

www.agronomie.asso.fr

juin 2012

volume n°2 / numéro n°1

# Agronomie

## environnement & sociétés



La revue de l'association française d'agronomie

# Agriculture et écologie

tensions, synergies  
et enjeux pour l'agronomie

Association Française  
**AGRONOMIE**



# Agronomie, Environnement & Sociétés

Revue éditée par l'Association française d'agronomie (Afa)

Siège : 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05.

Secrétariat : 2 place Viala, 34060 Montpellier Cedex 2.

Contact : douhairs@supagro.inra.fr, T : (00-33)4 99 61 26 42, F : (00-33)4 99 61 29 45

Site Internet : <http://www.agronomie.asso.fr>

## Objectif

AE&S est une revue en ligne à comité de lecture et en accès libre destinée à alimenter les débats sur des thèmes clefs pour l'agriculture et l'agronomie, qui publie différents types d'articles (scientifiques sur des états des connaissances, des lieux, des études de cas, etc.) mais aussi des contributions plus en prise avec un contexte immédiat (débats, entretiens, témoignages, points de vue, controverses) ainsi que des actualités sur la discipline agronomique.

ISSN 1775-4240

Contenu sous licence *Creative commons*



Les articles sont publiés sous la *licence Creative Commons 2.0*. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.

## Directeur de la publication

Thierry DORÉ, président de l'Afa, professeur d'agronomie AgroParisTech

## Rédacteur en chef

Olivier RÉCHAUCHÈRE, chargé d'études Direction de l'Expertise, Prospective & Etudes, Inra

## Membres du bureau éditorial

Guy TRÉBUIL, chercheur Cirad

Philippe PRÉVOST, Directeur de l'enseignement Montpellier SupAgro

Danielle LANQUETUIT, consultante Triog et webmaster Afa

## Comité de rédaction

- Marc BENOÎT, Directeur de recherches Inra
- Bernard BLUM, Directeur d'Agrometrix
- Jean BOIFFIN, Directeur de recherches Inra
- Matthieu CALAME, Directeur de la Fondation pour le Progrès de l'Homme
- Jacques CANEILL, Directeur de recherches Inra
- Joël COTTART, Agriculteur
- Cécile COULON, Ingénieure Inra
- Thierry DORÉ, Professeur d'agronomie AgroParisTech
- Philippe ÉVEILLARD, Responsable du pôle agriculture, environnement et statistiques de l'Unifa
- Sarah FEUILLETTE, Chef du Service Prévision Evaluation et Prospective Agence de l'Eau Seine-Normandie
- Yves FRANCOIS, agriculteur
- Jean-Jacques GAILLETON, Inspecteur d'agronomie de l'enseignement technique agricole
- François KOCKMANN, Chef de service agriculture-environnement Chambre d'agriculture 71
- Nathalie LANDÉ, Ingénieure Cetiom
- François LAURENT, Chef du service Conduites et Systèmes de Culture à Arvalis-Institut du végétal
- Francis MACARY, Ingénieur de recherches Irstea
- Jean-Robert MORONVAL, Enseignant d'agronomie au lycée agricole de Chartres
- Christine LECLERCQ, Professeur d'agronomie Institut Lassalle-Beauvais
- Philippe POINTEREAU, Directeur du pôle agro-environnement à Solagro
- Philippe PRÉVOST, Directeur de l'enseignement et de la vie étudiante à Montpellier SupAgro
- Guy TRÉBUIL, Chercheur Cirad.

### Secrétaire de rédaction

Philippe PREVOST

### Assistantes éditoriales

Sophie DOUHAIRIE et Danielle LANQUETUIT

### Conditions d'abonnement

Les numéros d'AE&S sont principalement diffusés en ligne. La diffusion papier n'est réalisée qu'en direction des adhérents de l'Afa ayant acquitté un supplément

(voir conditions à <http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/>)

### Périodicité

Semestrielle, numéros paraissant en juin et décembre

### Archivage

Tous les numéros sont accessibles à l'adresse <http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/>

### Soutien à la revue

- En adhérant à l'Afa via le site Internet de l'association (<http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/>). Les adhérents peuvent être invités pour la relecture d'articles.
- En informant votre entourage au sujet de la revue AE&S, en disséminant son URL auprès de vos collègues et étudiants.
- En contactant la bibliothèque de votre institution pour vous assurer que la revue AE&S y est connue.
- Si vous avez produit un texte intéressant traitant de l'agronomie, en le soumettant à la revue. En pensant aussi à la revue AE&S pour la publication d'un numéro spécial suite à une conférence agronomique dans laquelle vous êtes impliqué.

### Instructions aux auteurs

Si vous êtes intéressé(e) par la soumission d'un manuscrit à la revue AE&S, les recommandations aux auteurs sont disponibles à l'adresse suivante :

<http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/pour-les-auteurs/>

### À propos de l'Afa

L'Afa a été créée pour faire en sorte que se constitue en France une véritable communauté scientifique et technique autour de cette discipline, par-delà la diversité des métiers et appartenances professionnelles des agronomes ou personnes s'intéressant à l'agronomie. Pour l'Afa, le terme agronomie désigne une discipline scientifique et technologique dont le champ est bien délimité, comme l'illustre cette définition courante : « *Etude scientifique des relations entre les plantes cultivées, le milieu [envisagé sous ses aspects physiques, chimiques et biologiques] et les techniques agricoles* ». Ainsi considérée, l'agronomie est l'une des disciplines concourant à l'étude des questions en rapport avec l'agriculture (dont l'ensemble correspond à l'agronomie au sens large). Plus qu'une société savante, l'Afa, veut être avant tout un carrefour interprofessionnel, lieu d'échanges et de débats. Elle se donne deux finalités principales : (i) développer le recours aux concepts, méthodes et techniques de l'agronomie pour appréhender et résoudre les problèmes d'alimentation, d'environnement et de développement durable, aux différentes échelles où ils se posent, de la parcelle à la planète ; (ii) contribuer à ce que l'agronomie évolue en prenant en compte les nouveaux enjeux sociétaux, en intégrant les acquis scientifiques et technologiques, et en s'adaptant à l'évolution des métiers d'agronomes.

**Lisez et faites lire AE&S !**

# Sommaire

## P7// Avant-propos

T. DORÉ (Président de l'Afa) et O. RÉCHAUCHÈRE (Rédacteur en chef)

## P9// Édito

T. DORÉ (AgroParisTech) et F. KOCKMANN (Chambre d'agriculture de Saône-et-Loire, coordinateur du numéro)

## P13// Points de vue de la recherche et études de cas

P15- Comment l'écologie a amené à changer les pratiques des agronomes en recherche

F. LESOURRET (Inra Avignon)

P23- Pratiques négociées et écologisation de l'agriculture

C. COMPAGNONE (Agrosup Dijon)

P33- Les services écosystémiques : un cadre conceptuel pour l'agro-écologie

L. LAPCHIN (Inra Sophia Antipolis)

P45- Chlordécone aux Antilles : évolution des systèmes de culture et leur incidence sur la dispersion de la pollution

M. LESUEUR-JANNOYER, P. CATTAN, D. MONTI, C. SAISON, M. VOLTZ, T. WOIGNIER, Y.M. CADIBOCHE (Cirad, Ird, Inra, CNRS)

## P59- Éléments trace métalliques et épandage de produits organiques à La Réunion

B. COLLIN, E. DOELSCH, H. SAINT MACARY (Cirad)

## P69// Témoignages d'acteurs

P71- Compatibilité entre impératifs écologiques et productifs. Le cas des prairies permanentes du Haut Jura.

P73- Une requête posée à la Recherche : réconcilier deux univers

J.Y. VANSTEELANT (Parc naturel régional du Haut-Jura)

P75- Savoirs de la pratique et savoirs scientifiques : rencontre dans les prairies du Haut-Jura

S. PETIT (Inra Dijon)

P79- Evaluation environnementale selon une approche Cycle de Vie des exploitations d'herbivores françaises

V. MANNEVILLE (Institut de l'élevage)

P83- Comment concilier la préservation des Zones Humides, source de biodiversité, et les travaux hydrauliques ruraux

P85- Enjeux environnementaux des zones humides et évolution de la réglementation

N. GUERIN (DDT de Saône et Loire)

P87- La mise en application de la réglementation en Saône-et-Loire

B. DURY (Chambre d'agriculture de Saône-et-Loire)

P91- Le regard d'un professionnel de la Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire

L. BOREY (Agriculteur)

P93- La ré-insertion de nouvelles formes d'agriculture en ville : traduction en actes et projets

J. HUBER (AgroParisTech) et F. LONCHAMPT (Ville de Strasbourg)

## P103// Débats

P105 - Les agronomes et l'environnement : précurseurs ou suiveurs ?

P107 Agronomie et écologie

L. THIEBAUT (Agrosup Dijon)

P109- Les évolutions de la pensée agronomique face à l'environnement

T. DORÉ (AgroParisTech)

P113- Savoirs agronomiques et réglementations à finalités écologiques

P115- Des concepts et une éthique partagés avec les acteurs locaux pour une efficacité agricole et environnementale

L. BOREY (Agriculteur)

P117- Protéger les ressources : entre initiatives des acteurs et cadre réglementaire, un équilibre délicat

C. CHASSANDE (Ministère en charge de l'agriculture, sous-direction de la biomasse et de l'environnement)

P119- D'Ecophyto R&D à Ecophyto 2018 : points de vue sur la mise en place de stratégies pour la réduction de l'emploi des pesticides en France

P121- Plan Ecophyto 2018 en grandes cultures : un vrai défi pour la recherche

N. VERJUX (Arvalis Institut du végétal)

P125- Ecophyto R&D : son futur manquerait-il d'avenir ?

L. GUICHARD (Inra Paris-Grignon)

## P129// Notes de lecture

P131- Pour une agriculture écologiquement intensive de Michel Griffon (G. Trébuil)

P135- La Vie, quelle entreprise ! Pour une révolution écologique de l'économie de Robert Barbault et Jacques Weber (G. Trébuil)





## Éléments trace métalliques et épandage de produits organiques à la Réunion

B. Collin, E. Doelsch, H. Saint Macary

CIRAD, UPR Recyclage et risque,  
F-34398 Montpellier, France  
E-mail auteur correspondant :  
doelsch@cirad.fr

### Résumé

Des recherches sur la provenance et le comportement des éléments trace métalliques (ETM) des sols et des déchets recyclables en agriculture ont été menées à la Réunion. Elles ont permis de fournir les bases de dérogations aux réglementations mises au point dans le contexte hexagonal. Cette évolution modifie les possibilités de recyclage des produits résiduels organiques présents dans l'île et entraîne de nombreuses concertations entre le monde agricole et la société civile.

### Mots-clés

Éléments trace métalliques, produits résiduels organiques, norme, La Réunion, risque environnemental.

### Abstract

Research on the origin and the behaviour of trace metals in soils and agricultural wastes were conducted in Reunion Island (French overseas territory). They provided the basis for derogations under the French rules which apply in this territory. This creates an evolution in which recycling of organic wastes is made possible in considerably different conditions. This new situation generates numerous exchanges between the various actors involved in such activities.

### Keywords

Trace metal elements, organic wastes, norms, Reunion Island, environmental risk.

## Éléments de contexte agricole et législatif

**A**fin d'assurer à notre société un développement durable, il est impératif de trouver des solutions de gestion des déchets en particulier les déchets organiques.

Parmi les solutions disponibles actuellement, citons l'utilisation de ces déchets comme fertilisants ou amendements, comme source d'énergie (électricité, méthane, etc.) ou production de produits chimiques (alcools, acides organiques, etc.). Du point de vue de la gestion des déchets, le recyclage agricole est une solution qui permet de valoriser des déchets d'origines variées : agricoles (lisier, fumier, fiente, etc.) ; urbaines (composts, boues d'épuration) et agro-industrielles (vinasses produites par les industries de fermentation). Le recyclage agricole permet (i) de bénéficier de la valeur fertilisante des déchets ce qui permet une substitution partielle ou totale des engrais minéraux ; (ii) d'améliorer la qualité et la quantité de matière organique des sols cultivés ; (iii) d'améliorer les propriétés physiques de ces sols et (iv) d'augmenter l'activité de la microflore et de la faune. En dépit de ces avantages, certains inconvénients qui peuvent freiner le développement de cette pratique demeurent. Ils comprennent : l'intégration de cette pratique dans la conduite des exploitations, la viabilité économique, l'organisation logistique, l'acceptation par la société (nuisance, impact environnemental) et le respect des réglementations environnementales.

Afin de prendre en compte les spécificités culturelles, climatiques et pédologiques du milieu tropical de l'île de La Réunion, la Chambre d'Agriculture de La Réunion (MVAD : mission de valorisation agricole des déchets) et le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad) ont entrepris depuis 1996 de caractériser les déchets organiques produits sur l'île ainsi que d'établir une typologie de leurs usages agronomiques possibles. Cette typologie se base sur les teneurs en carbone (C), en azote (N), phosphore (P) et potassium (K), les indices de stabilité biochimiques, la caractérisation biochimique de la matière organique et les dynamiques de minéralisation C et N des matières organiques. La valorisation de ce travail s'est traduite en 2006 par la préparation d'un guide pratique d'utilisation des matières organiques destiné aux agriculteurs réunionnais (Chabalier *et al.*, 2006).

L'efficacité agronomique et environnementale du recyclage agricole doit non seulement être basée sur l'étude de la qualité d'un point de vue chimique des matières organiques ajoutées mais également sur la quantité et les flux des nutriments apportés, et des polluants potentiels. Parmi ces polluants, les éléments traces métalliques (ETM) doivent être examinés attentivement en dépit de leur faible représentation dans la croûte terrestre (0,6 % en masse). En effet, la plupart d'entre eux présentent la double propriété d'être des oligoéléments et des éléments potentiellement toxiques pour les règnes végétal et animal.

Certaines dispositions législatives permettent d'ores et déjà de limiter ces impacts notamment :

- les normes pour les amendements organiques (NF U44-051 et NF U44-095) dont l'application est obligatoire et qui précisent les teneurs maximales autorisées en ETM dans les apports d'amendements organiques,
- le décret n°97-1133 du 8 décembre 1997, complété par l'arrêté du 8 janvier 1998 qui fixe les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues de station d'épuration (STEP) sur les sols agricoles. Ces textes fixent entre autres les valeurs limites de concentration en ETM dans les boues et les sols avant épandage

### **Spécificité de la situation à La Réunion**

Avant 2004, les études conduites à La Réunion dans le cadre du recyclage agricole des déchets organiques ont essentiellement consisté à caractériser leurs propriétés agronomiques. Aucune évaluation des risques environnementaux liés aux pratiques de fertilisation organique n'avait été entreprise dans le cadre de l'agriculture réunionnaise. Les questions scientifiques que nous avons alors abordées sont issues de plusieurs spécificités de l'île de La Réunion. L'île est marquée par une forte croissance démographique qui se traduit par une intensification des activités agricoles, industrielles et urbaines. Il en découle une augmentation considérable de la production de déchets. Le gisement des matières organiques pour épandage à La Réunion est estimé en 2007 à 837 804 tonnes

(données : <http://www.mvad-reunion.org>). Les effluents d'élevage (752 144 tonnes) constituent le premier gisement de produits organiques, et l'on prévoit un accroissement de près de 30 % de ces effluents durant la décennie à venir. Le défi posé à l'agriculture par le problème des effluents d'élevage est bien réel, car les possibilités de valorisation sont limitées par un ensemble de contraintes, liées en particulier aux fortes contraintes topographiques (pentes fortes) et au mitage important et croissant du territoire. Par ailleurs, les composts ne représentent qu'une faible proportion du gisement des matières organiques pouvant être épandues à La Réunion (environ 6 662 tonnes), il s'agit néanmoins d'une filière en plein essor. En effet, la quasi-totalité des communes réunionnaises prévoit à court terme de se doter de plateformes de compostage afin de faire face à l'augmentation de la production de déchets verts. Enfin les boues de station d'épuration constituent un troisième gisement de matières organiques en progression très rapide : la construction accélérée des stations d'épuration (STEP) dans toutes les communes de l'île, dont beaucoup n'étaient même pas équipées, conduit à l'irruption de ces déchets d'origine urbaine dans les produits disponibles pour les agriculteurs.

La connaissance des concentrations en ETM des sols de La Réunion est récente (Doelsch *et al.*, 2006). L'inventaire des teneurs en ETM des sols cultivés (100 échantillons) a permis de montrer que les sols sont acides ( $4,5 < \text{pH} < 6,5$ ), riches en Hg, Cr, Cu, Ni et Zn avec des concentrations deux à quatre fois supérieures à celles mesurées en métropole (Tableau 1). Les réglementations et normes françaises s'appliquant à La Réunion, les concentrations élevées des sols en ETM ne favorisent *a priori* pas la généralisation du recyclage agricole des déchets organiques. En effet, 80% des sols étudiés présentent des teneurs en Ni supérieures à la valeur seuil fixée par l'arrêté du 8 janvier 1998 (55 % des sols étudiés pour Cr) limitant fortement le développement de l'utilisation des boues de STEP en agriculture, alors que celles-ci sont faiblement concentrées en ETM (Doelsch, 2004).



	Inventaire Ile de La Réunion						Sols métropolitains						
	Cd	Hg	Cr	Cu	Ni	Zn	Cd	Hg	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
<b>Minimum</b>	0,02	0,03	35,0	6,50	15,1	57,5	0,01	0,01	<2	<2	<2	2,2	<5
<b>1<sup>er</sup> Quartile</b>	0,07	0,09	107	30	56,6	113	0,06	0,03	43,6	7,5	16,7	21,7	44
<b>Médiane</b>	<b>0,15</b>	<b>0,16</b>	<b>166</b>	<b>52,9</b>	<b>92,1</b>	<b>146</b>	<b>0,13</b>	<b>0,05</b>	<b>64,8</b>	<b>12,4</b>	<b>29,7</b>	<b>31,2</b>	<b>72</b>
<b>Moyenne</b>	0,19	0,19	301	58,3	206	162	0,33	0,07	73,5	14,2	43,1	161	161
<b>3<sup>ème</sup> Quartile</b>	0,26	0,25	481	82,3	305	206	0,30	0,07	89,1	16,9	48,6	46,1	128
<b>Maximum</b>	0,76	0,81	111	164	104	398	6,99	5,40	534	61,5	478	3560	3820

Tableau 1 : comparaison des concentrations en ETM ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) des sols réunionnais (Doelsch et al., 2006) et de sols métropolitains (Baize, 1997 et Baize et al., 2000)

Cependant la réglementation française prend en compte la question des sols dont les concentrations en ETM dépassent localement les valeurs seuils en offrant la possibilité de dérogations. Ainsi l'article 11 de l'arrêté du 8 janvier 1998 précise : « des dérogations [...] peuvent toutefois être accordées par le préfet sur la base d'études du milieu concerné montrant que les éléments traces métalliques des sols ne sont ni mobiles, ni biodisponibles ».

Néanmoins, afin de préserver des ressources en sols et eaux fortement sollicitées dans un contexte insulaire où la surface cultivable est limitée, il est primordial d'évaluer l'impact de pratiques agricoles telles que l'épandage de déchets organiques sur des sols naturellement riches en ETM. Ces pratiques agricoles modifient en effet de manière importante l'état d'équilibre géochimique et biologique du milieu en affectant le stock et la dynamique de la matière organique, les flux hydriques, la composition et les propriétés physico-chimiques (pH, Eh, etc.) des solutions du sol, les propriétés physiques du sol (texture, porosité, infiltrabilité, etc.), ainsi que les populations de la microfaune comme de la macrofaune. L'ensemble de ces évolutions est susceptible de modifier la spéciation des ETM et il est fondamental d'évaluer les risques de transferts de ces éléments entre les différents compartiments environnementaux.

## Travaux menés et principaux résultats

Un ensemble de travaux a été conduit avec pour objectif d'évaluer la mobilité et la phyto-disponibilité des ETM des sols d'une partie de l'île. Ces recherches, menées dans le cadre de la convention liant le Cirad, la Région Réunion et l'État ont bénéficié de financements particuliers de l'Office de l'Eau de la Réunion et de la Direction de l'Agriculture et de la Forêt. La mise en œuvre d'une demande de dérogation relative à l'épandage des boues de station d'épuration n'étant pas explicitée par les textes réglementaires, ce travail s'est appuyé sur le guide technique édité par l'ADEME et l'APCA (ADEME, 2005). La méthodologie utilisée s'est articulée autour de trois axes :

- la démonstration de l'origine naturelle, géologique ou pédogénétique des teneurs en ETM mesurées,
- l'étude de la mobilité des ETM,
- l'étude de la biodisponibilité et du transfert possible des ETM dans les plantes.

La zone choisie pour l'étude, la Communauté Intercommunale Réunion Est (CIREST), avait l'avantage de présenter les principaux types de sols de la Réunion : des sols formés sur le massif du Piton des Neiges ou sur le massif du Piton de la Fournaise, et des formations superficielles mises en place par les eaux (Figure 1). Ces deux massifs volcaniques qui couvrent la totalité de l'île, ont la particularité de présenter des concentrations en ETM contrastées en raison d'âges différents (Doelsch et al. 2006).

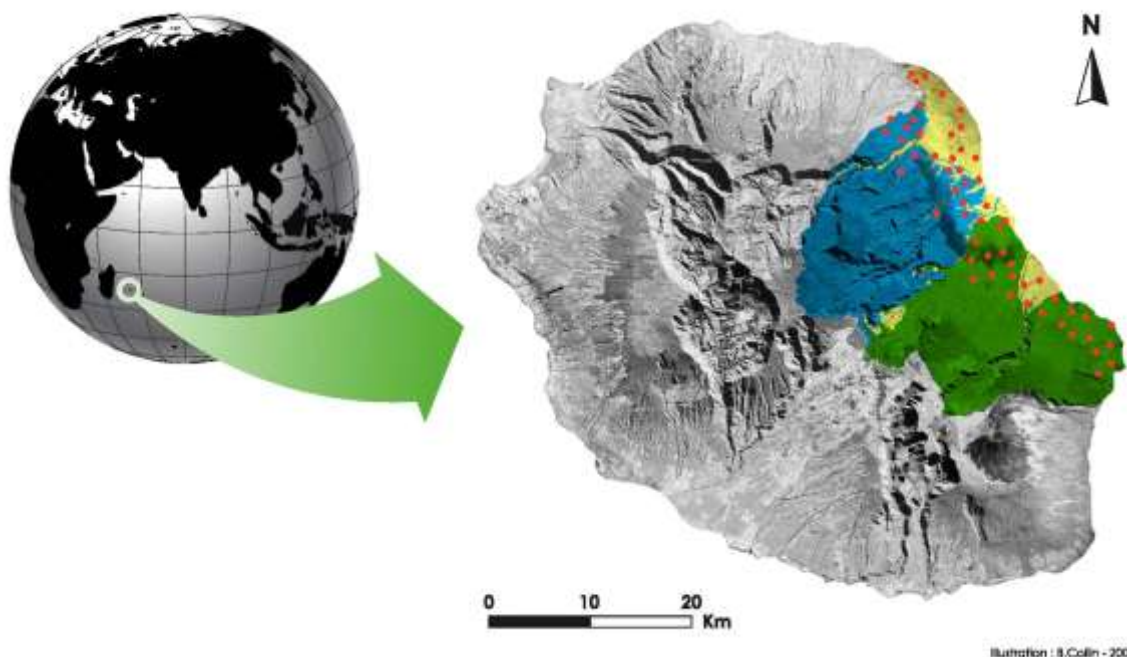


Figure 1 : répartition des 59 parcelles étudiées à La Réunion (points rouges), sols développés sur les flancs du Piton des Neiges en bleu, sols développés sur les flancs du Piton de la Fournaise en vert et sols développés sur des formations superficielles en jaune

Les sols de 59 parcelles, sur lesquelles l'épandage pourrait être envisagé selon la réglementation (pente du terrain faible, distance minimale aux cours d'eau et habitations), ont été échantillonnés. La culture de la canne à sucre, majoritaire sur notre zone d'étude (85% de la SAU), pourrait être propice à l'apport de boues d'épuration comme fertilisant. Cette étude s'est alors limitée à la sole cannière. L'analyse des teneurs totales en Cr, Ni, Cu a fait ressortir trois sous-populations caracté-

sées par des concentrations différentes de ces éléments :

- les sols avec les concentrations les plus faibles sont ceux développés sur des matériaux du Piton des Neiges (Tableau 2),
- les sols issus de matériaux du Piton de la Fournaise sont caractérisés par les teneurs les plus fortes, (Tableau 2),
- les formations superficielles possèdent des concentrations intermédiaires par rapport aux deux sous-populations décrites précédemment.

		<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Zn</b>
<b>Piton de la Fournaise</b>	minimum	0,02	226	18	46	50
	médiane	0,25	485	89	287	130
	maximum	3,00	1108	138	1038	249
<b>Piton des Neiges</b>	minimum	0,02	35	5	11	58
	médiane	0,11	109	35	60	162
	maximum	0,45	852	106	324	300

Tableau 2 : concentrations en ETM ( $\text{mg.kg}^{-1}$  MS) des sols réunionnais en fonction de l'origine du massif volcanique sur lequel ils se sont développés

Les teneurs en ETM des sols sont fortement influencées par la nature du matériau parental. Lors d'une étude précédente, Doelsch *et al.*, (2006) ont montré que les ETM présents dans les sols sont principalement issus de l'héritage des roches

mères altérées d'origine volcanique (de type basalte). Ces roches riches en ETM permettent d'expliquer les concentrations élevées mesurées dans les sols réunionnais qui correspondent au fond pédo-géochimique naturel. Ces observations

permettent de confirmer l'origine naturelle des fortes teneurs en ETM (Cr, Ni, Cu) mesurées dans les sols et donc que les dépassements en Ni, Cr et Cu de la valeur seuil de l'arrêté du 8 janvier 1998 ne traduisent pas une pollution anthropique. Une demande de dérogation à la réglementation sur l'épandage des boues d'épuration ne peut porter que sur les éléments Cr, Ni et Cu.

Des extractions chimiques ( $\text{CaCl}_2$  à  $0,001 \text{ mol.L}^{-1}$  et  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  à  $1 \text{ mol.L}^{-1}$ ) ont ensuite été réalisées sur les échantillons de sols afin d'estimer la mobilité et la phytodisponibilité des ETM (Collin et Doelsch, 2010), c'est à dire leur capacité à migrer du sol vers la phase liquide et/ou vers les plantes.

Les quantités de Cr, Ni, Cu extraites par des essais de lixiviation et par des extractions chimiques sont faibles et inférieures aux valeurs de réf-

rences précisées dans le guide technique « dérogation ETM » (ADEME, 2005). Par exemple, les valeurs médianes des concentrations lixiviées pour Cr, Cu et Ni sont respectivement  $0,43$  ;  $1,79$  et  $4,41 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , alors que les seuils d'investigation ont été fixés à  $2$  ;  $20$  et  $20 \mu\text{mol.L}^{-1}$  pour ces mêmes éléments.

Afin de vérifier et compléter l'approche chimique par extraction, nous avons également mesuré les ETM dans les cannes à sucre développées sur les sols échantillonnés. Les teneurs mesurées dans la bagasse et le jus de canne à sucre (Tableau 3) sont comprises dans la gamme des valeurs publiées pour la canne à sucre et dans la gamme des concentrations nécessaires pour les plantes en tant qu'oligo-éléments (Collin et Doelsch, 2010).

		<b>MS</b> %	<b>Cr</b> ( $\text{mg.kg}^{-1}$ MS)	<b>Cu</b> ( $\text{mg.kg}^{-1}$ MS)	<b>Ni</b> ( $\text{mg.kg}^{-1}$ MS)
<b>Bagasse</b>	<b>minimum</b>	47,5	0,2	1,1	0,1
	<b>moyenne</b>	52,3	0,5	2,2	1,5
	<b>médiane</b>	52,0	0,4	2,3	1,1
	<b>maximum</b>	58,1	1,1	3,0	5,3
<b>Jus</b>	<b>minimum</b>	11,2	0,2	0,6	0,3
	<b>moyenne</b>	14,9	0,4	2,1	0,9
	<b>médiane</b>	14,9	0,3	1,9	0,7
	<b>maximum</b>	17,5	0,9	5,1	3,7

Tableau 3 : Caractéristiques de la population totale de bagasses et de jus de canne à sucre

L'intérêt majeur de notre zone d'étude est de pouvoir échantillonner des cannes à sucre qui se développent sur des sols riches en ETM (sols issus du massif du Piton de la Fournaise) et des sols moins riches. Nous avons donc étudié deux sous-populations de cannes à sucre, en fonction du type de sols. Les cannes à sucre échantillonnées sur les sols ayant des teneurs totales en ETM inférieures à la valeur seuil (arrêté 8 janvier 1998) et sur les sols ayant des teneurs totales en ETM su-

périeures à la valeur seuil. Les moyennes des concentrations des cannes à sucre en Cr, Ni, Cu des deux populations sont similaires (statistiquement non différentes). La Figure 2 illustre la répartition des concentrations dans les cannes à sucre et montre que celles qui se développent sur des sols riches en ETM ne présentent pas de concentrations supérieures par rapport aux cannes cultivées sur des sols moins riches.

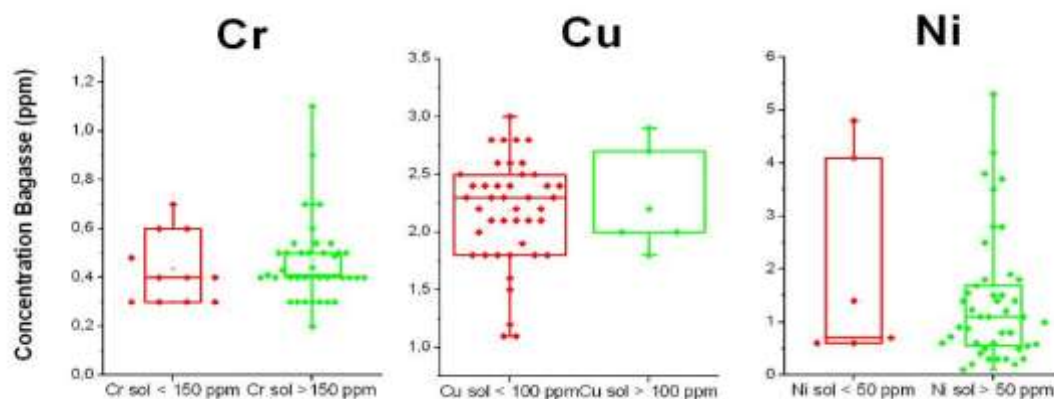


Figure 2 : teneurs en Cr, Cu, Ni dans la bagasse dans deux sous-populations : canne à sucre cultivée sur des sols ayant une teneur totale en ETM inférieure à la valeur seuil (à gauche en rouge), et sur des sols ayant une teneur totale supérieure au seuil (à droite en vert)

Ces observations basées sur les analyses des végétaux cultivés en plein champ viennent confirmer les résultats des analyses chimiques effectuées pour évaluer la phyto-disponibilité. Nous pouvons donc conclure que les ETM présents dans les sols de La Réunion sont peu phyto-disponibles. Sur la base des résultats scientifiques de cette étude, des dérogations sont donc envisageables afin de permettre la mise en place d'une filière de recyclage agricole des boues d'épuration à La Réunion.

### Où et comment épandre ?

Dans l'hypothèse où la contrainte liée aux ETM serait levée, la question des cultures sur lesquelles il serait possible d'épandre des boues se pose. La canne est la culture la plus propice à l'épandage en raison de sa présence sur des surfaces peu pentues, proches des stations d'épuration futures ou existantes et de la possibilité de mécaniser l'épandage qui peut être assuré « rendu racine » par les producteurs de boues.

La quantité maximale de boues produites, dans l'hypothèse où la totalité de la population réunionnaise (800 000 habitants) serait raccordée à des réseaux d'assainissement aboutissant à des stations d'épuration, serait de 10000 tonnes de matière sèche (MS) par an. À une dose d'application de 4t MS / ha, ce sont donc 2500 ha qui seraient nécessaires. La sole cannière représentant plus de 20000 hectares (<http://www.margouilla.net/>), on peut penser que cette seule culture suffirait à recevoir l'ensemble des boues produites. L'agronomie vient cepen-

dant tempérer ce constat, pour les raisons suivantes.

C'est essentiellement à la replantation, réalisée environ tous les six ans, que l'épandage ou l'enfouissement seraient possibles. Ces dernières années, les chiffres de replantations se situaient entre 1000 à 1500 ha/an, mais les objectifs de la filière sont de 15 % de la surface en canne soit 3000 ha/an. Toute cette surface n'est cependant pas utilisable pour des épandages de boues, pour des raisons de pentes fortes, de distances par rapport aux habitations, aux ravines, sources, etc. Des boues pourraient être appliquées sur des repousses, mais l'enfouissement n'est pas possible à cause du mulch. En revanche, si les résidus sont enlevés pour l'élevage, il est alors possible de passer des griffes entre les lignes et d'enfouir partiellement l'apport.

Il ne faut pas négliger le problème du pH des sols. La majorité des sols sont acides sous canne, avec un pH inférieur à 6 et s'il faut relever le pH des sols pour les épandages de boues brutes les coûts seront très élevés. Il reviendra probablement aux producteurs de boues de s'en charger. L'alternative serait de produire des boues chaulées pouvant être épandues sur des sols jusqu'à pH 5.

La définition des surfaces disponibles correspondant à ces différents scénarios et une cartographie de ces surfaces permettrait d'affiner le diagnostic qui reste cependant favorable globalement. En effet l'hypothèse du raccordement de l'ensemble de la population est très surévaluée.

## Évolution récente de la situation

Plusieurs restitutions des résultats obtenus, synthétisés dans un rapport (Collin et Doelsch, 2008), ont été organisées tant auprès des services de l'État, des collectivités territoriales que des exploitants agricoles et des représentants des filières agricoles. À la suite de ces présentations, plusieurs communes ont fait des demandes officielles de dérogation, la première étant Bras Panon, située sur le territoire de la CIREST et ces dérogations ont été acceptées par la Préfecture de la Réunion en 2008.

Les exploitants de STEP bénéficient donc maintenant d'un cadre réglementaire favorable pour l'écoulement de leurs produits, mais le problème n'est pas complètement résolu pour l'instant. En effet, la question de la valorisation agricole des boues de station d'épuration met en jeu une multiplicité d'acteurs ayant des points de vue différents :

- les collectivités territoriales chargées du traitement des eaux confient le plus souvent la gestion des stations d'épuration à des entreprises spécialisées sur lesquelles est reportée la responsabilité de l'élimination des produits résiduels du traitement des eaux. L'image globale de la collectivité reste cependant, aux yeux du grand public, très liée à une bonne gestion de ce dossier sensible ;
- les services de l'État responsables du respect des réglementations qui sont nombreuses, parfois contradictoires et difficiles à appliquer dans des contextes aussi particuliers que ceux des départements d'outre-mer ;
- les exploitants de stations d'épuration qui portent une partie de la responsabilité de l'élimination des boues et doivent respecter des cahiers des charges contraints en cherchant à optimiser les coûts ;
- les agriculteurs et propriétaires fonciers qui sont placés devant un dilemme. L'intérêt agronomique et souvent économique des produits proposés, que les exploitants de stations d'épuration peuvent être amenés à apporter eux-mêmes (« rendu racine » gratuit) et le risque de voir leur patrimoine foncier déprécié par des épandages dont les risques seraient mal évalués ;

- les producteurs agricoles soucieux de l'image de leur produit. La canne à sucre étant un des principaux candidats à l'épandage de produits, la filière Canne de la Réunion a rapidement fait part de ses réserves sur l'image que pourrait donner l'épandage de boues sur canne. En effet, la filière a développé un marché de sucres dits « spéciaux » réunionnais, porteurs d'une image de qualité environnementale et sanitaire et ne souhaite pas la voir se dégrader par des pratiques mal adaptées ;

- le grand public partagé entre l'intérêt pour le recyclage et des risques mal identifiés. Les interrogations sur la présence dans les produits résiduels organiques de molécules issues de l'activité humaine existent, à la Réunion comme en métropole, et les questions sur le risque lié à la présence de perturbateurs endocriniens, de médicaments ou de nanoparticules doivent encore faire l'objet de recherches.

Les recherches menées en agronomie *sensu lato* s'élargissent donc aujourd'hui et la thématique du recyclage, pratique écologique ancestrale, fait l'objet de plusieurs projets de recherche. L'un d'entre eux, GIROVAR (Gestion intégrée des résidus organiques à la Réunion) permet aujourd'hui de rassembler l'ensemble des acteurs liés à cette question sur le territoire de la côte Ouest pour définir des scénarios de mise en place de filières prenant en compte l'ensemble des besoins des agriculteurs et de les mettre en regard des produits disponibles ou à créer. Dans ce projet, les notions de modélisation d'accompagnement et d'écologie territoriale sont mobilisées.

Les observations réalisées à différentes échelles, depuis la région pour les inventaires à l'échelle de la molécule pour préciser la spéciation des métaux (Figure 3), ont ainsi permis l'obtention d'une dérogation à la réglementation sur l'épandage des boues d'épuration.

Ces décisions ont en retour des conséquences sur l'ensemble du territoire dans la mesure où elles vont sensiblement modifier les relations entre les mondes agricole et urbain qui négocient actuellement les conditions de la mise en œuvre de ces pratiques de recyclage rendues possibles récemment.





Figure 3 : l'approche multi-échelle développée pour étudier la problématique des ETM à La Réunion

## Conclusion et perspectives de recherche

La situation décrite dans cet article nous semble illustrer plusieurs questions posées par les relations entre l'agriculture et son environnement, qu'il soit physique ou humain, lorsqu'un risque doit être évalué. L'existence d'une norme destinée dans la cas présent à protéger tant l'environnement que les producteurs ou les consommateurs peut se révéler un frein à des innovations et il est intéressant de constater que l'assouplissement de cette norme, ou son annulation, ne conduisent pas nécessairement à des consensus sur les suites à donner, de nouvelles questions se posant une fois une première série d'interrogations levées.

Ainsi les études réalisées montrent que les ETM ne passent pas en solution dans l'eau lors d'attaques chimiques, ce qui peut être considéré comme un moyen assez grossier d'estimation de la mobilité des ETM et de leur phytodisponibilité. Afin de mieux appréhender l'influence des plantes, notamment au niveau des racines qui sont capables de modifier les propriétés physico-chimiques du milieu, par exemple en excréant des protons ou des molécules organiques, nous

travaillons actuellement sur la normalisation d'un biotest qui permettra une évaluation plus réaliste de la biodisponibilité des ETM. De telles mises au point sont envisageables pour les contaminants dont la détection et le dosage sont possibles par des moyens analytiques fiables. Dans le cas des nouvelles molécules qui sont susceptibles de se trouver dans les produits résiduels, la mise au point de leur dosage et l'évaluation de leur toxicité restent une nécessité qui mobilise quotidiennement de nombreuses équipes de recherche.

## Bibliographie

- ADEME, A., 2005. Dérogations relatives à la réglementation sur l'épandage des boues de stations d'épuration. Comment formuler une demande pour les sols à teneurs naturelles élevées en éléments traces métalliques? Guide technique
- Baize, D. 1997. Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols. Paris, INRA, 408 p.
- Baize, D. 2000. Teneurs totales en "métaux lourds" dans les sols : résultats généraux du programme ASPITET. Courrier de l'Environnement de l'INRA 39 : 39-54
- Chabalière P., Van de Kerchove V., Saint Macary H. 2006. Guide de la fertilisation organique de La Réunion. Cirad - Chambre d'Agriculture de La Réunion. Saint Denis, France, 302 p.
- Collin B., Doelsch E. 2008. Évaluation de la mobilité et de la phytodisponibilité des éléments traces métalliques des sols :



étude réalisée sur les sols de la Communauté Intercommunale Réunion Est (CIREST), en perspective d'une demande de dérogation à la réglementation sur l'épandage des boues de stations d'épuration. Montpellier : CIRAD-PERSYST, 60 p.

Collin B., Doelsch E. 2010. Impact of high natural soilborne heavy metal concentrations on the mobility and phytoavailability of these elements for sugarcane. *Geoderma*, 159 (3-4): 452-458

Doelsch, E., 2004. Eléments traces métalliques - Inventaire pour l'île de La Réunion (sols, déchets et végétaux), CIRAD-MVAD

Doelsch E., Van de Kerchove V., Saint Macary H. 2006. Heavy metal content in soils of Réunion (Indian Ocean). *Geoderma*, 134 (1-2) : 119-134