans.inra.fr

LECHARPENTIER Patrice
INRA
Avignon
patrice.lecharpentier@avignon.inra.fr

LEONARD Joël
INRA
Laon
leonard@laon.inra.fr

LOUARN Gaëtan
INRA
Lusignan
gaetan.louarn@lusignan.inra.fr

MARY Bruno
INRA
Laon
mary@laon.inra.fr

MORVAN Thierry
INRA - UMR SAS
Rennes
morvan@rennes.inra.fr

PARNAUDEAU Virginie
INRA - UMR SAS
Rennes
Virginie.Parnaudeau@rennes.inra.fr

PATTEY Elizabeth
Agriculture et Agroalimentaire Canada
Ottawa, ON
elizabeth.pattey@agr.gc.ca

POUPA Jean-Claude
INRA - UMR SMART
Rennes

QUEYREL Wilfried
UMR Agroecologie INRA-AGROSUP
Dijon Cedex
wilfried.queyrel@agrosupdijon.fr

RAYNAL Helene
INRA
castanet tolosan
helene.raynal@toulouse.inra.fr

REZIG MOURAD
INRGREF
Ariana
rezigue_mourad@yahoo.fr

RIPOCHE-WACHTER Dominique
INRA
Avignon
domi@paca.inra.fr

RUGET Françoise
INRA
Avignon
ruget@avignon.inra.fr

RUIZ RAMOS Margarita
Universidad Politécnica
Madrid
margaruizramos@gmail.com

STRULLU Loïc
INRA
Barenton-Bugny
lstrullu@gmail.com

TRIBOUILLOIS Hélène
INRA UMR AGIR
Castanet-Tolosan
helene.tribouillois@toulouse.inra.fr

URRUTY Nicolas
INRA
Paris
nicolas.urruty@paris.inra.fr

VIENNOT Pascal
Ecole des mines de Paris
Fontainebleau
Pascal.Viennot@mines-paristech.fr

YEMADJE Sabine Karen
INRA-Agroparistech ECOSYS
Grignon
sabine-karen.yemadje@grignon.inra.fr

ZAKA Serge
INRA
Luisgnan
serge.zaka@lusignan.inra.fr