

Services et impacts environnementaux du recyclage agricole - vers la gestion intégrée des résidus organiques à la Réunion

T. Wassenaar

CIRAD, UPR Recyclage et risque, Station de la Bretagne - BP 20 - 97408 Saint Denis
Messagerie Cedex 9 – Île de la Réunion, France

tom.wassenaar@cirad.fr

Résumé

L'unité de recherche "Recyclage et Risque" du CIRAD mène depuis plusieurs années des recherches fondamentales, appliquées et systémiques sur les propriétés des résidus organiques, les effets agro-environnementaux de leur recyclage agricole et la modélisation de leur gestion. Connaissant le potentiel théorique de leur recyclage à la Réunion, il s'agit maintenant d'élaborer des solutions concrètes à l'aide de recherches participatives. Ces dernières, contrairement aux pratiques courantes, cherchent à évaluer avec l'ensemble des acteurs concernés le potentiel de la gestion intégrée des résidus organiques d'un territoire dans le but de satisfaire au mieux ses besoins agronomiques.

D'un point de vue environnemental, la situation de départ est caractérisée à l'aide d'indicateurs de "pression" globale de type ACV et pour les matières actuellement déjà valorisées, une analyse coût-bénéfice. Lors de l'élaboration itérative des scénarios de gestion, l'évaluation environnementale (entre autres dimensions) fournira par comparaison à cette situation de départ un retour à ce processus participatif.

1 Introduction : regard sur l'évaluation environnementale

Selon les textes définissant l'évaluation environnementale (e.g. la loi canadienne sur l'évaluation environnementale¹, la politique de la banque mondiale²), celle-ci doit satisfaire les critères généraux suivants :

- l'évaluation environnementale se fait dans un but d'aide à la décision et, constructive, se doit d'évaluer le potentiel de mesures d'atténuation des impacts négatifs ;
- les méthodes à employer ainsi que le périmètre du système à considérer ne sont pas prescrites, mais leur choix doit être approprié par rapport à l'objectif de l'évaluation ;
- au delà des impacts sur l'environnement sensu stricto, l'évaluation comprend la santé publique et les impacts sociaux découlant des impacts environnementaux.

Ces textes prescriptifs concernent forcément l'évaluation *ex ante* et concernent donc des impacts *potentiels*. Dans le domaine des évaluations *ex post*, telles que souvent pratiqué en agronomie, on devrait en toute logique chercher à connaître les impacts *réels*. Le choix de l'approche dépend du type de décision que l'évaluation cherche à servir. On peut distinguer deux sous-ensembles d'approches : celles cherchant à servir une décision relative au choix entre objets (produits ou services) et celles cherchant à servir une décision relative au choix de modification ou de création d'un objet. Dans le dernier cas il est plus impératif de chercher à

¹ http://www.ceaa.gc.ca/013/intro_f.htm

² <http://go.worldbank.org/K7F3DCUDD0>

s'approcher le plus possible des impacts réels, toute méthode étant en réalité le résultat d'un compromis entre généralité et spécificité.

Les auteurs ayant cherché à catégoriser l'ensemble des méthodes existantes ont surtout utilisé le type d'objet évalué (e.g. politiques, régions, organisations, projets, produits, substances) comme base de discrimination ce qui donne des classes non exclusives et donc une classification ambiguë. Une alternative serait de suivre une approche hiérarchique où dans un premier temps on distingue trois types d'approche qui représentent des équilibres différents et exclusifs entre généralité et spécificité, régis par le processus décisionnel qu'ils servent :

- A. L'approche « entrée-sortie » ou « cycle de vie » où l'accent est sur la généralité dans un but de comparaison. On quantifie l'ensemble des flux en entrée et sortie d'un système mais pas l'effet des activités au sein du système affectant directement l'état de l'environnement (e.g. pratiques culturelles). Sans a priori elle s'intéresse à l'ensemble des domaines d'impact mais restant au niveau d'impact « potentiel » elle agrège les contributions et ne considère pas l'influence des conditions locales ;
- B. L'approche « impact » au contraire vise les impacts réels et est par conséquent peu générale. Son but est de juger (1) la pertinence d'une action envisagée ou (2) la nécessité d'en envisager une. Partant donc d'une connaissance a priori elle est plus ciblée ainsi que plus à même de considérer les impacts sur le milieu récepteur ;
- C. L'approche « risque » cherche à aider à gérer un danger identifié. La connaissance a priori de ce danger/aléa pré-identifié est confrontée à la vulnérabilité du milieu récepteur afin de connaître la chance que l'impact produit représente un dommage ([agro-]écologique ou sanitaire). Spécifique en termes spatio-temporelles et de domaine d'impact elle l'est aussi par nature, nécessitant une relation de cause à effet unique et bien identifiée.

Pour prendre un exemple du domaine agronomique, on emploiera : une méthode de l'approche A si l'on cherche à évaluer l'agrodiesel sur base d'huile de palme par rapport à d'autres carburants ; une méthode de l'approche B si l'on cherche à créer une nouvelle plantation de palmiers à huile ; une méthode de l'approche C si l'on veut savoir s'il faut éviter la mise en décharge de certains effluents d'une bioraffinerie d'huile de palme. Mais au delà de leur opposition, les définitions ci-dessus font clairement apparaître des complémentarités : Dans des conditions où la finalité décisionnelle exige de connaître le risque environnemental induit par un système complexe (e.g. un système de production d'huile végétale, et ses sous-produits) un ensemble de méthodes est mis en œuvre dans une séquence « A, puis B, puis éventuellement C », i.e. de générale vers spécifique.

2 Le recyclage de résidus organiques sur la terre agricole : des résidus anthropiques pour la gestion des ressources naturelles

L'introduction du recyclage agricole de résidus organiques dans un territoire à travers la création de véritables filières de valorisation constitue une telle intervention dans un système complexe nécessitant ensemble de méthodes d'évaluation.

L'intérêt renouvelé pour le recyclage agricole vient de sa contribution potentielle à l'amélioration de l'éco-efficacité et de la résilience des systèmes de production, deux priorités de la recherche agricole actuelle (Deane et al. 2010; <http://resilience2011.org>; IAASTD, n.d.; IAASTD, 2009). Au Cirad, la recherche en matière de recyclage agricole vise également l'augmentation en parallèle de la productivité, i.e. l'intensification écologique.

Mais la réintroduction de la vieille pratique du recyclage agricole des résidus organiques dans un monde complexe et changeant, sous de multiples contraintes, est un défi considérable

nécessitant des efforts de recherche et de développement. Il s'agit d'un domaine de recherche peu structuré, mais non isolé. Le positionnement adopté est de concevoir ces recherches comme point d'entrée de la gestion intégrée de ressources naturelles (INRM en anglais), i.e. la gestion responsable des ressources naturelles requise pour soutenir la productivité agricole (potentielle) (Douthwaite et al. 2002). Ces deux domaines de recherche devraient s'efforcer à être compatibles et complémentaires, car ils poursuivent la même finalité, définie pour l'INRM comme "un accent accru sur la gestion du risque, la réduction de la dépendance vis-à-vis d'entrées provenant de l'extérieur, l'évitement d'une réduction à long terme du potentiel de production et un meilleur contrôle des externalités environnementales" (Sayer & Campbell 2002).

Ce positionnement résulte du constat d'échec de la logique classique de la recherche analytique consistant à promouvoir la large adoption de la pratique de recyclage agricole à travers le paradigme classique du transfert de technologie, un constat vieux de 30 ans (Greenland 1980). La montée de la recherche systémique a depuis donné lieu à des oppositions entre analytique et systémique, telles qu'entre l'avènement de l'agro-écologie et la recherche agronomique conventionnelle, présentée comme « réductionniste » par le premier (Altieri 1995). L'agro-écologie constitue la base scientifique de l'INRM, issu donc de l'école « systémique » : « L'agro-écologie a émergé comme la discipline qui fournit les principes écologiques de base pour étudier, concevoir et gérer des agroécosystèmes qui sont à la fois productifs, conservant de ressources naturelles, et également culturellement sensibles, socialement justes et économiquement viables » (Altieri 2002).

En concevant le recyclage agricole dans un contexte d'INRM, nous reconnaissons le besoin à la fois de l'INRM et de la recherche agronomique conventionnelle, et le besoin de la dernière d'évoluer vers « l'objectivité réflexive » (Alrøe & Kristensen 2002) pour atteindre « l'alliance satisfaisante » (M'Pherson, 1974) recherchée. Douthwaite et al. (2002) ont proposé le « suivi de technologie » (« follow-the-technology » : FTT en anglais) comme alternative au « transfert de technologie ». L'approche FTT de l'INRM « utilise la technologie comme point d'entrée dans une situation complexe pour déterminer ce qui est important. Elle est basée sur la « sélection par l'apprentissage » : les porteurs d'enjeu expérimentent avec une nouvelle technologie et exercent les rôles évolutionnaires (i.e. sélection *naturelle*) de génération de nouveauté, de sélection, de promulgation. La motivation de participer est la « promesse plausible » de la part de la recherche de résoudre un vrai problème (agricole).

L'unité de recherche "Recyclage et Risque" du CIRAD intervient dans des « situations » où le recyclage agricole de résidus organiques constitue une telle promesse. Ses recherches sont donc en grande partie spatialement spécifiques, se mettant en œuvre dans une situation, et sur un site, spécifique ce qui induit un besoin de critères pour sélectionner cet objet : les deux principaux sont d'un côté une forte concentration de résidus organiques induisant des risques (environnementaux/sanitaires) critiques, et de l'autre côté une zone d'agriculture conventionnelle avec un fort potentiel d'intensification écologique.

En accord avec le FTT, ces recherches couvrent une grande partie du continuum entre la recherche dite « dure » et l'adoption de ses produits par la société (figure 1) : le processus démarre par la recherche appliquée : les caractéristiques des résidus organiques présents, leur devenir, les conséquences de leur utilisation, les effets des transformations, les besoins agronomiques... En fonction des résultats, appel est fait à la recherche fondamentale en fonction des « trous » de connaissance critiques identifiés. Puis la modélisation systémique permet de formuler la promesse plausible sur comment et à quel point l'offre et la demande en « produits résiduaux organiques » (PRO) peuvent en théorie se rejoindre dans le système en question. Puis des cadres d'évaluation doivent être développés pour l'analyse objective des sorties d'INRM, avec restitution des résultats à l'INRM sous une forme appropriée. Cette

évaluation comprend la logistique des flux et l'environnement, domaines qui relèvent de la compétence de l'unité de recherche mais elle couvre également et nécessairement les dimensions économiques et sociales.

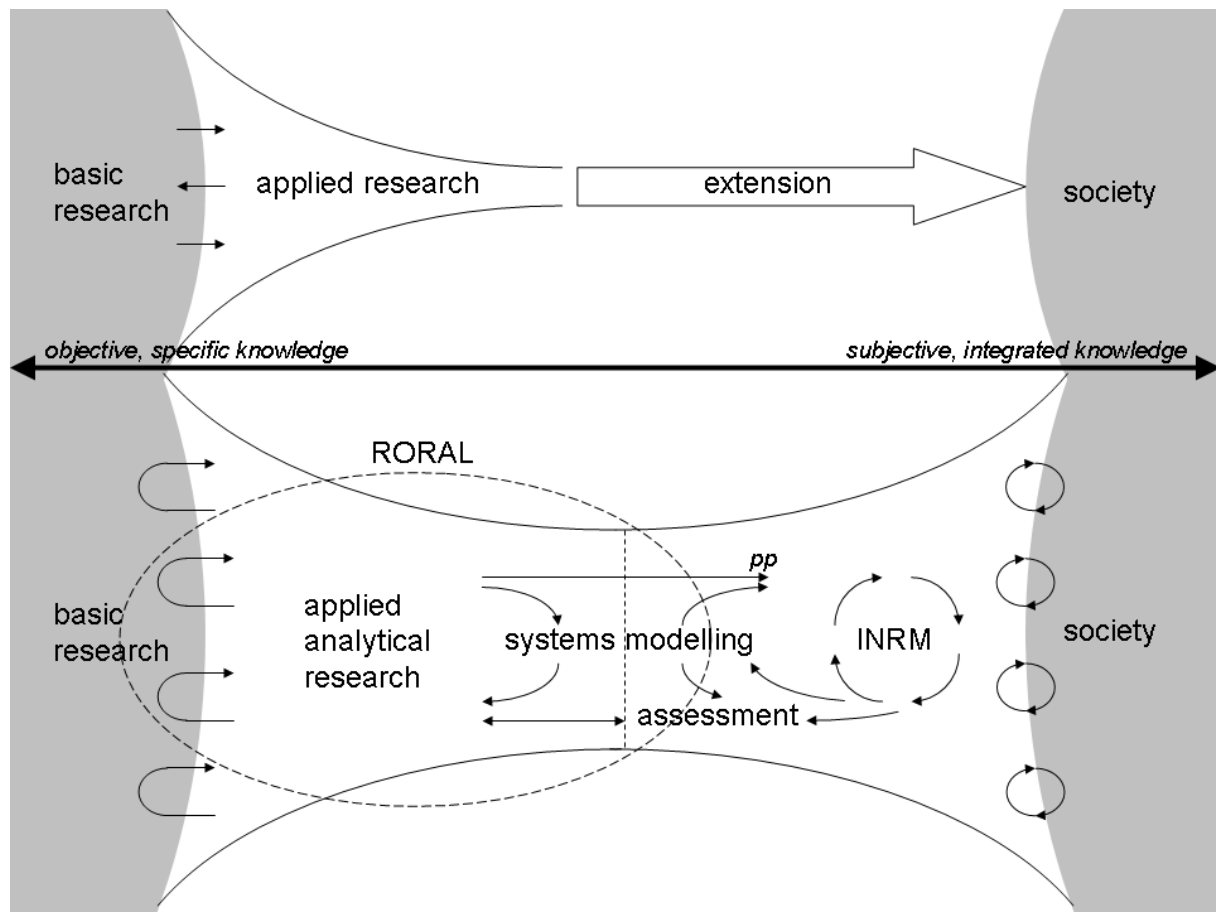


Figure 1. En haut : le continuum recherche-développement du transfert de technologie, pour référence. En bas : la base épistémologique proposée pour un lien solide entre science et société dans le contexte du développement agricole. Tout type de recherche est requis et complémentaire, mais générer l'innovation est initiée dans le domaine de la recherche appliquée par le développement de la promesse plausible (pp). L'exemple de notre unité de recherche projeté sur cette implémentation générique proposée de FTT (ovale « RORAL » en pointillé) illustre notre vision sur l'organisation effective de la recherche: un groupe de recherche « dure », participant à l'INRM à travers duquel il interagit avec la science « molle », tout en s'étendant à l'autre extrême jusque dans la recherche fondamentale.

3 Exemple de la démarche : la Gestion Intégrée des Résidus Organiques par la Valorisation Agronomique à la Réunion (GIROVAR)

L'île de la Réunion est un territoire qui répond aux critères cités ci-dessus. L'agriculture y est pénalisée à la fois par un coût élevé des intrants, en grande partie importés, et des transports et par une fragmentation et une pression foncière élevées et croissantes du fait de la forte urbanisation. Les enjeux et dynamiques liées à la gestion des résidus organiques y sont importants, car là où l'ensemble des gisements est en augmentation, leur élimination ou épandage est de plus en plus contraint. Paradoxalement, le monde agricole dépend pour son intensification de l'apport d'engrais minéraux importés par voie maritime.

Des travaux antérieurs suggèrent que les problèmes de gestion relèvent davantage d'un manque de connaissance réciproque des producteurs de résidus organiques et de leurs utilisateurs potentiels, plutôt que d'un excédent structurel de résidus. D'où l'idée de mettre en œuvre une démarche participative impliquant des représentants des consommateurs, producteurs, transformateurs et gestionnaires de résidus organiques.

Cette démarche sera appliquée à travers le projet de développement GIROVAR³ co-financé par le ministère d'Agriculture, de l'Alimentation et de la Pêche sur la période 2011-2013. L'objectif principal est la co-construction et l'évaluation de scénarios de gestion intégrée des résidus organiques, allant jusqu'à la préparation de la mise en place d'au moins un d'entre eux, à l'aide d'une démarche de modélisation participative, afin que leur recyclage agricole contribue au mieux à la productivité durable du territoire.

Outre sa conception intégrée des résidus d'un territoire, une seconde originalité de ce projet consiste à entrer par la « demande » agronomique et agricole (plutôt que de partir l'« offre » de résidus organiques dans une optique d'élimination de déchets) pour évaluer dans quelle mesure cette demande peut absorber tout ou partie de l'offre. Une meilleure prise en compte de la demande couplée à la gestion intégrée des résidus doit permettre d'aboutir à (1) des produits organiques plus adaptés à la demande agricole, et (2) une co-valorisation énergétique des résidus bruts. En même temps que de sécuriser une production agricole durable, une telle quantification de la demande permettra de s'exprimer sur la part des résidus disponible pour d'autres valorisations (e.g. énergétiques).

Couplé aux informations sur les gisements disponibles et sur les procédés de transformations, l'estimation de ces demandes agronomiques constituera la « promesse plausible » en entrée de l'INRM, i.e. les ateliers de co-construction. Il s'agit ici d'une démarche de modélisation participative impliquant des représentants des acteurs concernés par l'amélioration des circuits de valorisation agronomique des résidus sur le territoire en question. Le principe de base consiste à animer un groupe de travail pour co-construire une représentation partagée du problème (i.e. un modèle), de ses limites, des enjeux, des solutions possibles. Le modèle obtenu sert ensuite à explorer collectivement et à faire évoluer des scénarios d'amélioration à l'aide de simulations informatiques et de jeux de rôles. La démarche proposée est celle de la modélisation d'accompagnement (Etienne 2010) qui implique un processus participatif, itératif et adaptatif. Cette adaptabilité se traduit par la remise en question à chaque atelier de la suite du processus, du problème concerné et des moyens mis en oeuvre pour le résoudre.

C'est à ce niveau qu'entre en jeu l'évaluation, employé de manière constructive comme outil d'aide à la décision : l'objectif est de produire une évaluation pertinente des scénarios co-construits. L'idée ici n'est pas d'établir un classement des différents scénarios mais de mieux comprendre comment ces scénarios pourraient être mis en oeuvre, quels freins, moteurs, enjeux et risques y sont associés. Pour atteindre ce résultat, le principe consiste à conduire en parallèle des évaluations disciplinaires qui seront ensuite intégrées au cours de l'atelier participatif suivant, selon un processus itératif. Seront ainsi réalisées des évaluations logistiques, économiques, réglementaires, sociales et environnementales.

4 L'évaluation environnementale dans le projet GIROVAR

Dans le cadre d'évaluation environnementale « Force motrice - Pression - État - Impact – Réponse »⁴ (DPSIR en anglais : Pirrone et al., 2005; Smeets & Weterings, 1999), nous nous limiterons ici aux indicateurs de pression, d'état et d'impact : l'information sur les forces

³ Un projet multi-parténarial, mis en œuvre sur l'intercommunalité du Territoire de la Côte Ouest (TCO), porté par le Cirad Réunion et comprenant six autres partenaires techniques : La Chambre d'Agriculture de la Réunion ; l'Etablissement Public Local d'Enseignement et de Formation Professionnelle Agricole de Saint Paul ; la communauté de communes du TCO ; la régie autonome de la ville de Saint-Paul « La Créole », gestionnaire de station d'épuration ; la Fédération Régionale des Coopératives Agricoles de la Réunion ; et la Société Industrielle des Engrais de la Réunion.

⁴ Cadre conceptuel proposé par l'OCDE. Voir e.g. <http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/fr/lead/toolbox/Refer/EnvIndi.htm>

motrices résulte de l'INRM, i.e. elle résulte des scénarios co-construits. De la même manière, l'éventuelle réponse aux changements de pression, d'état ou d'impact, ainsi que son effet sur les forces motrices, résultera de l'atelier de co-construction suivant. L'ensemble de ces indicateurs pression/état/impact respecte les observations concernant la complémentarité et l'organisation séquentielle de plusieurs approches pour l'évaluation environnementale de systèmes complexes (voir introduction, section 1).

4.1 Changements de pression : un bilan global

Pour chaque scénario de gestion territoriale, ainsi que pour la situation de départ, une évaluation de type Analyse de Cycle de Vie (ACV) permettra de faire l'inventaire des coûts et bénéfiques environnementaux engendrés par les entrées et sorties environnementales du « cycle » territorial : l'ensemble des maillons de l'ensemble des circuits de valorisation envisagés. Cette tâche s'appuiera sur l'information sur les flux du « technosphère », actuels ou envisagés, telle que fournie par l'ensemble des actions précédentes. Les flux environnementaux seront estimés à l'aide (1) de bases de données ACV ; (2) de la littérature ; (3) de l'importante base de connaissance existante, notamment au Cirad, pour le milieu considéré ; (4) de modèles.

Ces bilans servent à comparer les scénarios entre eux ainsi qu'à la situation de départ. C'est donc le changement de pression, plus que son niveau absolu qui nous intéresse. Cette comparaison à travers l'ACV « mid-point »⁵ sert deux objectifs :

1. elle constitue une étape obligatoire dans l'évaluation du changement d'état et de son impact ;
2. elle permet de s'exprimer sur l'éco-efficience du scénario.

Le choix d'indicateurs sera influencé par leur intérêt politique et réglementaire d'une part et par le contexte naturel et géographique d'autre part. Par exemple à la Réunion, petite île soumise aux alizés au milieu d'une grande étendue océanique, la pression sur la qualité de l'air sera ainsi faible. Son substrat volcanique et la réglementation européenne stricte rendent en revanche la prise en compte de la pression que représentent les éléments trace métalliques de grande importance. Par ailleurs le contexte insulaire induit un intérêt politique marqué pour l'efficience énergétique.

4.2 Changements d'état et impact : effets locaux à travers et sur la sole

Les indicateurs des conditions environnementales devraient être conçus pour décrire l'état de l'environnement et son développement dans le temps, et non pas la pression subie. Dans la pratique, la distinction entre conditions et pressions environnementales peut néanmoins être ambiguë et la mesure des conditions environnementales peut se révéler difficile et fort coûteuse (OECD 1993). Sans utiliser les indicateurs de pression comme substitut des indicateurs d'état ou d'impact, ces premiers permettent de fortement cibler l'attention, que ce soit en termes géographiques ou sémantiques.

Il s'agit d'une stratification qui ne peut pas être totalement anticipée, mais l'intérêt premier va vers les indications sur le changement d'état du compartiment sol : pour chaque scénario et chaque couple sol-culture (ainsi qu'à l'échelle supérieure de l'ensemble du territoire), les effets, positifs et négatifs, des apports de « produits résiduels organiques » envisagés sur la qualité du sol et sur l'état de l'environnement (e.g. la qualité des végétaux, les émissions de nitrates dans les lixiviats) seront évalués à travers un ensemble d'indicateurs sélectionnés en

⁵ Voir e.g. http://www.scienceinthebox.com/en_UK/sustainability/lcia_en.html

fonction des caractéristiques du territoire et des PRO. Passer du changement de pression au changement d'état nécessite de s'intéresser à la dispersion des substances. Ceci fera appel à un ensemble de modèles de diverses natures (e.g. expert, bio-physiques, statistiques), complété par quelques éléments obtenus à l'issue de suivis agronomiques.

Les changements d'état estimés seront ensuite interprétés en termes d'impact sur la société, à la fois à travers leur influence sur les services écosystémiques et sur le risque sanitaire. Au-delà du projet de recherche en question, l'évaluation de cet impact ultime constitue un important axe de recherche (future) de l'unité, comprenant entre autres l'étude de la vulnérabilité des milieux et les relations dose-réponse.

4.3 Une articulation à trouver entre dimensions de l'évaluation : ACV et ACB

La valorisation agronomique est la justification première de la gestion intégrée des résidus. Certains types de matières sont néanmoins d'ores et déjà valorisés dans ce sens par un circuit informel de recyclage agricole. Il se peut donc que pour ces matières et les acteurs concernés, la mise en place de filières de valorisation intégrée et plus formelle représente un intérêt agronomique limité. Reste qu'il peut y avoir pour ces acteurs un bénéfice environnemental (et logistique), mais sur le plan économique (et sociale) il se peut que le changement ait un coût.

Disposer en entrée du projet d'indications sur la volonté de ces acteurs d'intégrer un circuit de valorisation plus formelle « à bénéfice agro-environnemental » représente un gain d'efficacité pour sa mise en œuvre. Le remplacement du circuit valorisant l'important gisement des litières de volailles sur le territoire du projet Girovar est un exemple d'une telle situation. Une analyse coût - bénéfice environnementale (ACB : Pearce, Atkinson, & Mourato, 2006) a ainsi été conduite. C'est également l'occasion d'opposer l'appréciation, de la part des acteurs, du bilan environnemental actuel à son pendant physique, i.e. l'évaluation « objective » de son éco-efficience (ACV).

Cette première analyse portant sur ce circuit de recyclage agricole existant « litière de volaille » a permis de mettre en évidence l'important attachement des acteurs à ce mode de valorisation. 18 éleveurs, sur quelques 25 producteurs de taille significative, et 21 agriculteurs consommateurs de cette matière ont été enquêtés, sur une base de la méthode de l'évaluation contingente. Les fortes contraintes réglementaires (plan et cahiers d'épandage) et logistiques (évacuation rapide aux moments de vide sanitaire, impossibilité de stockage) font que les éleveurs sont des offreurs peu exigeants sur le plan économique, même si cette matière est très appréciée par les agriculteurs y ayant accès (ne concevant souvent pas leur agriculture sans l'apport de matière organique). Le coût de l'échange s'évalue dès lors principalement sur le transport, ce qui induit un intérêt économique très net pour les agriculteurs situés à proximité des éleveurs. Le bénéfice sociale de l'entraide dans le monde agricole est reconnu par tous.

L'appréciation des bénéfices environnementaux paraît nettement supérieure à celle des coûts. Des deux côtés, une grande partie des enquêtés reconnaît un effet positif sur la qualité du sol, au-delà donc du bénéfice de remplacement d'engrais chimique. Du côté des coûts, seuls ceux directement perceptibles tels la nuisance olfactive ou la prolifération de mauvaise herbe est fréquemment cité : les pertes gazeuses et les risques de pollution leur sont inconnus, tandis que les pratiques agricoles prévalentes font que ces coûts sont importants.

Bien que l'évaluation objective démontre donc un important potentiel de progrès en termes environnementaux pour un circuit plus raisonné et formelle, ce n'est pas sur cette base là que ces acteurs consentiront de s'engager dans un tel changement. Avec quelques réticences sociales et sous de faibles réserves économiques, une forte majorité des éleveurs paraît prêt à envisager le changement pour une raison tout autre : enlever le frein au développement de la

production que constitue la surface disponible éligible pour les plans d'épandage. La réaction de la frange d'agriculteurs « favorisés » ayant accès à ce fumier est bien entendu plus mitigée : une majorité est prête à s'y engager, avec un consentement à payer variable allant jusqu'au prix de l'équivalent engrais chimique, mais sous la condition que le scénario envisagé soit adapté à leurs exigences, i.e. des avantages logistiques comparables à ceux procurés par l'engrais chimique (concentré, stockable, maniable, complet), pour un bénéfice agronomique supérieur (i.e. égal à celui du fumier actuel).

5 Conclusion

Nous proposons ici un cadre conceptuel pour la recherche qui vise la définition et la création de systèmes innovants de recyclage agricole débouchant sur l'intensification agroécologique des systèmes de production agricoles. Dans ce cadre, l'unité de recherche « Recyclage et risque » du Cirad se propose d'effectuer l'ensemble des recherches nécessaires au développement de la « promesse plausible » à fournir en entrée de l'INRM, de participer à l'INRM même, et de couvrir la dimension environnementale dans l'évaluation de ses résultats. L'ensemble de la démarche proposée est sur le point d'être mis en œuvre dans un premier projet à l'île de la Réunion.

L'évaluation environnementale de scénarios de systèmes complexes que représentent ces résultats fait nécessairement appel à une séquence de plusieurs méthodes, allant de générique et globale vers spécifique et locale, i.e. d'indicateurs de pression vers indicateurs d'impact, voir de risque, en passant par des indicateurs d'état. Une première analyse coût-bénéfice montre que les différentes dimensions de l'évaluation ne vont pas pouvoir être considérées de manière totalement disjointe.

Bibliographie

Alrøe, H.F. & Kristensen, E.S. (2002) Towards a systemic research methodology in agriculture: Rethinking the role of values in science. *Agriculture and Human Values*, **19**, 3-23.

Altieri, M.A. (1995) *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. Westview Press, Boulder, CO.

Altieri, M. (2002) Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **93**, 1-24.

Deane, C., Ejeta, G., Rabbinge, R. & Sayer, J. (2010) Science for development: mobilizing global partnerships. *Crop Science*, **50**, v-viii.

Douthwaite, B., de Haan, N.C., Manyong, V. & Keatinge, D. (2002) Blending "hard" and "soft" science: the "follow-the-technology" approach to catalyzing and evaluating technology change. *Conservation Ecology*, **5**, 13.

Etienne, M. (2010) *La modélisation d'accompagnement. Une démarche participative en appui au développement durable* (M Etienne). éditions Quae, Versailles, France.

Greenland, D. (1980) Organic recycling in agriculture: some research needs. *Organic recycling in Africa. FAO Soils Bulletin 43*. pp. 230-234. FAO, Rome.

IAASTD. (2009) *A synthesis of the global and sub-global IAASTD reports*. Island Press, Washington, DC.

IAASTD. *Towards multifunctional agriculture for social, environmental and economic sustainability. Policy brief.* Island Press, Washington, DC.

M'Pherson, P.K. (1974) A perspective on systems science and systems philosophy. *Futures*, **6**, 219-239.

OECD. (1993) *OECD core set of indicators for environmental performance reviews.* OECD, Environment Monographs no. 83, Paris.

Pearce, D., Atkinson, G. & Mourato, S. (2006) *Cost-Benefit Analysis and the Environment, recent developments.* OECD Publishing, Paris, France.

Pirrone, N., Trombino, G., Cinnirella, S., Algieri, a., Bendoricchio, G. & Palmeri, L. (2005) The Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) approach for integrated catchment-coastal zone management: preliminary application to the Po catchment-Adriatic Sea coastal zone system. *Regional Environmental Change*, **5**, 111-137.

Sayer, J.A. & Campbell, B. (2002) Research to integrate productivity enhancement, environmental protection, and human development. *Conservation Ecology*, **5**, 32.

Smeets, E. & Weterings, R. (1999) Environmental indicators : Typology and overview. *European Environment*, 19.