

LES BILANS REGIONAUX, OUTILS DE GESTION DES DECHETS

H. Saint Macary^a, J.M. Médoc^b, J.M. Paillat^c, I. Bracco^d, T. Wassenaar^a

^a CIRAD, UPR Recyclage et risque, TA B 78/01, 34398 Montpellier, France

^b CIRAD, Regional Office - 35 Dien Bien Phu - 99 Hanoi - Vietnam

^c INRA UMR SAS ; CIRAD, Rennes.

^d Direction de l'Agriculture et de la Forêt (DAF), 97489 Saint Denis Cedex, La Réunion, France.

Contact: herve.saint_macary@cirad.fr, +33 4 67 61 71 02, +33 4 67 61 71 48.

Résumé

La mise en place de systèmes de gestion durable des déchets et de biomasses résiduelles demande de bien connaître les matières disponibles et leurs utilisations possibles. Les choix de valorisation qui sont alors faits doivent tenir compte de la localisation des sources de matières organiques et des puits susceptibles de les consommer. Ces puits peuvent être des cultures qui ont-elles mêmes des besoins en éléments nutritifs ou des capacités d'absorption variables.

Positionner à l'aide de systèmes d'information géographiques les sources et les puits permet d'établir des bilans, à différentes échelles, pour différents éléments constitutifs des déchets. Ces bilans permettent de mettre en évidence des déséquilibres (excédent ou carence) et, en modifiant l'échelle d'observation, d'affiner les diagnostics.

Deux exemples de tels bilans basés sur l'azote sont présentés ici. L'île de La Réunion où un atlas des matières organiques issues des activités d'élevage et d'assainissement urbain a été réalisé. Les résultats montrent qu'un équilibre des apports par épandage et des utilisations par les cultures est possible à l'échelle de l'île. Cet équilibre global cache cependant des disparités fortes sur plan local, certaines communes étant excédentaires et d'autres déficitaires.

Au Vietnam, dans le delta du Fleuve Rouge, une démarche similaire a été conduite pour évaluer les déséquilibres liés aux effluents des porcheries et à la possibilité de leur utilisation sur les cultures, conduisant à l'établissement de cartes de risque de pollution.

Ces bilans régionalisés permettent aux gestionnaires de disposer d'outils de diagnostic et de visualisation des effets de la modification d'une source, d'un puits ou d'une règle de calcul. La discussion portera sur la qualité de ces informations, qui est très dépendante des données incorporées, et sur la difficulté de passer de l'établissement de bilans, par nature statique, à des modèles plus dynamiques.

Abstract

Designing tools that aim at a sustainable management of waste and organic residues requires a good knowledge of the available sources and their use potential. Resulting choices should consider localisation of these sources and of the sinks capable of absorbing them. Absorptive capacities of such sinks like crops may vary in space and time as a function of their nutritional requirements.

Positioning sources and sinks at a given scale through the use of a geographic information system allows estimating the balance for various waste constituents. This allows highlighting important imbalances and, by changing scale, to refine the analysis for selected areas of attention.

Two cases of such balance calculations for nitrogen are presented here. For Reunion islands, where an atlas of livestock and urban organic waste has been published, results show that at the level of the island an equilibrium between the spread of manure and sludge and the uptake of the nitrogen they contain by crops is theoretically possible. Important local disparities were highlighted though, with some municipalities demonstrating clear situations of either nitrogen excess or deficit.

In the Red River Delta of Vietnam a similar approach was used to assess the imbalance between nitrogen contained in pig and other manure and their potential uptake by crops, resulting in pollution risk maps.

Such regional balances constitute a useful decision support tool, allowing to assess the effect of modifying sources, sinks or model rules.. The discussion focuses on the limitations induced by the underlying hypotheses and on the perspectives for improvement.

1. Introduction

L'augmentation de la population humaine et le développement de l'élevage combinés à leur concentration, sont à l'origine de déséquilibres spatiaux croissants en matière organique disponible. En excès dans certaines zones, avec la pollution qu'elle engendre, la matière organique est aussi une ressource limitée dans beaucoup de régions [1]. Elle est par ailleurs appelée à fournir de multiples services, avec un besoin croissant (*e.g.* alimentation humaine et animale, bois, énergie, fibre, services écosystémiques et de productivité durable) ce qui nécessite une véritable intendance à l'échelle de la planète [2].

Dans ce contexte global, le recyclage des produits résiduels organiques par leur retour au sol apparaît comme une option intéressante. Les propriétés bénéfiques d'un tel retour sont nombreuses : apport d'éléments nutritifs pour les cultures, contribution à l'amélioration des propriétés biologiques et physiques des sols, etc. Le renchérissement des engrais vient encore mettre sur le devant de la scène l'intérêt du recyclage, et la question de l'autosuffisance de territoires agricoles en éléments nutritifs se pose de plus en plus souvent. L'utilisation des matières organiques doit cependant répondre à des règles ; l'apport de quantités inadéquates ou de substances polluantes associées aux matières organiques feraient courir un risque de dégradation des ressources naturelles que sont les sols, l'air ou les eaux et dans certains cas un risque de santé publique. Raisonner des apports ou des échanges à l'échelle d'un territoire demande donc de bien connaître l'état des ressources et leur localisation.

Dans cette communication, nous traitons de deux cas d'étude, L'île de la Réunion et la province de Thai Binh au Vietnam, pour présenter différentes voies méthodologiques possibles pour établir des bilans de nutriments et les raisonner à différentes échelles spatio-temporelles. Nous avons choisi d'évaluer les déséquilibres possibles entre les «producteurs» et les «consommateurs» avec l'élément azote qui est un composant essentiel de la fertilisation des cultures et qui, en raison de sa forte réactivité dans le milieu, présente des risques de pollution des eaux (NO_3^-) et de l'air (NH_3 , N_2O).

2. Méthodologie de réalisation des bilans

La confrontation entre la demande et l'offre d'éléments nutritifs se fait par l'établissement d'un bilan entrées-sorties de nutriments à différentes échelles spatio-temporelles. Les entrées concernent les engrais minéraux, les aliments pour bétail, les effluents d'élevage et les matières organiques, les dépôts atmosphériques, la fixation biologique de l'azote, la minéralisation et la sédimentation. Les sorties sont les produits végétaux et animaux exportés, les résidus de récolte, les aliments et les effluents exportés, le lessivage des nutriments, la volatilisation et la dénitrification des nutriments, les pertes liées à l'érosion et les pertes de déjections humaines. L'utilisation de telles méthodes pour réaliser des diagnostics ou des prospectives n'est pas récente [3, 4, 5]. Elles ont permis en particulier de prévoir des enrichissements des sols en P, K, Cu et Zn dans des contextes d'exploitations d'élevage intensif [6].

La fertilisation équilibrée vise à égaliser les besoins des cultures en nutriments et les fournitures en nutriments des apports organiques, des engrais minéraux et du sol. Ceci demande un nombre élevé de connaissances et d'informations sur le fonctionnement des systèmes biophysiques considérés. Il est cependant possible pour calculer ce bilan d'adopter une approche simplifiée des besoins des plantes en nutriments vs les fournitures en nutriments (issues des déjections animales, des engrais minéraux et du sol).

Pour un constituant donné et une unité spatiale donnée les études présentées ici cherchent donc d'abord à quantifier les sources (matières organiques, quantité et lieu de production) et les puits (surfaces et productivité des cultures), puis à estimer le contenu de ces sources et la capacité d'assimilation des puits. Les zones d'étude sont considérées comme fermées à toute importation et exportation de matière organique.

Deux paramètres sont définis pour établir les bilans :

- le coefficient d'utilisation du constituant. La seule composition d'un produit organique en un constituant ne suffit pas à évaluer la part du constituant assimilable par une ou des cultures. Ce coefficient peut varier selon la nature du produit organique, le mode et la période d'application, le type de sol, la culture considérée...
- le taux de substitution envisagé. L'apport d'un produit organique permet rarement la satisfaction de la totalité des besoins des cultures pour de multiples raisons : toutes les parcelles d'un territoire ne sont pas toujours épandables, l'apport de très grandes quantités de matières organiques brutes n'est pas toujours possible, un autre constituant que celui considéré peut limiter l'apport. .

La définition de ces deux paramètres est donc une étape importante, qui peut faire l'objet de discussions ou révéler des manques de connaissances. Une fois cette détermination effectuée, la différence entre le contenu assimilable des sources et les besoins des cultures permet de mettre en évidence un excédent ou un déficit.

3. Le cas de La Réunion

Le contexte biophysique de l’Ile de la Réunion est particulièrement favorable à la production de matières organiques. Le développement de l’élevage, spectaculaire lors des dernières années, s’accompagne de la production d’effluents. La rapide croissance de la population (taux annuel de 1,5, 800 000 habitants sur une île de seulement 2400 km², dont la plupart en montagne) et des déchets organiques qu’elle contribue à créer vient compléter un inventaire qui met les décideurs face à la question de l’utilisation de ces résidus organiques : La surface agricole utilisée ne représentait que 17% du territoire en 2000 contre 21% en 1989 et 54,3% en France métropolitaine [7].

Une meilleure gestion s’impose, d’une part à cause de l’évolution de la réglementation qui permet une utilisation des produits d’origine urbaine plus importante, d’autre part à cause de la fragilité du milieu physique, et des enjeux sur la qualité de l’eau (d’un niveau déjà inquiétant par endroit) qui en résultent. Cela nécessite des méthodes pour évaluer les scénarios de répartition.

3.1 Les données d’inventaire

Le tableau 1 récapitule l’origine et quelques unes des caractéristiques des données utilisées. Les bilans ont été calculés au niveau de la commune ainsi qu’au niveau de la sous-commune. Les quantités de matières organiques produites par l’élevage ont été évaluées à l’aide de statistiques agricoles. Particularité de ce bilan réunionnais, les matières organiques produites par l’assainissement collectif, représentant en quelque sorte les effluents humains, ont également été inclus. Ces quantités sont évaluées lors d’autocontrôles des stations d’épuration (charge entrante en DBO₅).

La localisation de la canne à sucre et des prairies est obtenue grâce au Recensement Parcellaire Graphique, issues des déclarations des exploitants pour l’obtention des aides de la Politique Agricole Commune (PAC), associée (canne) ou non (prairies, maraîchage) à des rendements. Les données concernant le maraîchage de l’Ile sont tirées des résultats du RGA (2000), car seulement 10 % des surfaces de maraîchage sont déclarées dans le cadre de la PAC.

<i>Donnée de base</i>	<i>Origine</i>	<i>Echelle spatiale</i>	<i>Date</i>
<i>Effectifs des animaux d’élevage</i>	<i>Recensement Général Agricole (RGA)</i>	<i>Sous commune</i>	<i>2000</i>
		<i>Commune</i>	<i>2003</i>
<i>Production d’azote par animal</i>	<i>Coefficients du CORPEN adaptés au contexte local pour certains animaux (FRCA)</i>	<i>Sans</i>	<i>2004</i>
<i>Quantité d’azote des boues de stations d’épuration (STEP)</i>	<i>Autocontrôles des STEP</i>	<i>Ponctuel (STEP)</i>	<i>2005</i>
<i>Caractéristiques des effluents (élevages et boues)</i>	<i>Fiches techniques issues du Guide de la fertilisation organique à La Réunion, MVAD_CIRAD</i>	<i>Sans</i>	<i>2007</i>
<i>Canne à sucre</i>			
<i>Localisation des cultures</i>	<i>Recensement Parcellaire Graphique (RPG)</i>	<i>Ilot de culture</i>	<i>2006</i>
<i>Besoins azotés des cultures</i>	<i>En fonction du rendement de l’exploitation (CTICS, CIRAD)</i>	<i>Exploitation agricole</i>	<i>2006</i>
<i>Prairies</i>			
<i>Localisation des cultures</i>	<i>Recensement Parcellaire Graphique (RPG)</i>	<i>Ilot de culture</i>	<i>2006</i>
<i>Besoins azotés des cultures</i>	<i>En fonction du rendement moyen (CIRAD)</i>	<i>sans</i>	<i>2006</i>
<i>Maraîchage</i>			
<i>Localisation des cultures</i>	<i>Recensement Général Agricole (RGA)</i>	<i>Sous commune</i>	<i>2000</i>
	<i>En fonction de la nature de la culture, avec la prise en compte des cycles cultureux Mémento de l’agronome</i>	<i>sans</i>	<i>2000</i>
<i>Besoins azotés des cultures</i>			<i>2000</i>
	<i>Fiches techniques du SUAD</i>		<i>2002</i>

Tableau 1. Origines, échelles et fréquences de mises à jour des données.

3.2 La quantification des sources et des puits

Pour les élevages, la quantité d’azote produite est estimée directement, sans passer par l’estimation de la quantité de matière organique produite, grâce aux coefficients moyens issus du CORPEN sur la base des effectifs [8]. Les répartitions lisier/fumier de bovin et fientes sèches/lisier de poules ont été déterminées à dire d’experts (EDE, UAAP, FRCA) en fonction de l’importance des différents modes d’élevage actuels sur l’Ile. Ainsi, par exemple, la répartition des élevages de poules poules a été estimée à 90% des effectifs produisant des fientes sèches et 10%

des lisiers de poules. Les quantités de matière organique sont extrapolées à partir des quantités d'élément (N en l'occurrence).

Les boues de station d'épuration sont quantifiées à partir du calcul du tonnage théorique de matière sèche produite (à partir de la charge entrante à la station, mesurée lors des autocontrôles). Il s'agit donc bien du résultat d'un calcul, et non d'une mesure directe.

En ce qui concerne les puits, la précision sur les surfaces et les rendements de la canne ont permis de moduler les doses d'apport possibles. Pour les pâturages et les cultures maraichères, où les besoins azotés sont estimés en fonction du rendement et de cycles culturaux moyens, les valeurs uniques employées ne permettaient pas une telle modulation.

3.3 Les hypothèses faites

Les coefficients d'utilisation de l'azote sont issus d'expérimentations locales ou de la littérature [9]. La production d'azote dans les produits organiques peut être quantifiée en termes d'azote maîtrisable, i.e. la part d'azote pouvant être récupérée et épanchée, ou en termes d'azote équivalent-engrais, i.e. la fraction de l'azote maîtrisable absorbable par les plantes la première année après l'apport, participant ainsi à la nutrition des cultures. Dans cette présentation le bilan a été raisonné sur la base de l'azote équivalent engrais. Dans ce type de raisonnement, on cherche à satisfaire au maximum les besoins en azote des cultures par l'apport de matières organiques. Une situation équilibrée est donc une situation dans laquelle la fraction d'azote équivalent engrais correspond aux possibilités de valorisation par les cultures. Cependant, on apporte également une part d'azote qui sort du système par volatilisation, et une part d'azote qui se trouve réorganisée dans le sol sous forme organique. Bien que plus pertinente d'un point de vue agronomique, et moins soumise à l'incertitude des divers coefficients estimés, il faut garder en mémoire qu'avec cette méthode, on a tendance à sous estimer dans les bilans les quantités d'azote apportées. Une situation apparemment équilibrée par rapport à l'azote, analysée en équivalent engrais, induit donc à moyen terme des risques potentiels de lessivage lors de fortes pluies.

Le taux de substitution a été fixé à 50 % pour l'ensemble des cultures. En effet, même si environ les 2/3 des surfaces cultivées sont potentiellement épanchables et si les agriculteurs déclarent des souhaits de substitution élevés, pour des raisons climatiques, techniques, d'organisation, ce coefficient est souvent faible.

3.6 Présentation sommaire des résultats

La figure 1 présente le bilan à l'échelle de l'île [10]. Il est déficitaire, en ne considérant que l'azote équivalent engrais, et avec l'hypothèse d'un taux de substitution de « seulement » 50%. On note que la production d'azote par les boues de station d'épuration contribue relativement peu à ce bilan, les deux tiers provenant du lisier de bovins et de porcins (Figure 2). Seulement 5 communes sur 24 sont excédentaires, toutes les autres étant déficitaires. Les raisons des déséquilibres ne sont cependant pas identiques et la connaissance du terrain permet d'expliquer certaines des disparités. Ainsi la commune du Port (N°7 sur la figure 1) est excédentaire en raison de la présence d'une station d'épuration déclarée et de l'absence quasi-totale de cultures épanchables alors que la commune de Salazie (N° 21) également en excédent l'est en raison de la présence de nombreuses exploitations d'élevage hors sol porcins et avicoles.

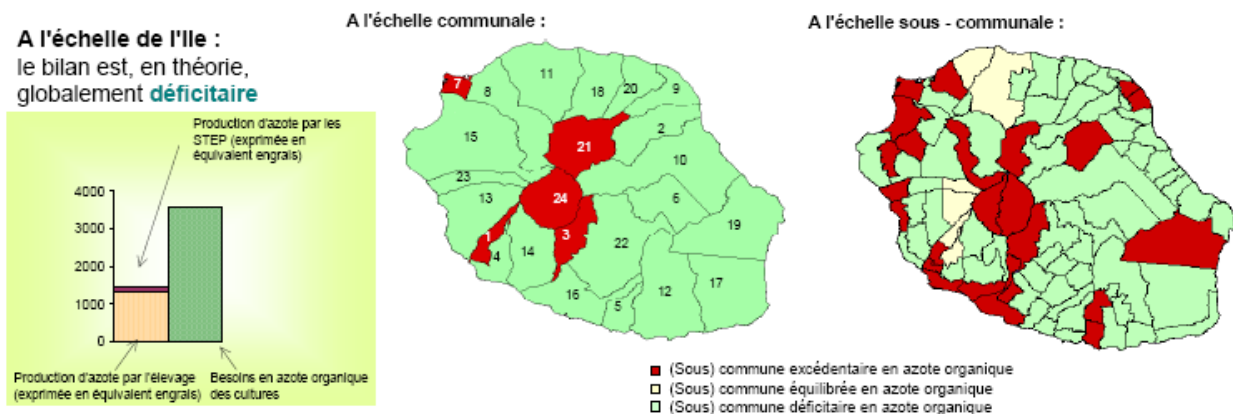


Figure 1. Bilans d'azote d'origine organique en ne considérant que l'azote équivalent engrais.

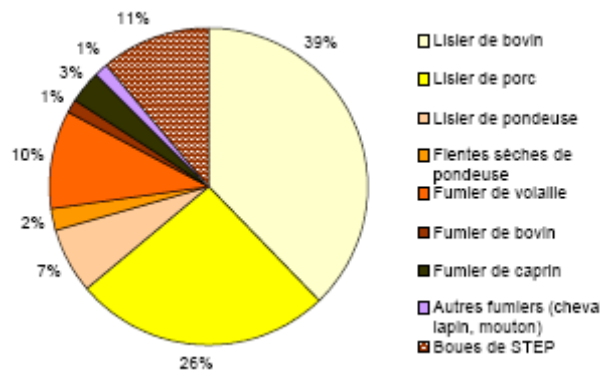


Figure 2. Répartition de la production d'azote par effluent (exprimée en équivalent engrais).

A l'intérieur même des communes il existe de fortes disparités, comme l'indique le bilan calculé au niveau sous-communal (figure 1). L'exemple de la commune de Saint Leu, à l'ouest de l'île (figure 3), montre que l'échelle sous-communale s'avère également intéressante, mettant en évidence pas seulement une nécessité (excès d'azote en zone côtière menaçant le milieu marin), mais aussi un potentiel (du fait de la faible distance entre unités contrastées) de nivellement des déséquilibres. Les interprétations à cette échelle doivent cependant demeurer prudentes, car on se situe aux limites de la précision des données utilisées.

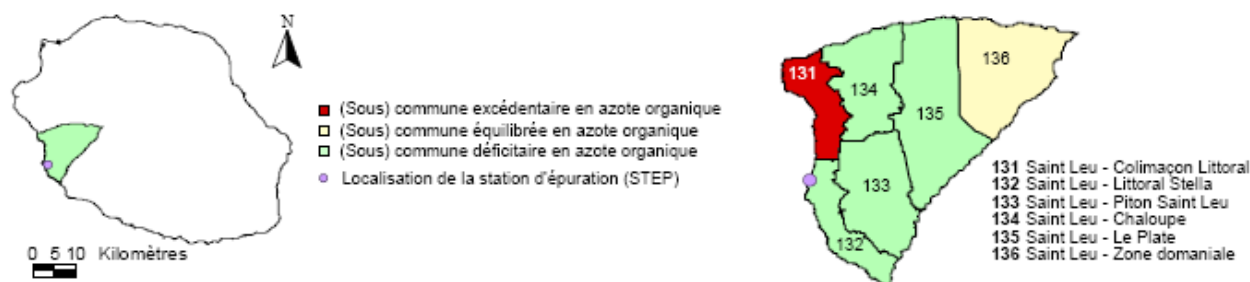


Figure 3. Bilans d'azote d'origine organique en ne considérant que l'azote équivalent engrais pour la Commune de Saint Leu (n°13 sur la figure1).

4. Le cas du delta du Fleuve Rouge, Vietnam

La production porcine au Vietnam est en plein essor depuis 1990 avec une croissance annuelle moyenne de 10%. Cette croissance va se poursuivre à un rythme toujours aussi élevé dans les 10 à 15 prochaines années [11]. La province de Thai Binh (TB) est située dans le nord du Vietnam dans le delta du fleuve Rouge, au sud-est de Hanoi. Ce delta est peuplé de 18 millions d'habitants, à des densités record de plus de 1200 habitants au kilomètre carré. La forte croissance industrielle, agricole et démographique pèse aujourd'hui lourd sur ses ressources naturelles. Une transition de l'élevage traditionnel vers des techniques industrielles plus intensives s'opère en réponse à la croissance rapide de la demande pour les produits animaux, en particulier de Hanoi. Cependant, des tonnes de lisier de porc sont rejetés dans l'environnement, et les traditionnels sites agricoles et piscicoles utilisés pour le recyclage par épandage de ces effluents seront bientôt saturés [5]. Le bilan a été évalué afin d'établir un état des lieux de la situation entre l'offre en effluents d'élevage et les besoins des cultures et des étangs piscicoles en 2004 et 2010 en tenant compte de l'évolution possible des cheptels, des surfaces agricoles et des étangs piscicoles.

4.1 Les données d'inventaire

En 2004, la surface agricole épandable de la province de Thai Binh est composée de 217886 ha de cultures et jardins et de 6182 ha d'étangs à poissons. Les prévisions pour 2010 portent cette surface à 203768 et 13900 ha respectivement. Thai Binh est découpée administrativement en huit districts, eux même découpés en 285 communes. Le bilan entre la production et l'utilisation potentielle des effluents d'élevage a été évalué au niveau communal, l'unité administrative de base pour les recensements agricoles et la planification. L'offre en déjections animales (porcs, poulets, canards et bovins) et humaines a été calculée pour 2004 à partir des résultats du recensement agricole fourni par les Offices Agricole et de Statistiques de la Province de Thai Binh. Pour 2010, cette offre a été estimée en utilisant les taux d'évolution des cheptels fournis par le Comité populaire du District de Vu Thu (2004).

Les surfaces cultivées et d'étangs à poissons par commune et saison en 2004 ainsi que leur évolution en 2010 ont été fournies par les autorités provinciales. Les recommandations de fertilisation organique des cultures annuelles, en fonction des rendements ont été obtenus à l'Office Agricole du District de Vu Thu (2005).

4.3 La quantification des sources et des puits

Afin d'estimer l'offre en azote des effluents par an et pour chaque type d'élevage et l'homme, quatre variables ont été utilisées: i) la production quotidienne de déjection par animal et par personne; ii) le nombre de jours d'un cycle de production ou l'année, iii) le nombre annuel de cycles de production pour chaque type d'élevage et iv) la teneur en éléments nutritifs dans les déjections [12]. Les quantités d'effluents produites et l'offre en azote sont présentées dans le tableau 2.

<i>Effluent (i.e. source) (t an⁻¹)</i>	<i>2004</i>		<i>2010</i>	
	<i>Quantité</i>	<i>N</i>	<i>Quantité</i>	<i>N</i>
<i>Fecès raclés de porc</i>	1591822	11143	2152668	15069
<i>Fientes de poulet</i>	146139	2382	481912	7855
<i>Fientes de canard</i>	31661	317	104407	1044
<i>Déjections de bovins</i>	527590	1583	683828	2052
<i>Déjections humaines</i>	357713	3935	371898	4091
<i>Urines et eaux de lavage des porcs</i>	11291845	4147	15270300	5608
<i>Total</i>		23506		35718

Tableau 2. Quantité d'effluents et d'azote produits par la Province de Thai Binh en 2004 et 2010

Les besoins en azote des cultures ont été adaptés à partir des conseils disponibles en fertilisation par du « compost » de fecès raclés de porc ou de déjections bovines et des pratiques constatées pour l'utilisation des déjections humaines sur les cultures annuelles. En ce qui concerne le riz, les besoins en azote ont été obtenus en fonction des rendements objectifs par saison [13]. Faute de recommandations existantes, les besoins des jardins ont été estimés à partir des pratiques observées. Les besoins des étangs à poisson en fonction des rendements sont eux aussi issus d'observations de terrain complétées par la bibliographie [13]. Par ailleurs, nous avons considéré un coefficient d'efficacité de l'azote de 0,35 et une fourniture d'azote par les sols de 55 et 58 kg ha⁻¹ respectivement au printemps et en été [13]. La demande en azote des cultures et des étangs piscicoles est présentée dans le tableau 3.

<i>Cultures (i.e. puits) (tN)</i>	<i>2004</i>				<i>2010</i>			
	<i>Printemps</i>	<i>Été</i>	<i>Hiver</i>	<i>Total 04</i>	<i>Printemps</i>	<i>Été</i>	<i>Hiver</i>	<i>Total 10</i>
<i>Riz</i>	353	363	0	716	474	484	0	958
<i>Cultures annuelles</i>	56	36	220	312	72	48	324	444
<i>Etangs</i>				1743				2174
<i>Jardins</i>				49				40
<i>Total</i>				2820				3616

Tableau 3. Demande en azote des cultures de la Province de Thai Binh en 2004 et 2010

4.5 Les hypothèses faites

L'approche ici diffère de celle mise en œuvre à La Réunion. Elle établit des bilans séparément pour chaque grand type de couple source/puits (effluents liquides et solides/étangs, effluents liquides porcins/jardins, effluents solides/cultures annuelles) en fonction des priorités d'utilisation des effluents sur les cultures. Si l'effluent le plus prioritaire n'est pas disponible le deuxième dans la liste est considéré et ainsi de suite. Pour les étangs et les jardins le bilan est calculé pour une année alors que pour les cultures il est calculé pour chacune des trois saisons. Les interviews réalisées montrent que les agriculteurs adaptent la quantité d'engrais minéral utilisée selon la dose de compost épanchée [12]. Arbitrairement, il a été considéré qu'un tiers des besoins azotés totaux proviennent des effluents d'élevages.

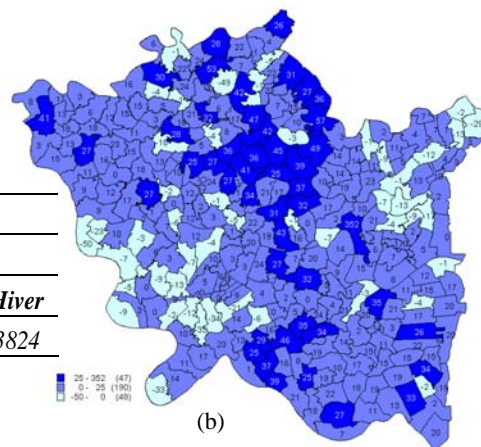
Similaire à l'étude Réunionnaise dans sa démarche pour estimer la fertilisation azotée, ce travail fait appel à l'équation d'efficience d'utilisation de l'azote [15, 16]. Cette méthode utilise la fourniture effective du sol en azote et un coefficient d'efficience de l'azote mesurés par voie expérimentale. La principale différence se situe dans le fait qu'ici la réserve d'azote présente dans le sol est prise en compte dans l'estimation de la fourniture en azote. Cette

réserve est considérée comme constante, supposée maintenue au même niveau par l'azote organique des effluents non directement assimilable par la culture l'année de l'apport.

4.6 Présentation sommaire des résultats

2004				2010		
Liquides	Solides			Liquides	Solides	
	Printemps	Été	Hiver		Printemps	Été
3234	-2974	-2665	2074	5167	478	3824

(a)



(b)

Figure 4. Bilans entre l'offre en effluents d'élevage et les besoins des cultures et des étangs à Thai Binh (a) en 2004 et en 2010 par type d'effluent et par saison ; (b) pour les cultures annuelles en hiver 2010 par commune (tN)

Les étangs piscicoles représentent un puits d'utilisation des effluents d'élevage non négligeable, mais minoritaire par rapport aux cultures. Il a l'avantage d'absorber à la fois les effluents liquides et solides. Les surfaces en jardins ne permettent pas d'absorber la totalité des effluents liquides porcins : quel que soit le scénario envisagé, les excédents, déjà importants en 2004, augmenteront d'ici 2010. Cette production, finalement non mobilisée, est très dangereuse en raison du fort risque de pollution chronique qu'elle engendre ou qu'elle peut engendrer. Au printemps et en été 2004, la plupart des communes sont déficitaires en effluents solides. En 2010 au niveau de la province, quelle que soit la saison, on observerait des excédents. Pendant l'hiver, il existe de fortes inadéquations entre le stock d'effluents présent à cette époque dans les communes, et la capacité des cultures à les résorber. La plupart des communes ont un bilan positif en 2004. La situation dans l'avenir sera sensiblement la même pour l'ensemble des communes mais avec une augmentation des excédents.

Au vu de ces résultats, le développement de la production porcine et des autres filières animales pourrait être remis en question rapidement en raison de la difficile valorisation des déjections liquides pour la plupart des communes de la province, et qui risque d'être de plus en plus difficile au fil des années. Le manque de surfaces potentielles pour le recyclage des déjections solides en hiver dans certaines communes risque aussi de devenir problématique très rapidement. La situation devrait atteindre un niveau de saturation sur l'ensemble des communes à l'horizon 2010-2011 si le développement des filières de production animale se poursuit au rythme retenu.

5. Discussion des limites des cas présentés

De tels bilans n'ont pas vocation à répondre à toutes les questions posées par le recyclage des matières organiques, et encore moins à le réglementer. Servant à évaluer l'importance du besoin de répartition ainsi qu'à focaliser l'attention, leurs limites sont liées aux points suivants :

- les valeurs attribuées aux coefficients d'assimilation de l'azote par les cultures (N équivalent-engrais, N maîtrisable des effluents ou N équivalent-engrais + N fourni par le sol) et au taux de substitution de la fertilisation minérale par les effluents affectent très lourdement le résultat final.
- la pertinence des données ayant servi à alimenter les calculs : toutes les données de base n'ont pas la même précision, ni la même périodicité de mise à jour. Au Vietnam par exemple, l'utilisation des données statistiques et des références agronomiques ont montré leurs limites, eu égard aux méthodes de comptage des cheptels et à l'ancienneté des données agronomiques qui ont nécessité l'acquisition de références complémentaires et l'application d'hypothèses insuffisamment étayées.
- la non prise en compte des échanges entre entités géographiques ; les matières organiques sont inventoriées là où elles sont produites, les cultures sont fixes, et il n'est pas envisagé qu'une matière organique présente dans une sous-entité soit utilisée dans une autre. Les pratiques réelles des agriculteurs et des éleveurs sont souvent bien différentes : les matières organiques circulent, les échanges, formels ou non, existent et il ne saurait être question de les ignorer dans la mise en œuvre de solutions opérationnelles. Des enquêtes

directes sur le terrain sont sans doute nécessaires pour appréhender ces flux entre entités spatiales ou de gestion lorsque l'on veut faire des bilans à une échelle spatiale supérieure. A ce titre, la sous-commune semble déjà de trop petite dimension pour la méthode utilisée ici.

Dans la perspective d'une utilisation de ces outils, des améliorations sont à considérer :

- **l'intégration de la dimension temporelle de l'apport par rapport aux besoins des cultures (et donc périodes de stockage et/ou perte de N).** Ainsi le bilan des cultures de la Province de Thai Binh a été calculé par saison et les contrastes entre saisons sont forts. Les résultats montrent que ces connaissances sont essentielles pour l'évaluation du potentiel de recyclage par catégorie, ainsi que pour évaluer les possibilités de nivellement entre les différents puits (ou couples source/puits dans le cas vietnamien) ;
- **une estimation plus fine de l'azote réellement disponible dans la durée.** Cette notion peut en effet varier selon le type de produit et de sol et en fonction de l'itinéraire technique choisi. Mais même en dehors de ces aspects une amélioration de l'approche générale semble possible. En l'état l'approche « équivalent engrais », du fait qu'elle ignore la partie de l'azote organique héritée de l'année culturale précédente, tend à sous-estimer les sources d'azote mis à disposition des cultures. L'approche « azote maîtrisable » surestime au contraire l'azote organique initialement disponible. Le besoin de complément en azote minéral que cela induit est égal à la partie de l'azote organique non-minéralisée dans l'année de l'apport. Une estimation du taux de minéralisation de ces fractions organiques cumulées dans le sol au fil des ans permettrait d'estimer un apport annuel constant maintenant l'équilibre du sol et éliminant le besoin d'un complément en fertilisant minéral ;
- **la connexion à des analyses environnementales multicritères,** en utilisant pour partie la méthodologie des analyses du cycle de vie. Les conséquences de bilans excédentaires en termes de transferts de pollution entre compartiments de l'environnement (eau vs air) ou entre régions pourraient ainsi être pris en compte.

Le cas de l'azote a été présenté dans cette communication mais il peut être envisagé voire nécessaire de réaliser les mêmes cartes pour d'autres éléments majeurs. Les mêmes questions sur les hypothèses à faire se poseront alors.

6. Conclusions

Malgré le potentiel d'amélioration observé, les bilans présentés remplissent leur rôle d'outil de gestion, i.e. ils permettent d'évaluer l'importance du besoin de répartition ainsi que de focaliser l'attention sur des situations à risque élevé.

La réalisation de bilans spatiaux tels que présentés ici pourrait bien devenir une pratique courante dans un cadre enveloppant tout secteur et filière concerné. Le courant de pensée dite « capitalisme naturel » par exemple [17], qui suscite un intérêt grandissant aux Etats-Unis notamment dans le secteur industriel, propose non seulement de drastiquement augmenter la productivité des ressources naturelles, mais d'éliminer la notion même de « déchet ». En ce qui concerne la matière organique, une autorité (publique) adoptant une telle logique de pensée aurait besoin de bilans (pour divers éléments) couvrant l'ensemble de son territoire (à diverses échelles). Il importe dans cette perspective de poursuivre les efforts de recherche afin d'éliminer les lacunes méthodologiques observées. Pour les échelles locales il sera important de passer de l'établissement de bilans, par nature statique, à des modèles plus dynamiques intégrant les flux entre entités spatiales et vers l'environnement afin de réaliser l'évaluation environnementale de cette gestion spatialisée.

Bibliographie

- [1] Krausmann, F., Erb, K.-H., Gingrich, S., Lauk, C., Haberl, H. Global patterns of socioeconomic biomass flows in the year 2000: A comprehensive assessment of supply, consumption and constraints. *Ecological Economics* 65(3), 471-487 (2008).
- [2] Steffen, W., Crutzen, P.J., McNeill, J.R. The anthropocene: Are humans now overwhelming the great forces of nature? *Ambio* 36(8), 614-621 (2007).
- [3] Coppenet M., L'épandage du lisier de porcherie: ses conséquences agronomiques. *Ann. Agron.* **25**, (1974).
- [4] Smaling E. M. A., Fresco L. O., A decision-support model for monitoring nutrient balances under agricultural land use (NUTMON). *Geoderma*, **60**, 1-4, (1993).
- [5] Gerber P., Chilonda P., Franceschini G., Menzi H., Geographical determinants and environmental implications of livestock production intensification in Asia. *Biores. Technol.* **96**, 2, (2005).
- [6] Simon J.-C., Grignani C., Jacquet A., Le Corre L., Pagès J., Typologie des bilans d'azote de divers types d'exploitation agricole: recherche d'indicateurs de fonctionnement. *Agronomie* **20**, (2000).
- [7] INSEE, *Tableau Economique de La Réunion*, Edition 2008/2009. Saint Denis 2008.

- [8] CORPEN, Références techniques par type d'élevage, Ministère Français de l'Agriculture et de la Pêche et Ministère Français de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire, http://www.ecologie.gouv.fr/article.php?id_article=6680
- [9] Chabalier, P.F., Van de Kerchove, V., Saint Macary, H., *Guide de la fertilisation organique à La Réunion*. CIRAD, Chambre d'Agriculture Réunion, Saint Denis, 2006
- [10] Direction de l'Agriculture et de la Forêt (DAF), Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), *Atlas des matières organiques issues des activités d'élevage et d'assainissement urbain à la Réunion*, DAF Réunion, CIRAD, Saint Denis, La Réunion, (2007).
- [11] Caldier P. Vietnam's 'pig business'. *Pig progress*. **22**, 1, (2006).
- [12] Porphyre V. & Nguyen Que Coi (Eds). Pig production development animal-waste management and environment protection. A case study in Thai Binh Province, Northern Vietnam. PRISE publications. 2006.
- [13] Tran Thuc Son, Pham Quang Ha, Do Anh, United Nations fertilizer directory for Asia and Pacific, Vietnam National Institute for Soils and Fertilisers, <http://www.fadinap.org/vietnam/research.html>, <http://www.fadinap.org/vietnam/research.html>, (n.d.)
- [14] Mikolasek O., Trinh Dinh Khuyen, Médoc J.-M., Porphyre V., L'intensification écologique d'un modèle de pisciculture intégrée : un challenge pour recycler les effluents d'élevage porcins de la province de Thai Binh au Nord Viêt-nam. *Cah. Agric.*, **18**, 2-3, (2009), sous presse.
- [15] Comifer, Calcul de la fertilisation azotée des cultures annuelles. Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales. 1996
- [16] Desvignes P., Bodet J.-M. La fertilisation du maïs fourrage dans les exploitations d'élevage. *Fourrages*, **163**, (2000).
- [17] Hawken, P., Lovins, A.B., Hunter Lovins, L. Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution. Little, Brown (1999).