



Construction d'un modèle des flux de biomasses pour analyser avec les acteurs l'impact de l'introduction de l'agriculture de conservation sur la gestion de la fertilité à l'échelle du territoire villageois. Cas du Burkina Faso

Tidiane Diarisso, Nadine Andrieu, Guillaume Chirat, Marc Corbeels, Pablo Tittonel

► To cite this version:

Tidiane Diarisso, Nadine Andrieu, Guillaume Chirat, Marc Corbeels, Pablo Tittonel. Construction d'un modèle des flux de biomasses pour analyser avec les acteurs l'impact de l'introduction de l'agriculture de conservation sur la gestion de la fertilité à l'échelle du territoire villageois. Cas du Burkina Faso. Vall E., Andrieu N., Chia E., Nacro H B. Partenariat, modélisation, expérimentations : quelles leçons pour la conception de l'innovation et l'intensification écologique ?, Nov 2011, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. Cirad, 7 p., 2012, Colloques. <hal-00719381>

HAL Id: hal-00719381

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00719381>

Submitted on 19 Jul 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est émanant des établissements d'enseignement et de destinée au dépôt et à la diffusion de documents recherche français ou étrangers, des laboratoires scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, publics ou privés.

Construction d'un modèle des flux de biomasses pour analyser avec les acteurs l'impact de l'introduction de l'agriculture de conservation sur la gestion de la fertilité à l'échelle du territoire villageois

Cas du Burkina Faso

Tidiane DIARISSO*, Nadine ANDRIEU**, Guillaume CHIRAT*, Marc CORBEELS*, Pablo TITTONEL*

*CIRAD, UPR SCA, F-34398 Montpellier, France

**CIRAD, UMR Innovation, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso
CIRAD, UMR Innovation, F-34398 Montpellier, France

Résumé — Construction d'un modèle des flux de biomasses pour analyser avec les acteurs l'impact de l'introduction de l'agriculture de conservation sur la gestion de la fertilité à l'échelle du territoire villageois : cas du Burkina Faso. En Afrique subsaharienne et en Afrique de l'Ouest en particulier, l'augmentation de la pression démographique et le développement de la traction animale se sont traduits par une extension des surfaces cultivées et des tensions croissantes pour l'utilisation de l'espace agropastoral et des résidus de récolte. La recherche/développement a promu des pratiques et technologies innovantes telles que les fosses fumures ou l'agriculture de conservation qui accentuent l'appropriation des résidus de cultures et vraisemblablement les tensions à l'échelle du territoire villageois. L'objectif de cet article est de présenter un modèle conceptuel d'analyse avec les acteurs de l'impact de l'agriculture de conservation. Cette étude a été menée dans deux villages du Burkina situés en zones soudanienne et soudano-sahélienne. Une cinquantaine de producteurs ont été enquêtés afin de décrire les échanges de biomasses au sein de l'exploitation ainsi qu'avec les autres producteurs du village. Le modèle conceptuel est composé de trois entités. L'entité exploitation qui est le lieu où les décisions sont prises pour les diverses pratiques (les changements des pratiques d'utilisation de terre, la gestion de la fertilité, etc.), l'entité parcelle où sont mises en œuvre ces pratiques et qui ont une influence sur la fertilité de sol et l'entité bétail car les animaux par leurs activités participent au transfert de la fertilité et au flux de biomasses. Cet outil reste à implémenter sous la plateforme Cormas (Common-pool resources and multi-agents systems) afin de réaliser des simulations avec la modélisation multi-agent. Il sera utilisé en tant qu'outil de discussion concernant différents scénarios d'agriculture de conservation co-construits avec les acteurs impliqués au sein des plateformes d'innovation mises en place dans le cadre du projet Abaco qui vise à expérimenter cette technique.

Introduction

En Afrique subsaharienne, le maintien du stock de fertilité était traditionnellement basé sur la pratique de la jachère mais aussi sur des contrats de fumure entre acteurs (détenteurs de troupeaux et agriculteurs) (Sumberg, 1998 ; Landais et Lhoste, 1993).

Face à une augmentation démographique et le développement de la traction animale, on a assisté à une extension des surfaces cultivées, une pression croissante sur l'espace agropastoral et une réduction de la durée de la jachère. (Sumberg, 1998 ; vall *et al.*, 2006).

Compte de tenu des risques climatiques et de la faible trésorerie des producteurs, les apports d'engrais chimiques sur les parcelles cultivées restent limités conduisant à une baisse de la productivité des systèmes de production. (Dugue *et al.*, 2004).

En Afrique de l'Ouest on constate une disparition des contrats de fumure entre les différents types de producteurs qui se traduit par une compétition pour l'usage des résidus des récoltes aussi bien à l'échelle du village qu'à celle de l'exploitation pour le maintien de la fertilité des sols et l'alimentation des troupeaux (Dugue *et al.*, 2004 ; Dongmo, 2009).

Pour améliorer la fertilité des sols, les structures de recherche et de développement en Afrique de l'Ouest ont vulgarisé des technologies et des modes de gestion innovants telle que la fosse fumièrre et plus récemment l'agriculture de conservation basée sur une couverture permanente du sol, un travail minimum du sol et la rotation des cultures. Ces pratiques innovantes sont basées sur une appropriation des résidus de récolte susceptible de se traduire par des tensions supplémentaires au niveau du territoire villageois. Pour prendre en compte ces nouvelles difficultés, une articulation d'échelles d'analyse (parcelle, exploitation agricole, terroir villageois) et une démarche de co-construction des systèmes adaptés doivent être privilégiées.

Un enjeu pour la recherche est de concevoir des outils pour co-construire avec les producteurs des modes de gestion innovants de résidus de culture basés sur les principes de l'agriculture de conservation mais analysés à l'échelle du territoire villageois.

Plusieurs modèles ont été développés permettant une analyse des flux de biomasses entre système de culture et d'élevage. Ces modèles peuvent être regroupés en fonction de l'échelle d'application (parcelle, exploitation agricole, terroir villageois) et la méthode de modélisation (système multi-agents).

Le modèle conceptuel développé par Manlay (2004), est conçu pour analyser la gestion des ressources organiques (carbone, azote et phosphore) à travers les différentes unités spatio-fonctionnelles (jachère, champs des cultures de rente en exploitation semi-permanente, champs des cultures vivrières en exploitation permanente, champ de culture de riz irrigué) à l'échelle du terroir villageois. Le modèle permet d'avoir une idée précise sur la répartition de carbone et des éléments nutritifs entre les différentes unités spatio-fonctionnelles dans le territoire villageois et de procéder à des bilans de ces ressources sur ces unités. Ce modèle est conçu pour des analyses à l'échelle du territoire villageois et n'intègre pas l'échelle de l'exploitation où s'effectuent les prises de décision de gestion individuelle des terres qui impactent sur la dynamique du carbone et des éléments nutritifs.

Le modèle conceptuel développé par Dongmo (2009) permet d'analyser des questions relatives à la baisse de la fertilité de sol et des difficultés d'affouragement des bétails occasionnés par les interactions entre culture et élevage à différentes échelles (parcelle, exploitation agricole et le terroir villageois). Ce modèle met l'accent sur l'importance d'une prise en compte dans les analyses des représentations et des logiques de gestion qui guident les échanges et les transferts de fertilité et de biomasses par les producteurs pour une compréhension de l'intelligence de ces pratiques et stratégies afin de leur apporter les appuis nécessaires. La démarche d'analyse adoptée dans ce modèle peut permettre d'aboutir à une meilleure compréhension des pratiques individuelles et collectives de gestion des systèmes de cultures et d'élevage dans le terroir villageois. Il n'y a cependant pas eu d'application informatique de ce modèle permettant une analyse prospective de l'impact de différents scénarios d'évolution des systèmes de culture et d'élevage.

Mirot (Belem, 2005) et Catmas (Belem *et al.*, 2009) sont des modèles multi-agents permettant de procéder à des simulations de la dynamique de carbone. Ces modèles prennent en compte trois échelles d'analyse : la parcelle, l'exploitation agricole et le terroir villageois. Le modèle Mirot a été construit pour une analyse de la dynamique de carbone dans un village du sud-ouest du Burkina Faso à travers un examen et une comparaison des effets de deux systèmes de cultures (traditionnel à base d'igname et continu basé sur la culture du coton) sur les dynamiques du carbone dans le terroir villageois. Le modèle Mirot est spécifique au village du sud-ouest du Burkina Faso et ne peut être utilisé pour d'autres localités. Le modèle Catmas, à l'opposé de Mirot est générique. Il permet des analyses de points de vue multiples des dynamiques de carbone et une évaluation de la viabilité des systèmes d'exploitation à travers des scénarios sociaux, économiques, physiques et biologiques. Catmas est couplé d'une part à un modèle biophysique (Century model) pour une représentation de la dynamique du carbone à l'échelle de la parcelle et d'autre part à un système d'information géographique (QGIS version 1.0) permettant une représentation réaliste des ressources en carbone et des acteurs dans un système. Le modèle Catmas demande une somme de données importante pour la réalisation des simulations. Toutefois la démarche de modélisation multi-agent utilisée avec le modèle Catmas est intéressante puisque elle permet de mieux cerner la complexité des pratiques de gestion individuelle et collective de ressources partagées et de prédire leur évolution à travers des scénarios co-construits avec les acteurs (agriculteurs et éleveurs).

L'utilisation du modèle Catmas s'est limitée toutefois à des scénarios pour un village virtuel, notamment pour des simulations impliquant deux systèmes de culture (semi permanent d'igname-mais-sorgho-sorgho-sorgho et permanent mais-coton-mais-sorgho-sorgho) et axée sur l'impact de différents régimes de climat sur les dynamiques du carbone.

Comment modéliser les conséquences de l'introduction de l'agriculture de conservation sur les flux de biomasses à l'échelle du territoire villageois.

Pour modéliser l'impact de l'introduction de l'AC, il faut tenir compte de trois niveaux d'échelle : de la parcelle, de l'exploitation et du territoire. L'objectif de cet article est de présenter le modèle conceptuel d'analyse d'impact de l'agriculture de conservation. Pour atteindre cet objectif, nous nous sommes basés sur la littérature et sur des données d'enquêtes dans différentes zones agro climatiques du Burkina.

Dans une première partie nous présenterons la structure du modèle conceptuel et nous discuterons de perspectives en termes de développement informatique et d'utilisation avec les acteurs

Matériels et méthode

Zones d'études

Cette étude a été menée dans deux villages du Burkina (Yilou et Koumbia). Le village de Yilou est situé en zone soudano-sahélienne avec une pluviométrie moyenne comprise entre 400 et 600 mm. La majorité de systèmes dans ce village sont mixtes intégrant quelques bœufs de trait aux cultures vivrières (sorgho, niébé, mil). La zone se caractérise par une forte pression agropastorale se traduisant par une compétition pour l'accès aux résidus de cultures.

Le village de Koumbia est situé en zone soudanienne avec un pluviomètre comprise entre 800-1 100 mm. La pression pastorale est du même ordre qu'à Yilou avec 45hab/km² mais avec des conditions de production de la biomasse plus favorables. Les systèmes de production sont également mixtes avec un cheptel plus élevé lié à la culture cotonnière qui fournit une rente aux producteurs facilitant l'acquisition de bœufs de trait. Les cultures céréalières sont essentiellement le maïs et le sorgho.

Recueil des données

L'objectif de cette phase a été de déterminer les éléments du réel à modéliser en répondant à des questions de types : quels principaux flux de biomasses à l'échelle du village et de l'exploitation ? Quels systèmes de culture et d'élevage dominants ? Quelles pratiques associées à ces flux ?

Deux niveaux d'échelle ont été considérés afin d'atteindre cet objectif. Au niveau du territoire villageois on a réalisé des focus groupe avec une quinzaine de producteurs et les agents du ministère de l'agriculture en vue d'identifier la diversité des systèmes de production. Lors de ces focus groupe deux cartes à dire d'acteurs ont été élaborées. La première, en se basant sur l'axe routier traversant le village avait comme objectif de décrire la localisation des différentes zones d'habitation et des infrastructures socio-sanitaires (école, centre de santé, etc.). La deuxième carte visait à localiser l'espace agropastoral (zone cultivée, les pâturages, bas-fonds), les flux opérés dans cet espace et les types de sols du village.

Au niveau de l'exploitation, des enquêtes individuelles ont été menées auprès d'une cinquantaine de producteur par village. Les enquêtes avaient pour but de décrire plus finement les flux de biomasse à l'échelle du village et de l'exploitation. Les enquêtes ont porté sur les caractéristiques structurelles des exploitations, les pratiques de gestion de la fertilité des sols, d'alimentation des animaux ainsi que l'usage final de la biomasse produite (vente, dons, autoconsommation).

Résultat : le modèle conceptuel Simbio

Objectif du modèle

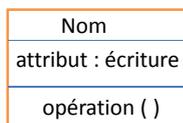
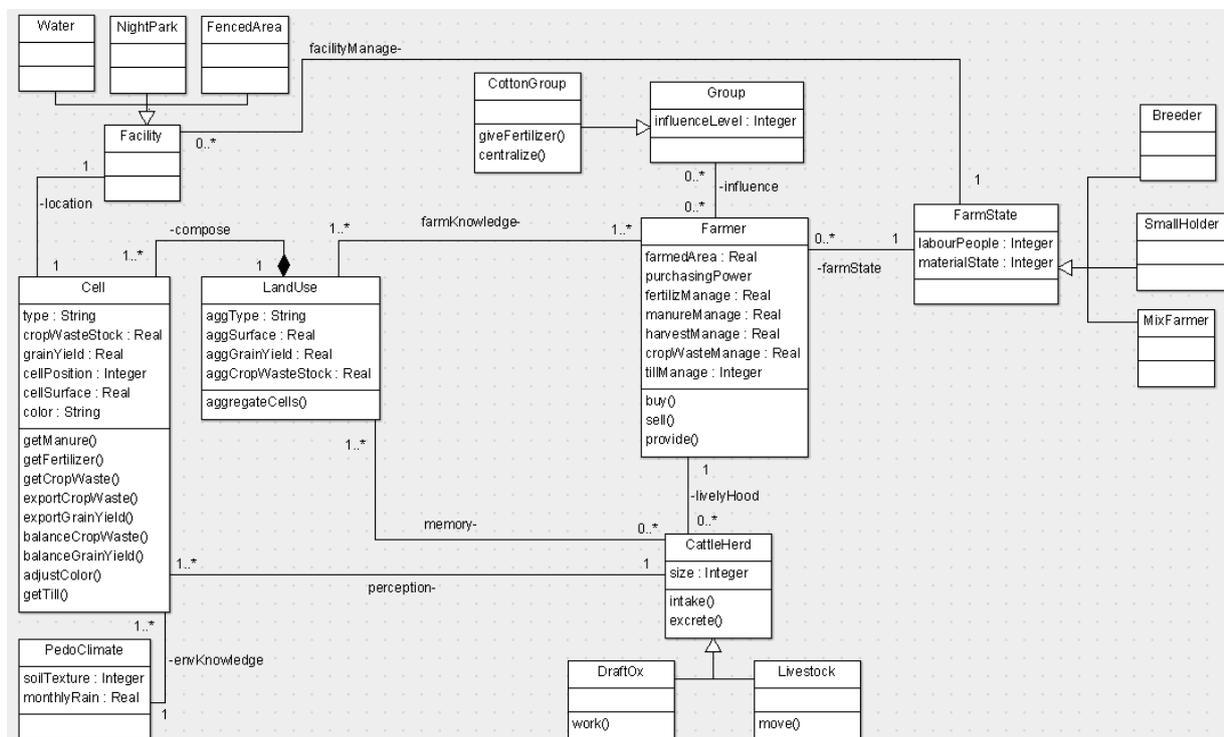
L'objectif du modèle Simbio est d'être utilisé comme outil de discussion et de conception avec les acteurs (producteurs et éleveurs), des scénarios d'intégration d'agriculture et d'élevage et de l'impact de pratiques innovantes sur les flux de biomasse entre systèmes de culture et d'élevage et la fertilité des sols.

Variable d'état et échelles

Le système étudié est un agro-écosystème villageois constitué d'un ensemble d'exploitations et des zones de parcours. Le modèle prend en compte trois échelles d'analyse : la parcelle et l'animal, l'exploitation agricole et le terroir villageois. L'approche à ces trois échelles permet de construire un meilleur cadre d'analyse des relations agriculture-élevage. Elle permet :

- au niveau de la parcelle, de comprendre les pratiques culturales et leur influence sur les aptitudes à produire du sol et la production de biomasse ;
- au niveau de l'animal, de comprendre comment par leurs activités (pâturage, déplacement, déjections), ils participent au transfert de la fertilité et aux flux de biomasses ;
- au niveau de l'exploitation, de comprendre la logique de prise des décisions pour les diverses pratiques de production et d'utilisation de la biomasse (les changements des pratiques d'utilisation de terre, la gestion de la fertilité, l'affouragement des animaux) ;
- et au niveau terroir villageois de cerner les logiques de valorisation des espaces et des ressources partagés par les différents types de producteurs et leur influence sur les transferts de fertilité.

La Figure 1 présente sous formalisme UML (Unified Modeling Language), la structure retenue pour ce modèle.



Classe, qui encapsule une entité Nom, ses attributs et les opérations qu'elle peut faire. Une classe peut avoir des instances : une classe Vache peut avoir 30 instances Vache au sein d'un troupeau



Héritage / Généralisation



Lien (à expliciter)



Composition / Agrégation



Attribut qui explicite le lien entre 2 classes



Multiplicité : combien peut-il y avoir d'instances de la classe ? Ici : au moins une, jusqu'à une infinité

Légende : principales conventions UML.

Figure 1. Diagramme de classes du modèle Simbio.

Processus modélisés

Un certain nombre de processus biophysique et décisionnels ayant des influences sur les flux de biomasses et le transfert de la fertilité dans le terroir villageois sont représentés dans le modèle.

Les processus biophysiques modélisés à l'échelle de la parcelle et de l'animal sont essentiellement :

- l'absorption des éléments fertilisant par les cultures ;
- la production de biomasses sur les parcelles cultivées (grain, paille, fanes, etc.) ;
- l'ingestion par les animaux de la biomasse végétale ;
- la production de déjection ;
- la production de lait par les animaux.

Les processus décisionnels modélisés à l'échelle de l'exploitation et du territoire villageois sont entre autres :

- la superficie de l'exploitation à exploitée ;
- l'apport de fertilisants sur les parcelles cultivées ;
- le déplacement des animaux au sein et hors exploitation ;
- production de la fumure organique au sein de l'exploitation ;
- la collecte de résidus de récolte pour les besoins de l'exploitation ;
- la commercialisation des produits de l'exploitation ;
- l'achat de produits (céréales, animaux) par l'exploitation ;

Les variables d'entrées

Les variables d'entrées ici sont celles qui ont une importance pour le système étudié. Il s'agit notamment des séries des pluviométriques annuelles, de la texture du sol par parcelle, du stock en éléments nutritifs par types de sol, de la superficie cultivable par exploitation, de la superficie cultivée par type de culture, les rendements en grain et en paille par type de culture, quantité par type de fertilisant apportée, la fréquence d'apports des fertilisants, la quantité par type d'aliment donné aux animaux, le nombre d'animaux par type au sein d'une exploitation, quantité de fumure organique produite par l'exploitation, nombre d'animaux effectuant la transhumance par exploitation, la quantité de produits (céréales, coton, lait, fumure organique, paille, etc.) vendus ou donnés en dons par exploitation, prix d'achat des intrants agricoles, nombre total de personne et d'actif par exploitation, son pouvoir d'achat, de ses équipements, son appartenance ou non à un groupement de producteurs de coton.

Les sous modèles

Exploitation (Farmer). La classe exploitation est caractérisée par une aire du territoire exploité (peu importe le statut foncier), par une main d'œuvre en sa possession, des équipements agricoles, des animaux (bovins, ovins, caprins etc.). Elle a un pouvoir d'achat, qui dépend de ce qu'elle vend (coton, céréales, lait) et de ce qu'elle achète (fertilisants, semences, bovins, etc.).

L'exploitation cherche à satisfaire ses besoins alimentaire et monétaire. Elle exploite une partie ou la totalité de l'aire exploitable en sa possession à travers certaines pratiques : fertilisation chimique (fertilizManage), récupération et épandage de fumure organique (manureManage), organisation de la récolte (harvestManage), gestion des résidus de cultures (cropWasteManage), pratique du labour (tillManage). Par purchasing l'exploitation investie en achetant par exemple de troupeaux et des équipements agricoles pour améliorer sa production.

Catégorie d'exploitation (FarmState). Cette classe est caractérisée Elle est également caractérisée par le nombre d'actifs sur l'exploitation (LabourPeople) et le niveau d'équipement (materialState). Ces caractéristiques influent sur cropWasteManage et tillManage (plus il y a de main d'œuvre, plus il est envisageable de faire de l'agriculture de conservation) et sur les distances des flux, entre autres.

Breeder : cette classe est caractérisée par un nombre important d'animaux d'élevage. Elle cultive uniquement les céréales.

SmallHolder : ne possède pas d'animaux d'élevage. Elle cultive le coton et les céréales.

MixFarmer : la classe mixfarmer, possède un noyau d'animaux d'élevage. Elle cultive le coton et les céréales.

Cellule (Cell) : c'est l'unité spatiale de l'interface graphique. Une cellule correspond à une parcelle qui est caractérisée par sa taille, son type (une cellule peut représenter une case, une route, un bas-fond, une culture (sorgho, maïs, arachide, coton, niébé, etc.), végétation spontanée (parcours), une jachère, un point d'eau, etc), ses coordonnées (une cellule a des coordonnées par défaut sur la carte virtuelle), la quantité de biomasse qui s'y trouve (en fonction de ce qu'elle représente, la cellule porte un certain stock de biomasse). La cellule est également caractérisée par une couleur, propre à son type. Cette couleur évoluera en nuance en fonction de la diminution ou de l'augmentation du stock de biomasse (`adjustColor()`).

La cellule est l'entité centrale qui englobe les flux, même si elle les subit en réalité. La cellule peut être utilisée pour produire des cultures (céréales, coton, légumineuses, etc.), apportée des fertilisants aux cultures ou pour prélever de la biomasse (résidus de récolte, paille de brousse, etc.). Chaque cellule à travers `getManure` (commande au sein de chaque cellule) calcule les apports ou les sorties de fertilisants, provenant par exemple du bétail (Classe `CattleHerd`), ou des pratiques d'épandage de l'exploitation (Classe `Farmer`).

Selon qu'on réalise le labour ou pas, qu'on restitue par engrais chimiques ou organiques, une rétroaction sur la production de biomasse au champ est créée, l'année suivante.

PedoClimate : la classe `PedoClimate` décrit les facteurs environnementaux de la production de biomasse. Elle est caractérisée par la texture du sol (qui va influencer sur la production de biomasse en liaison avec le labour) et les précipitations mensuelles.

LandUse : cette classe correspond à l'agrégation de cellules d'un même type et contiguës pour constituer soit une route, soit une parcelle cultivée, etc. C'est à l'échelle de cette classe `LandUse` que la classe `Farmer` prend ses décisions. Par exemple, un exploitant gère une parcelle. Et ce qui « arrive » à la parcelle du fait de l'exploitant passe mécaniquement aux cellules qui la composent. De même la classe bétail est affectée à l'instance `LandUse` (le bétail est affecté aux parcours ou aux parcelles) même si localement, vont pâturer sur des cellules de leur circuit.

Bétail (`CattleHerd`) : la classe est caractérisée par les effectifs d'animaux et les modes d'alimentations. C'est une classe qui est « connue » par son exploitant, via l'attribut `livelihood`. Un troupeau peut donc répondre aux orientations et pratiques de son exploitant. Le bétail se déplace, ingère (`intake()`) et produit des fèces (`excrete()`).

Deux sous-classes héritent de ces caractéristiques : la classe des animaux de trait (`DraftOx`) et celle des animaux de rente (`Livestock`). Il semble a priori intéressant de séparer ces deux catégories d'animaux qui n'ont pas le même rôle dans les flux de biomasse.

Groupement (`Group`) : nous terminons avec cette classe, qui représente une entité sociale agissant sur le comportement des agents `Farmer`. Il peut y avoir des « lobbies » ou des groupes coopératifs. A ce stade de travail, seule la sous-classe `CottonGroup`, i.e. groupement des producteurs de coton, a été représentée. Elle est importante pour calibrer les quantités d'intrants disponibles.

Discussion

Le modèle est au stade de conception et doit être utilisé sous la plate-forme `Cormas` (Common-pool resources and multi-agents systems) afin de réaliser des simulations avec la modélisation multi-agent. Cette plate forme est choisie pour sa simplicité permettant l'articulation de la modélisation des interactions et des flux de biomasses des systèmes de culture et d'élevage. Certains modèles (Dongmo, 2009 ; Belem, 2009) permettent déjà une prise en compte des échelles d'analyse parcelle, exploitation agricole et terroir villageois. Le modèle en conception va adopter cette démarche d'analyse à ces échelles et en plus de permettre la simulation des scénarios originaux. Le modèle sera utilisé comme outil de co-construction de scénarios d'intégration de l'agriculture de conservation avec les acteurs au sein d'une plate forme d'innovation mise en place dans le cadre du projet `Abaco` et réunissant divers acteurs (groupements d'agriculteurs et d'éleveurs, agriculteurs agents techniques, fournisseurs d'intrants) susceptibles de jouer un rôle dans la mise en œuvre de l'agriculture de conservation. Un de ces scénarios pourrait correspondre à la mise en œuvre de l'agriculture de conservation chez les agriculteurs

pour analyser les impacts en termes d'affouragement des cheptels d'éleveurs. Différentes tailles de cheptel pourraient également être testées ainsi que des proportions différentes des différents types de producteurs. Ces scénarios seront par la suite simulés pour une évaluation ex-ante de leurs impacts sur la fertilité des sols et la productivité des agroécosystèmes.

Des difficultés existent toutefois pour l'utilisation du modèle avec les acteurs. Certains acteurs n'étant pas habitués à l'outil de modélisation, il faudrait trouver une démarche souple leur permettant de mieux participer à la co-construction des scénarios d'intégration de l'agriculture de conservation. La démarche par les jeux de rôle semble mieux adaptée et peut permettre aux acteurs de se familiariser avec la modélisation (Aquino *et al.*, 2002). Les acteurs pourront ainsi être capables de suivre les différents scénarios, de les discuter et enfin d'en proposer des nouveaux.

Cette méthode d'utilisation de modèle avec les acteurs permet un partage de points de vue différents sur les contraintes de l'intégration de l'agriculture et de l'élevage. Ce partage de points de vue pourra permettre de dégager des pistes pour une gestion concertée de la biomasse.

Conclusion

La construction du modèle permettra une articulation des échelles d'analyse : la parcelle ou s'exerce les pratiques de production, l'exploitation agricole, centre de prise de décision et le terroir villageois ou s'opère les interactions entre les différents acteurs influençant l'utilisation des ressources partagées.

Elle permettra de disposer d'un outil performant d'analyse avec les acteurs des impacts des innovations en vue d'améliorer leurs pratiques de gestion de la fertilité des sols. Cet outil peut servir également dans le cadre des dispositifs d'appui-conseil des projets de développement comme outil de dialogue et d'aide à la décision avec les producteurs.

Bibliographie

D'AQUINO P., LEPAGE C., BOUSQUET F., BA A., 2002. Jeux de rôles, SIG et SMA pour la gestion territoriale...Et si les acteurs décideurs construisaient leurs propres outils ? *Annales des mines*, 67 – 82.

BELEM M., 2005. Couplage entre système multi-agents et programmation mathématique : application à la simulation de la dynamique en carbone d'un terroir au Burkina. DEA en informatique, Université Paris Dauphine, Paris, France, 90 p.

BELEM M., 2009. A conceptuel model for multipoints of view analysis of complex systems. Application to the analysis of the carbon dynamics of village territories of the West African Savanna. Thèse en informatique et simulation, Institut de science et industrie du vivant et de l'environnement (Agro Paris Tech), France, 195 p.

DONGMO. A.L., 2009. Territoire, troupeaux et biomasse : enjeux de gestion pour un usage durable des ressources au Nord Cameroun. Thèse en agronomie et zootechnie, Institut de science et industrie du vivant et de l'environnement (Agro Paris Tech), France, 275 p.

DUGUE P., VALL E. LECOMTE P., KLEIN H.-D., ROLLIN D., 2004. Evolution des relations entre l'agriculture et l'élevage dans les savanes d'Afrique de l'Ouest et du Centre. Un nouveau cadre d'analyse pour améliorer les modes d'intervention et favoriser les processus d'innovation. *OCL*, 11(4-5), 268-276.

LANDAIS E. et LHOSTE P., 1993. Système d'élevage et transfert de la fertilité dans la zone des Savanes africaines. *Cahiers de sciences humaines*, 26 (1-2), 217-235.

MANLAY R. J., ICKOWICZ A., MASSE D., FELLER C., RICHARD D., 2004. Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget in a village of west African Savanna II. Elements flows and functioning of a mixed – farming system. *Agricultural systems*, 79, 83 - 107

SUMBERG J., 1998. Mixing farming in Africa: the search for order, the search for sustainability. *Land use policy*, 15 (4), 293 - 317.

VALL E., DUGUÉ P., BLANCHARD B., 2006. Tissage des relations agriculture-élevage au fil de coton. *Cahiers d'agricultures*, 5 (1), 72 - 79.