



Evolution du statut organique des sols cultivés : pourquoi et comment l'évaluer à l'échelle d'un territoire ? Exemples d'application en Poitou Charentes

Marion Vigot, Chambre régionale d'Agriculture de Poitou Charentes

Olivier Scheurer, Institut polytechnique Lasalle Beauvais

Jean-Baptiste Paroissien, INRA InfoSol (2011)

Annie Duparque, Agrotransfert-Ressources et territoires

Jean-Luc Fort, Chambre régionale d'Agriculture de Poitou-Charentes

Connaitre l'évolution du statut organique des sols cultivés sur un territoire peut contribuer à l'aide à la décision, pour différents objectifs et à différentes échelles. Dans un objectif de maintien ou d'amélioration de la **qualité des sols**, la production de références agronomiques locales est nécessaire pour l'**adaptation des pratiques** culturelles à l'échelle de l'exploitation. Une étape préalable est l'identification de cas-types basés sur le type de sol et le système de culture pour caractériser les situations à risque, engendrant un déstockage de carbone. A l'échelle du territoire, le **développement de filières de** production de biomasse ou de recyclage de produits organiques, doit s'appuyer sur le zonage du territoire selon l'évolution des stocks de carbone. L'export de biomasse peut ainsi être privilégié dans les situations ayant tendance à stocker du carbone, tandis que les situations en déstockage seront prioritaires pour des apports de produits organiques. Par ailleurs, l'évolution des stocks de carbone dans les sols peut être intégrée à la quantification des émissions de gaz à effet de serre (GES) d'un territoire. Cela revient à calculer un bilan prenant en compte les sols et les pratiques de l'ensemble du territoire. On cherche ainsi à savoir si les sols cultivés permettent une compensation des émissions de GES, et dans quelle mesure des changements de pratiques amélioreraient ou dégraderaient ce bilan.

A l'échelle de la parcelle, l'outil SIMEOS- AMG, développé par Agrotransfert-Ressources et territoires et l'INRA, simule l'évolution à long terme du stock de carbone organique d'une parcelle cultivée caractérisée par un type de sol, un système de culture et un stock de carbone initial (Duparque *et al.*, 2011). En 2011 et 2012, les travaux du RMT « Sols et Territoires » ont transposé cette approche à l'échelle du territoire en s'appuyant sur **l'exploitation conjointe de plusieurs bases de données** largement disponibles dans les régions pour (1) caractériser la diversité des situations agronomiques présentes, (2) renseigner les données d'entrée de SIMEOS AMG pour chaque situation. La méthode mise au point dans le Loiret (Vigot, 2010) puis testée dans 4 Petites Régions Naturelles de Poitou-Charentes (Vigot, 2012) est présentée dans cet article et illustrée par des exemples d'application en Poitou-Charentes.

MATERIEL et METHODES

Sources de données :

Les teneurs en carbone organique sont issues de la base de données des analyses de terre (BDAT), sur la base du géoréférencement communal. La caractérisation des sols est donnée par le Référentiel régional pédologique (RRP) au 1/250000^{ème} : les Unités Cartographiques de Sol (UCS) contiennent en général plusieurs types de sol (UTS) dont la proportion est connue. Les successions de cultures sont issues du Registre Parcellaire Graphique (RPG) exploité sur plusieurs années successives ; l'unité spatiale est l'ilôt des déclarations PAC des agriculteurs,

occupé chaque année par une ou plusieurs cultures dont la surface est connue. Les informations sur les pratiques culturales ont été majoritairement renseignées à dire d'expert. Les renseignements agronomiques associés aux analyses de terres, disponibles dans le laboratoire régional (LCA), ont fourni l'information sur les rendements moyens par petite région naturelle.

Territoires d'application :

En Poitou-Charentes, le test des méthodes a porté sur 4 Petites Régions Naturelles (PRN) couvrant une diversité de contextes agro-pédologiques (tableau 1). Dans chaque PRN, 3 Unités Cartographiques de Sol représentatives ont été étudiées. Les stocks de carbone organique dans les sols ont toutefois été estimés et cartographiés sur l'ensemble de la région.

Tableau 1 : Petites Régions Naturelles étudiées en Poitou-Charentes

PRN	Types de sol
Plaine de Thouars	Groies, argile à silex, plaines sableuses
Terres rouges de la Vienne	Limons argileux sur argile rouge, non calcaires
Groies du Nord Charente	Argileux ou limono-argileux, calcaires
Doucins de Charente maritime	Sablo-limoneux, acides sur argile

Démarche générale :

L'unité spatiale d'agrégation des données est l'Unité Cartographique de Sol, qui est croisée avec les limites communales et les îlots du RPG, pour relier les sols aux analyses de terre d'une part et aux successions de cultures d'autre part. Dans un second temps, on définit des règles d'affectation des analyses de terre et des successions de cultures (respectivement) aux UTS contenues dans chaque unité cartographique de sol.

Teneurs et stocks de carbone par type de sol :

Après croisement spatial UCS x Commune, on calcule la part surfacique théorique de chaque UTS dans chaque commune. On admet que cette proportion correspond à la probabilité d'appartenance des analyses de la commune à l'UTS. En fonction des probabilités obtenues pour tous les couples commune – UTS, les analyses de la BDAT sont affectées aux UTS par une procédure de tirages aléatoires (Paroissien *et al.*, 2011) : on obtient une distribution de teneurs en carbone par UTS. La médiane est retenue pour le calcul du stock initial en vue des simulations avec SIMEOS AMG. En Poitou-Charentes, 124 000 analyses réalisées entre 1990 et 2004 ont été utilisées.

Des successions de cultures aux rotations par type de sol :

Le croisement spatial des îlots de culture sur 4 années consécutives (2007-2010) reconstitue dans chaque îlot une succession de cultures probable, associée à sa surface – sur la base de la culture principale de chaque îlot-. A partir de l'ensemble des successions observées dans une UCS et de leur fréquence, confrontées à des modèles agronomiques de rotations établis à dire d'expert, on reconstitue un « assolement de rotations », c'est-à-dire un ensemble de rotations associées à leur part surfacique dans l'UCS. Les rotations sont ensuite réparties dans les UTS en fonction de règles d'exclusion de certaines cultures dans les sols à fortes contraintes (pierrosité, excès d'eau, RUM faible, ...).

Définition des situations agronomiques à simuler :

Une typologie des pratiques de gestion des résidus de culture et apports organiques a été

établie à dire d'experts ; de même, la fréquence de chaque type de pratiques dans les PRN étudiées a été estimée. Dans le Loiret, c'est l'exploitation de la base de données AZOFERT (renseignements agronomiques parcellaires associés aux mesures de reliquat azotés) qui a permis de caractériser les pratiques dominantes par PRN. L'exploitation de la base de données associée à REGIFERT s'est révélée infructueuse en Poitou Charentes (effectifs insuffisants et/ou données non renseignées), hormis pour l'estimation des rendements moyens.

On définit ainsi un ensemble de situations agronomiques caractérisées chacune par une combinaison « rotation x type de pratiques x type de sol x stock de carbone initial » associée à une part surfacique sur le territoire. L'évolution à long terme du stock de Carbone organique est simulée dans chaque situation.

Indicateurs à l'échelle du territoire

A l'échelle d'un territoire, deux indicateurs sont calculés :

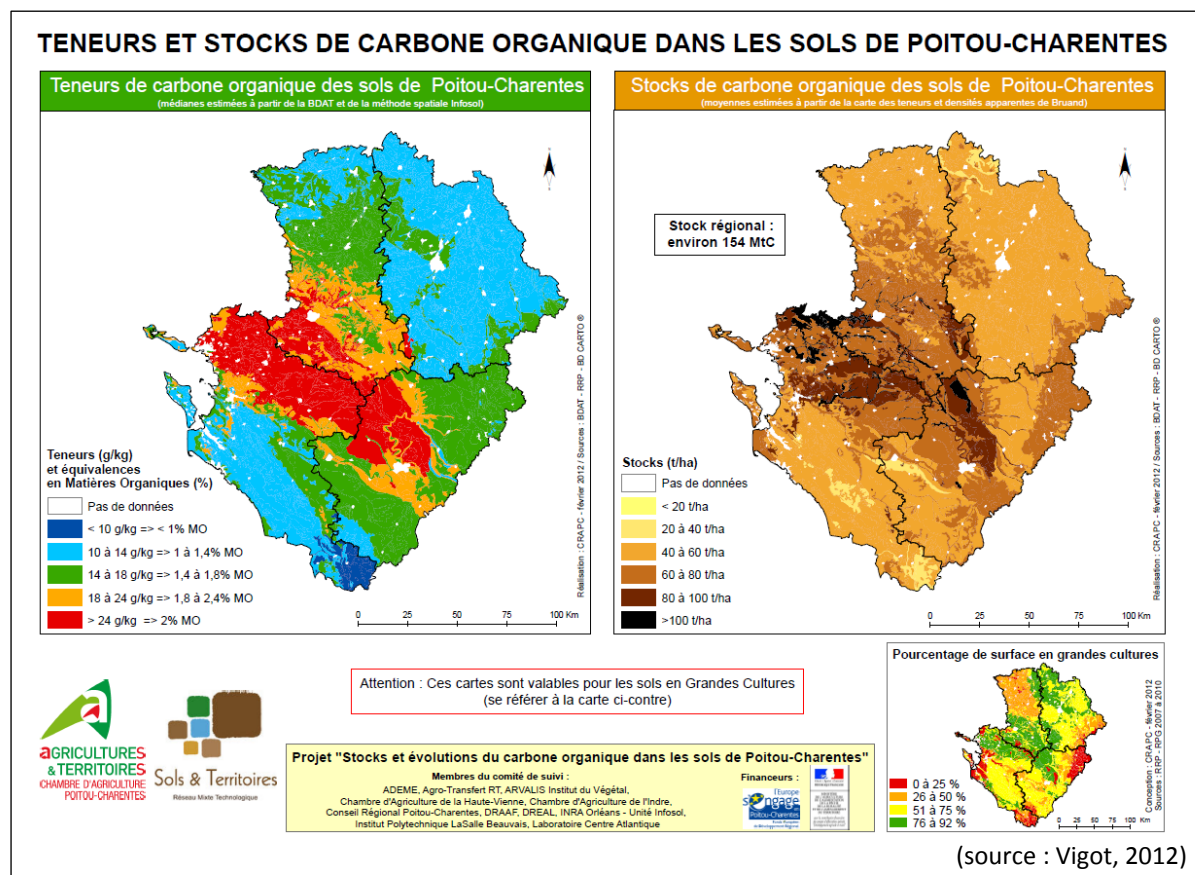
- part surfacique respective des évolutions simulées des stocks de carbone organique : stockage, équilibre, déstockage.
- variation de stock de carbone organique simulée sur 50 ans, exprimée en tonne de carbone par ha et par an.

RESULTATS et DISCUSSION

Teneurs et stocks de carbone organiques dans les sols cultivés de Poitou-Charentes

Les teneurs en carbone organique moyennes sont représentées par UCS ; elles correspondent à la moyenne des teneurs médianes par UTS pondérées par leur surface. Les teneurs et les stocks les plus élevés sont localisés logiquement dans les terres de groies argilo-calcaires (figure 1). Du fait de l'origine des analyses de la BDAT, ces cartes sont représentatives des zones où dominent les grandes cultures. Le Stock de carbone des sols calculé au niveau régional est donc sous-estimé car les surfaces en prairie et forêt ne sont pas prises en compte.

Figure 1



Assolements de rotations

On obtient un assolement de rotations pour chaque type de sol (UTS). Le tableau 2 en donne une synthèse à l'échelle des 3 unités cartographiques représentatives des « Terres rouges de la Vienne ». Deux groupes de rotations sont distingués selon la présence ou non de l'irrigation dans les îlots telle que déclarée dans le RPG ; ils correspondent logiquement à des rotations bien différenciées : dominante de colza-blé d'une part, monoculture de maïs d'autre part. A partir de 2010, cette information n'est plus renseignée alors qu'elle est indispensable pour bien caractériser les systèmes de culture et les rendements. La présence d'irrigation devrait néanmoins pouvoir être déduite de la nature et de la fréquence de certaines cultures dans la rotation (maïs par exemple).

Tableau 2 : Assolement de rotations dans les terres rouges de la Vienne

SECTEUR DES TERRES ROUGES DE LA VIENNE (3 UCS)			
GROUPE	ROTATIONS	% sur le territoire	% dans le groupe
Non irrigué	Colza-Blé	31	36
	Colza-Blé-Tournesol-Blé	25	29
	Tournesol-Blé	6	7
	Colza-Blé-Maïs-Blé	4	4
	Colza-Blé-Orge	4	4
	Colza-Blé-Orge-Tournesol-Blé-Orge	2	3
	Colza-Blé-Blé	2	2
	Colza-Blé-Blé-Tournesol-Blé-Blé	2	2
	Colza-Blé-Colza-Blé-Orge	1	2
	Colza-Orge-Colza-Blé	1	2
TOTAL		77	90
Irrigué	Monoculture de Maïs	6	40
	Maïs-Maïs-Maïs-Blé	3	19
	Maïs-Blé	2	16
	Maïs-Blé-Colza-Blé	1	7
	Maïs-Maïs-Colza-Blé	1	3
	Maïs-Maïs-Blé	0,5	6
	Maïs-Maïs-Maïs-Tournesol	0,4	2
	Maïs-Blé-Tournesol-Blé	0,2	3
TOTAL		14	98
TOTAL TERRITOIRE		91	

Dans les 4 PRN étudiées, les assolements de rotations reconstitués à partir des successions de cultures du RPG représentent entre 72 et 91 % de la surface cultivée du territoire.

Types de pratiques

Quatre types de pratiques de restitutions organiques sont distingués, avec des fréquences différentes selon les PRN (tableau 3a et b). Les autres éléments des itinéraires techniques sont définis par un jeu de règles d'attribution selon les cultures ou les types de sol (labour, dose d'irrigation, type de couvert automnal).

Tableau 3a : Types de pratiques de restitutions organiques en Poitou-Charentes

Type de pratiques	Céréaliier Restitution des pailles	Céréaliier Export des pailles	Céréaliier Echange paille-fumier	Polyculture - Elevage
Gestion des pailles	Restitution à 100%	Export à 50%	Export à 50%	Export à 100%
Apport organiques	Pas d'apport	Pas d'apport	1 apport par rotation*	1 apport par rotation'
Devenir du maïs	100% maïs grain	100% maïs grain	100% maïs grain	50% maïs grain 50% maïs ensilage

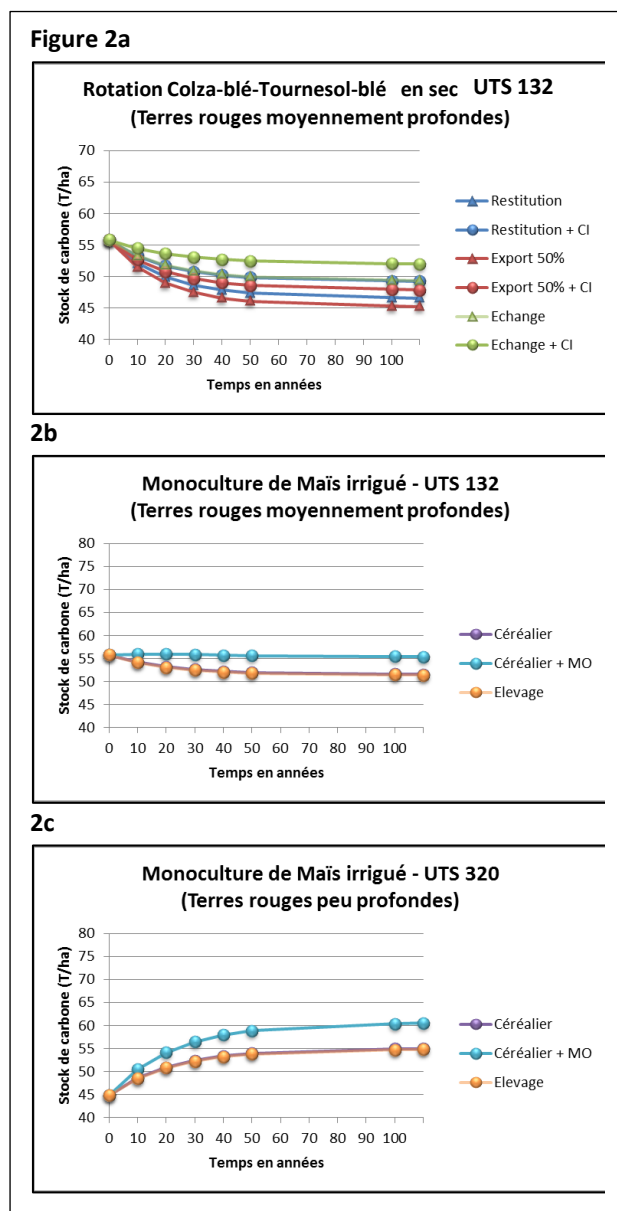
Tableau 3b : Fréquence des types de pratiques dans 3 PRN

PRN	Céréaliier	Céréaliier export	Céréaliier échange	Polyculture Elevage
Groies du Nord-Charente	30%	60%	3%	7%
Doucins de Charente maritime	30%	5%	15%	40%
Terres rouges de la Vienne	50%	10%	10%	30%

L'estimation à dire d'experts de la fréquence de ces types de pratiques est vraisemblablement très approximative.

Evolution à long terme du stock de carbone organique par situation agronomique

La figure 2 (abc) montre l'évolution comparée du stock de carbone dans diverses situations agronomiques caractéristiques des terres rouges de la Vienne.



La figure 2a montre l'effet de différents types de pratiques dans un contexte favorable au déstockage (stock initial élevé dans un sol non calcaire et assez peu argileux).

La comparaison des figures 2a et 2b dans un même type de sol montre l'effet du système de culture via le niveau des restitutions par les résidus de récolte. Le système céréaliier (maïs grain) est équivalent au système « élevage » (maïs ensilage et apports organiques réguliers), avec une tendance à l'équilibre.

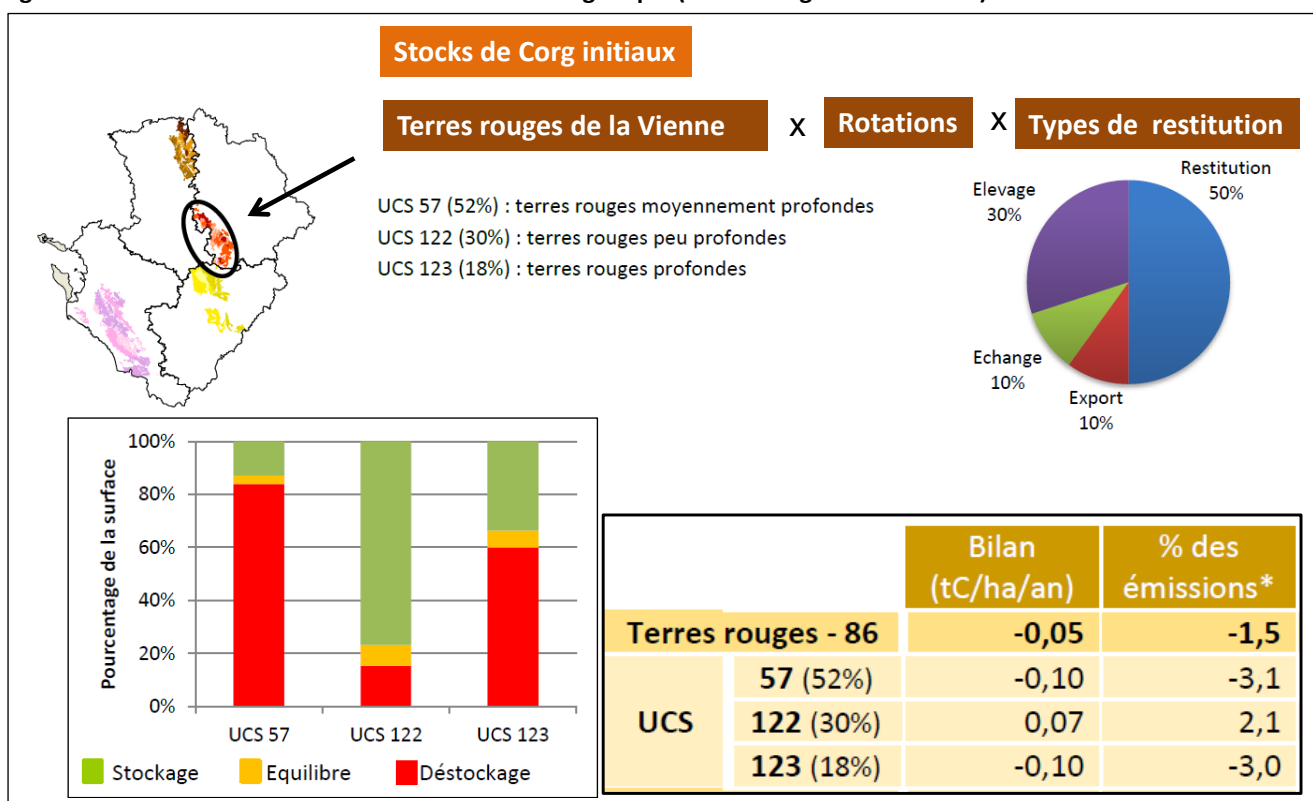
La comparaison des figures 2b et 2c montre l'effet majeur du stock de carbone initial (combinée à un effet type de sol, plus argileux et caillouteux en 2c) sur la tendance évolutive.

Ce type de présentation des résultats constitue une base de références locales pour faire du conseil agronomique à partir de cas-types. La forte sensibilité de la tendance évolutive au stock de carbone initial interroge cependant sur le choix d'une valeur unique (médiane par UTS) pour représenter le stock initial sur un type de sol. Il serait nécessaire d'intégrer dans les simulations la variabilité de ce stock au sein des UTS.

Synthèse à l'échelle d'un territoire

Après simulation de l'ensemble des situations agronomiques décrites, les 2 indicateurs retenus donnent une vision d'ensemble des tendances évolutives pour chaque unité cartographique de sol du territoire étudié (figure 3).

Figure 3: Evolution simulée des stocks en Carbone organique (Terres rouges de la Vienne)



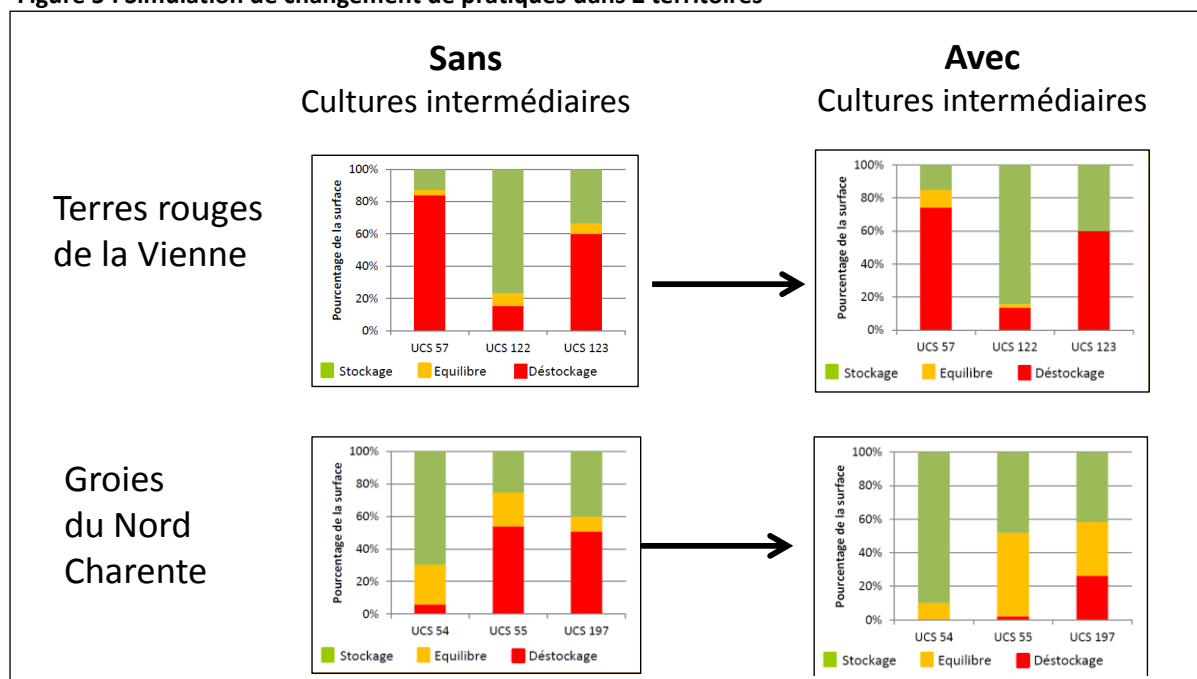
* : bilan converti en % des émissions régionales agricoles de GES

Simulation de changement de pratiques

L'impact de scénarios de changement de pratiques peut être simulé à l'échelle du territoire. A titre d'exemple, la figure 5 montre l'effet de la généralisation des cultures intermédiaires dans 2 territoires présentant une part significative de surfaces en déstockage : terres rouges de la Vienne (60 %) et groies du nord Charente (32 %).

L'effet des cultures intermédiaires est nettement plus marqué dans les groies que dans les terres rouges. L'analyse des contextes agronomiques montre un effet combiné des systèmes de cultures dominants et des types de sol : dans les groies, le blé est fréquemment suivi d'un tournesol, ce qui permet une production de biomasse élevée par la culture intermédiaire ; dans les terres rouges, le blé est le plus souvent suivi d'un colza, ce qui n'autorise que les repousses de céréales comme couvert automnal.

Figure 5 : Simulation de changement de pratiques dans 2 territoires



CONCLUSION et PERSPECTIVES

Forces et faiblesses de la démarche

Forces	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> - Transposabilité d'une région à l'autre permise par la source nationale des principales données d'entrée - Diversité des échelles de sortie pour s'adapter à diverses problématiques - Modèle AMG simple (données d'entrée) et robuste - Richesse du paramétrage d'AMG en systèmes de grandes cultures - Lien possible avec le niveau exploitation agricole via le RPG 	<ul style="list-style-type: none"> - Expertise agronomique indispensable à plusieurs étapes - Agrégation des données RPG en « groupes de cultures » et cultures non localisées dans les îlots - Spatialisation des types de sol peu précise - Domaine d'application actuel du modèle AMG limité aux grandes cultures

Les forces et faiblesses résultent à la fois des sources de données utilisées (RPG), de l'outil SIMEOS AMG et des méthodes mises en œuvre.

Le projet ABC'Terre

La démarche présentée dans cet article a été conçue à titre exploratoire afin d'illustrer les potentialités de l'exploitation de bases de données d'extension nationale sur les sols (RRP et BDAT) mises en relation avec des données spatialisées renseignant sur les systèmes de culture.

Elle est aujourd'hui reprise et développée dans le cadre du projet ABC'Terre¹, en réponse à

¹ Projet ABC'Terre (2013 -2015) : « Atténuation du Bilan de gaz à effet de serre et stockage de Carbone organique dans les sols agricoles à l'échelle d'un Territoire » initié dans le cadre du RMT « Sols et territoires ». Il regroupe les partenaires suivants : Agro-Transfert-RT (pilote), Institut polytechnique Lasalle Beauvais, ARAA, UMR INRA-AgroParisTech SADAPT, INRA (InfoSol, Agronomie Grignon, Agro-Impact Laon), LDAR, CRA Poitou-Charentes.

l'appel d'offre REACTIF (Recherche sur l'atténuation du changement climatique par l'agriculture et la forêt) lancé par l'ADEME en 2012. La première tâche assignée au projet est l'amélioration puis la validation des méthodes.

Travaux en cours

Les améliorations en cours portent d'une part sur l'affectation des analyses de la BDAT aux UTS : une méthode alternative a été développée par l'UMR SAS (INRA-Agrocampus Ouest), attribuant les analyses aux types de sol en fonction des données analytiques connues (granulométrie, calcaire, pH, CEC, ...).

La reconstitution des rotations à partir du RPG et leur affectation aux types de sol est le deuxième axe de travail : utilisation des méthodes de l'UMR AGIR (INRA-INPT) pour la filiation des îlots entre années successives et la reconnaissance des séquences de cultures, reconstitution d'assolements de rotations par optimisation sous contraintes en fonction des séquences observées, intégration des procédures dans un outil spécifique (« RPG Explorer » initié dans l'UMR SADAPT – INRA-AgroParisTech). L'échelle intermédiaire des territoires d'exploitations agricoles, classées par types a été introduite.

Applications dans le projet ABC'Terre

Ces travaux se prolongeront dans le projet ABC'Terre pour proposer une méthode de calcul du bilan net des GES à l'échelle du système de culture qui intègre les variations de stock de carbone organique dans les sols agricoles. Celle-ci sera appliquée à l'évaluation de scénarios de changements de pratiques à l'échelle d'un territoire :

- lutte contre l'érosion en Alsace
- introduction de légumineuses dans les systèmes de grandes cultures en Picardie.

Autres perspectives

Au-delà de la problématique de la gestion du carbone organique dans les sols agricoles, les méthodes présentées constituent un exemple de modélisation de la diversité des systèmes de culture d'un territoire, en relation explicite avec des types de sols. Elles pourraient être transposées pour traiter d'autres problématiques de territoire, notamment celles de la préservation des ressources en eau.

Références bibliographiques :

Duparque A., Tomis V., Mary B., Boizard H., Damay N., en collaboration avec Ancelin O., Dersigny C., Duranel J., Fleutry L. 2011. Le bilan humique AMG, pour une démarche de conseil fondée sur des cas-types régionaux – 10èmes rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de terre – COMIFER- GEMAS, Reims - 23-24/11/11 16 p.

Paroissien, J.-B., Saby, N., & Arrouays, D., 2011. Développement de méthodes d'affectation des analyses de la BDAT vers les Unités Typologiques de Sols. *Rapport interne Infosol, INRA Orléans*

Vigot M., 2010. Spatialisation du diagnostic de l'état organique des sols cultivés à l'échelle d'un territoire : exploration d'une méthode basée sur le bilan humique AMG, appliquée dans le département du Loiret. Mémoire d'ingénieur de l'ENITA Bordeaux. Lasalle Beauvais. 67 p + annexes.

Vigot M., 2012. Le carbone organique des sols cultivés de Poitou-Charentes ; quantification et évolution des stocks. Etude méthodologique. Chambre d'agriculture de Poitou-Charentes / RMT Sols et territoires. 20 p.