



Institut National de la Recherche Agronomique
Centre Antilles-Guyane



Liberté • Égalité • Fraternité

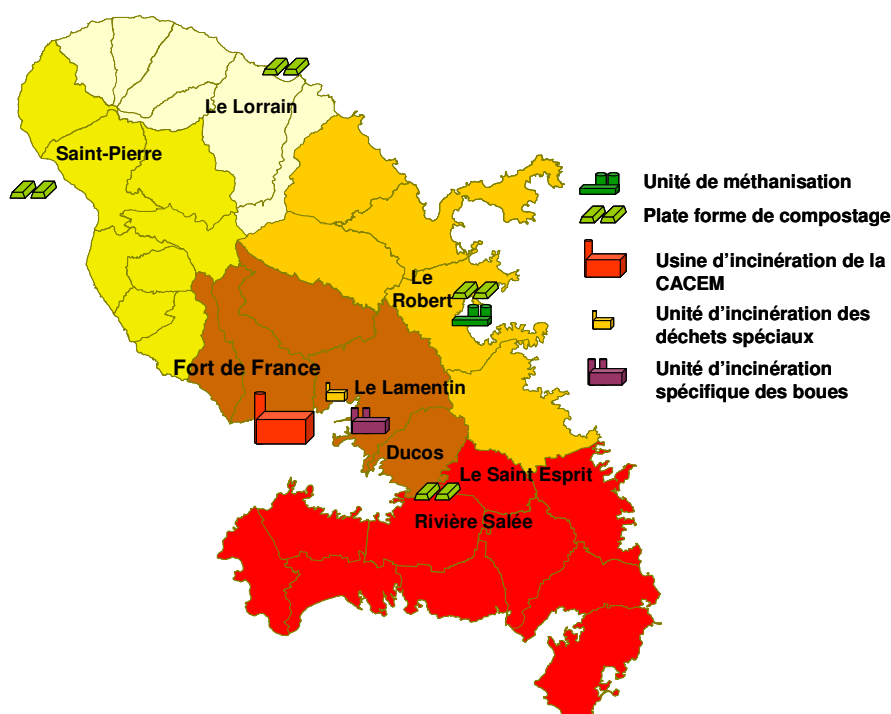
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PREFECTURE DE LA REGION
MARTINIQUE



*Mission Inter Services de l'Eau Elargie
en pôle de compétence*

L'épandage agricole des boues de STEP dans le contexte antillais



Jorge Sierra

Unité Agropédoclimatique

INRA Antilles-Guyane

Rapport d'expertise
Janvier 2004

Table de matières

<i>1- Préambule.....</i>	<i>3</i>
<i>2- Etat des lieux du SDEBE en Martinique : l'importance d'une valorisation agricole des boues</i>	<i>4</i>
<i>3- Point sur la production et le recyclage des boues en Martinique et en Guadeloupe</i>	<i>7</i>
<i>4- Synthèse des résultats de recherches sur les boues en Guadeloupe</i>	<i>9</i>
<i>5- Contraintes réglementaires dans le contexte antillais.....</i>	<i>22</i>
<i>6- Conclusion.....</i>	<i>25</i>
<i>Annexe. Références bibliographiques sur les boues de STEP</i>	<i>26</i>

1- Préambule

Ce rapport a été réalisé à la demande de la DAF Martinique dans le cadre du Schéma Départemental d'Élimination des Boues d'Épuration (SDEBE), par l'intermédiaire de la Mission Inter Services de l'Eau Élargie en pôle de compétence (MISEE Martinique). Le rapport développe les points que j'ai présentés sous forme synthétique lors de la réunion du Comité de Pilotage du SDEBE en mai 2003.

D'après l'information disponible¹, il ressort que la Martinique s'acheminerait vers une gestion des boues de STEP combinant l'incinération et le recyclage agricole. La part représentée par chaque voie d'élimination serait d'environ 50% pour l'ensemble du département, mais les pourcentages varient de commune en commune. Compte tenu du manque d'information relative à l'épandage agricole de boues en Martinique, la DAF a souhaité faire le point sur l'expérience existant en Guadeloupe et sur les recherches conduites à l'INRA Antilles-Guyane, ce qui a motivé la demande qui m'a été adressée. Elle concerne notamment une synthèse des résultats obtenus en Guadeloupe, et une présentation de la situation actuelle du recyclage de boues dans l'île.

Dans ce rapport, nous avons inséré la présentation et la discussion dans le cadre de la réglementation en vigueur fixant les prescriptions techniques applicables à l'épandage des boues de STEP (Arrêté du 8 janvier 1998). Nous ferons ressortir les points qui nous semblent les plus importants concernant le recyclage agricole des boues, ainsi que les plus contraignants dans le contexte antillais. En revanche, l'incinération de boues et les aspects économiques liés à chaque voie de traitement, ne seront pas traités ici compte tenu qu'ils sont l'objet de l'étude menée par le BCEOM.

¹ Les documents mis à ma disposition sont : le Compte Rendu de la Réunion du Comité de Pilotage du SDEBE du 21/11/2002, et un document de synthèse sur une étude préalable au Schéma élaboré par le BCEOM et présenté lors de cette réunion.

2- Etat des lieux du SDEBE en Martinique : l'importance d'une valorisation agricole des boues

La première phase de l'étude préalable au SDEBE de la Martinique visait notamment à analyser et décrire :

- la situation actuelle de la production et de la gestion des boues ;
- l'évolution de la production de boues ;
- la qualité agronomique, physique et chimique des boues ;
- la réglementation en la matière et ses incidences dans le contexte du département ;
- les potentialités de conditionnement, de valorisation et d'élimination dans le département.

Cette phase d'étude a permis de dégager des orientations préférentielles de gestion des boues d'épuration dans le contexte martiniquais. Nous ne retiendrons ici que celles qui concernent la valorisation agronomique. En effet, la mise en place des filières de valorisation agronomique, y compris sur des espaces non agricoles (décharges en cours de réhabilitation, pépinières, forêts, etc.) est incontournable en Martinique puisque :

- l'ensemble de la production de boues d'épuration ne pourra pas être éliminé par incinération compte tenu des limites de capacité des équipements et de la dispersion de la production sur l'ensemble du département ;
- les boues présentent, tout comme en Guadeloupe, des caractéristiques agronomiques intéressantes et des concentrations en métaux largement inférieures aux seuils réglementaires définis pour les boues et les matières fertilisantes ;
- la recherche de surfaces potentiellement épandables conclut à une capacité largement supérieure aux besoins. En effet, le scénario qui maximise l'épandage des boues concerne 650 ha/an, alors que près de 20 000 ha sont épandables d'après les critères restrictifs retenus (dont les distances d'isolement imposées par la réglementation).

Ainsi pour préparer la gestion des boues prévue pour le long terme, il est indispensable de développer dès à présent la valorisation agronomique dans les règles de l'art, notamment pour les petites stations d'épuration du département dont les productions ne seront pas incinérées. **Dans ce sens, les propositions avancées par le BCEOM concernant le conditionnement des boues sont essentielles afin de rendre efficace cette démarche ; p.ex. atteindre les 30% de siccité, mettre en place les filières de valorisation du long terme, favoriser l'hygiénisation des boues en utilisant des équipements structurant prévus pour traiter d'autres déchets.** Un exemple concret de ce dernier aspect concerne une demande de collaboration de la DAF Martinique, adressée à l'INRA Antilles-Guyane, sur le compostage des lisières de porc et leur recyclage agricole. La construction des plateformes de compostage dans le cadre de ce projet pourrait être doublement valorisée en l'utilisant aussi pour le compostage des boues de STEP.

A l'occasion de la présentation de cette première étape du SDEBE, les représentants agricoles ont indiqué leur position favorable à la pratique du recyclage agricole à condition qu'elle soit menée dans les règles de l'art. D'ailleurs, la Chambre d'Agriculture de Martinique a proposé que des expérimentations in-situ soient conduites au niveau de quelques exploitations agricoles, lesquelles pourraient compter avec la collaboration de l'INRA Antilles-Guyane. En même temps, une information des agriculteurs intéressés devra être envisagée afin de présenter le produit, les pratiques et leur intérêt pour les végétaux, les moyens permettant de garantir la qualité et l'innocuité des produits épandus (suivi agronomique, analyses, démarche qualité, homologation). Cela est d'autant plus important que, lors de cette réunion, le Conseil Régional a fait état de la prudence des élus en matière d'utilisation des boues sur des cultures, notamment en terme d'accumulation de substances organiques et métalliques. Nous reviendrons dans ce rapport sur ce point en particulier.

Il est nécessaire de rappeler ici que l'utilisation des boues compostées avait déjà fait l'objet d'un projet en Martinique, similaire à celui développé par la SOFUNAG en Guadeloupe. Cette expérience de compostage boues de STEP/bagasse permettait de produire un compost utilisé en pépinière (bananier). Sur le plan agricole, ce projet a été une réussite. L'activité a finalement cessé pour des raisons économiques (coût de la bagasse notamment).

En relation au problème soulevé par les élus sur les nuisances olfactives liées à l'épandage, il convient de préciser que l'épandage des boues, tel qu'il est prévu en Martinique, ne concerne que les boues conditionnées, donc stables, hygiénisées et non odorantes (boues chaulées, compostées). Par rapport au compost des boues issues de la méthanisation, nous y reviendrons lors de la présentation des résultats des recherches en Guadeloupe.

3- Point sur la production et le recyclage des boues en Martinique et en Guadeloupe

De la comparaison entre la Martinique et la Guadeloupe, il ressort plusieurs points communs en ce qui concerne la production actuelle et future de boues et les contraintes liées à leur valorisation en agriculture :

- la production actuelle (données de 2002) se situe autour de 2.000 tonnes de matière sèche par an ;
- la production est estimée à 3.500 tonnes MS pour 2006 et 5.000 tonnes MS à l'horizon 2015 ;
- le niveau actuel de conditionnement est faible : boues liquides en majorité, pâteuses dans certains cas, et non hygiénisées ;
- 60% de la production de boues sont concentrées sur les agglomérations les plus importantes : station de la Trompeuse à Fort-de-France, en Martinique, et Jarry, qui traite les eaux usées de la conurbation de Pointe-à-Pitre/Les Abymes/Baie-Mahault, en Guadeloupe ;
- éparpillement du reste de la production sur l'ensemble du territoire.

Ces facteurs imposent des contraintes similaires dans les deux îles en relation au recyclage des boues en agriculture. Ainsi, le faible taux de siccité (12-15% en Guadeloupe) rend cher le transport chez l'agriculteur, ce qui détermine que les boues en Guadeloupe soient utilisées seulement dans la région de la Côte-au-Vent, à moins de 20 km de la station de Jarry, unique station dont une partie de la production est valorisée en agriculture.

Une des différences entre les deux régions concerne la destinée des boues : tandis que 100% des boues sont mises en décharge en Martinique, en Guadeloupe les proportions correspondent à 60% en décharge et 40% recyclées en agriculture². **Compte tenu qu'à présent, aucun plan d'épandage n'est opérationnel en Guadeloupe, le transport et**

² Estimation faite à partir de données fournies par la Station de Jarry. Ces chiffres sont à prendre avec précaution car une étude réalisée récemment par la DSDS (Direction de la Santé et du Développement Social) de la Guadeloupe a estimé que le recyclage en agriculture ne dépasse pas les 30% de la production.

l'épandage sont à la charge de l'agriculteur, et le suivi des parcelles traitées n'est pas assuré. Par ailleurs, la situation actuelle montre ses limites du point de vue sanitaire quand l'on sait que fréquemment les agriculteurs vont récupérer les boues mises en décharge.

Pourquoi une partie des agriculteurs guadeloupéens utilise les boues au contraire de leurs homologues martiniquais ? Il n'y a pas une réponse définitive à cette question, mais au dire de plusieurs agriculteurs consultés, il semblerait que les expérimentations réalisées à l'INRA en Guadeloupe depuis le début des années 1980³ aient contribué à faire connaître le produit et son effet sur le rendement des cultures. En tout cas, la pratique de l'épandage s'est progressivement généralisée depuis que les boues d'épuration sont produites. **De nombreux travaux ont été réalisés à l'INRA⁴ en Guadeloupe à ce sujet, et confirment l'intérêt et l'innocuité de la pratique.** A noter que, malgré le non suivi réglementaire, aucun incident ou accident portant atteinte à la santé publique ou individuelle n'a été enregistré.

Cette situation a légèrement varié depuis 2001. En effet, des informations en provenance de la France métropolitaine, notamment associées à la problématique de la présence des métaux lourds dans les boues, ont provoqué une réaction aussi bien de la part des agriculteurs que des filières liées à l'exportation (canne, banane) et à l'industrie du rhum (canne). Dans tous les cas, il n'y a pas eu une interdiction explicite de la part des opérateurs⁵, par exemple via le cahier des charges, mais il s'agit surtout des conseils "*oraux*" transmis afin d'éviter le risque de refus "*des produits guadeloupéens d'exportation*", si l'information sur l'utilisation des boues parvenait aux consommateurs ou clients européens⁶. Donc, pas d'interdiction mais le souci partagé de protéger un marché déjà sensible pour d'autres raisons. En tout état de cause, cela a provoqué un déplacement de l'utilisation des boues vers les cultures maraîchères et vivrières visant le marché local, y compris des plantes à tubercules tel que l'igname. Nous verrons par la suite que c'est justement sur ce type de culture que la réglementation actuelle pose les plus grandes contraintes en relation aux modalités de l'apport des boues, notamment en milieu tropical.

³ Expérimentations réalisées par Maurice Clairon à l'Unité d'Agronomie de l'époque.

⁴ Voir Annexe à la fin de ce rapport.

⁵ La situation est différente de celle de la Martinique en ce qui concerne la production de rhum AOC.

⁶ Entretien avec Alex Urbino, responsable du CTICS (Centre Technique Interprofessionnel de la Canne et du Sucre) de la Guadeloupe.

4- Synthèse des résultats de recherches sur les boues en Guadeloupe

Les micropolluants métalliques

Il faut ici préciser que l'INRA n'a pas pour mission d'analyser la qualité des boues produites en Guadeloupe. Les résultats que nous allons montrer correspondent donc aux analyses que nous avons réalisées dans le cadre de nos recherches, afin de caractériser le produit utilisé et de pouvoir mettre en relation les propriétés des boues, leur métabolisme dans le sol, et la réponse des cultures.

L'importance du rôle joué par les boues résiduaires urbaines dans les cycles biogéochimiques des microéléments minéraux est apparue notamment à l'occasion d'essais de longue durée en Angleterre, au cours desquels des symptômes aigus de phytotoxicité, dus à des excès de métaux, de zinc en particulier, furent observés sur des cultures de légumineuses. Les eaux usées urbaines parvenant en tête des stations d'épuration ont en effet un contenu en micropolluants métalliques supérieur à celui caractérisant les eaux potables, les eaux de rivière ou l'eau de mer. Cette surcharge est provoquée par le déversement dans le «tout-à-l'égout» de toute une série d'effluents produits par diverses activités : domestiques, urbaines, commerciales, artisanales ou industrielles. Il ne faut pas conclure pourtant que les boues sont la seule source d'apport de métaux en agriculture, ou qu'elles sont la source la plus importante.

Tel que le montre la Table 1, d'autres sources, naturelles ou d'origine anthropique, peuvent apporter plus de métaux aux sols que les boues appliquées à des doses réglementaires.

	Cadmium	Chrome	Plomb
Retombées atmosphériques	3	-	500
Engrais	15	700	300
Déjections animales	3	50	50
Boues (3 tonnes/ha/an)	8	100	200

Table 1 : Apport des métaux en g/ha/an par différentes sources (étude réalisée en France métropolitaine)

Concernant les valeurs de micropolluants métalliques des boues produites en Guadeloupe, les résultats d'analyses ont montré que les teneurs sont largement inférieures aux valeurs limites établies par l'Arrêté du 8 janvier 1998. Les résultats de la Figure 1 correspondent à une analyse effectuée en 2001 sur une boue produite à Jarry, mais ils sont bien représentatifs de plusieurs études que nous avons faites sur huit stations en Guadeloupe.

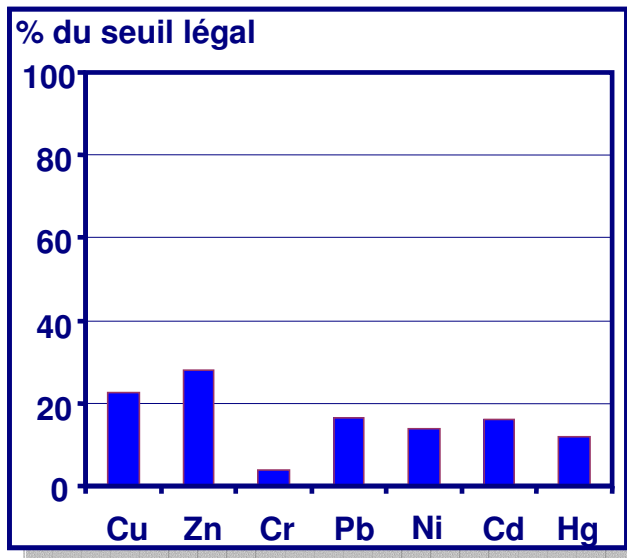


Figure 1 : Concentration des micropolluants métalliques dans une boue produite à Jarry (Guadeloupe). Les valeurs sont exprimées en % du seuil établi dans l'Arrête du 8 janvier 1998.

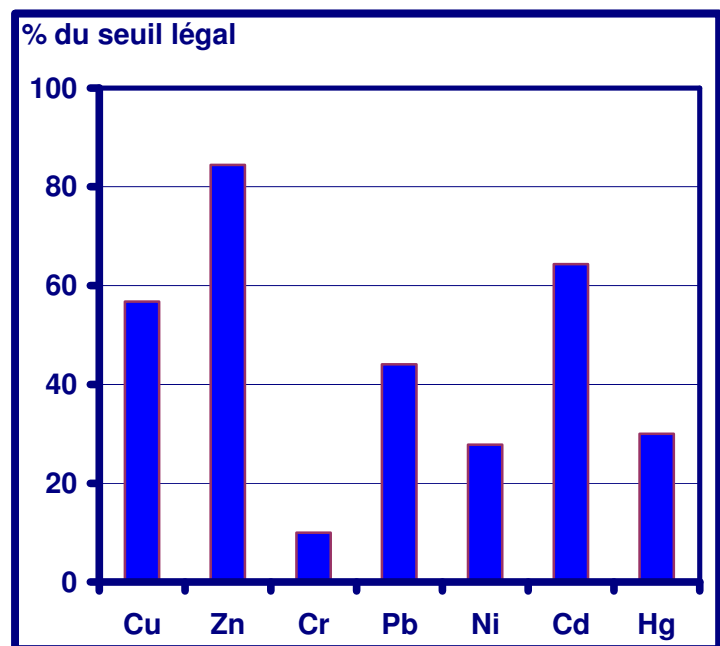
Cu : cuivre, Zn : zinc, Cr : chrome, Pb : plomb, Ni : nickel, Cd : cadmium, et Hg : mercure.

Seules les teneurs en cuivre et zinc sont relativement élevées par rapport aux autres métaux. Concernant le zinc, cela peut s'expliquer par le fait que les réseaux étant de type pseudo-séparatif, les eaux de ruissellement des toitures et canalisations en zinc se retrouvent mélangées avec les effluents arrivant à la station. Concernant le cuivre, de nombreuses conduites d'eau non enterrées sont en cuivre (chauffe-eau solaire, arrivée d'eau potable) ce qui peut expliquer les teneurs relativement élevées dans les effluents. **De manière générale, les boues d'épuration des eaux urbaines de Guadeloupe sont exemptes de pollutions métalliques significatives et sont donc compatibles avec un épandage agricole. Cela est à mettre en relation avec la faiblesse du tissu industriel guadeloupéen, ce qui correspond**

aussi à la situation en Martinique. Pour la même raison on peut s'attendre à de faibles valeurs en micropolluants organiques, même si nous remarquons qu'aucune étude n'a été réalisée en Guadeloupe sur ce sujet.

D'après l'Arrêté du 8 janvier 1998, un autre facteur à considérer est le flux cumulé des micropolluants métalliques. Ces flux sont calculés sur dix ans et ils représentent une contrainte plus sévère que les seuils de concentration des métaux. Dans la Figure 2, nous avons calculé les flux des métaux sur dix ans en considérant une dose d'application de 30 tonnes MS, ce qui correspond à la dose maximale admise dans la réglementation. En comparant les Figures 1 et 2 on s'aperçoit que, même si les teneurs en micropolluants métalliques dépassent rarement les 20% du seuil, en termes de flux cumulés les valeurs se placent souvent au-dessus de 40%. **En conséquence, un dépassement de la dose maximale prévue par la réglementation se traduirait immédiatement par le dépassement des seuils d'accumulation de plusieurs éléments traces métalliques.**

Figure 2 : Accumulation des métaux sur 10 ans pour une dose équivalant à 30 tonnes MS de la boue de Jarry de la Figure 1. Les valeurs sont exprimées en % du seuil établi dans la réglementation.



Dans la situation actuelle, où l'agriculteur récupère les boues avec son propre véhicule, difficilement la dose maximale peut être dépassée en Guadeloupe. Des enquêtes réalisées récemment dans la zone bananière (Capesterre, Goyave ; Demea, 1999, voir Annexe) ont montré effectivement que les doses par apport ne dépassent pas les 10 tonnes MS/ha en application tous les 4-5 ans, soit une application sur 10 ans de l'ordre de 20-25

tonnes MS/ha.

La méthanisation et les micropolluants métalliques

Il n'y a pas actuellement en Guadeloupe de résultats concernant la méthanisation des boues de STEP. Je voudrais pourtant faire un commentaire sur cette voie de traitement, et sur les conséquences en termes de valorisation agricole. Le processus de méthanisation consiste dans la transformation biologique du carbone contenu dans le produit (boue de STEP, vinasse, déchets ménagers, lisières) en méthane, gaz qui peut être utilisé comme source d'énergie (biogaz) ; cela se traduit par une réduction de la matière sèche du produit original. La transformation concerne bien le carbone mais pas l'ensemble des matières contenues dans le produit à méthaniser. De ce fait, des éléments tels que les métaux restent concentrés dans le produit final de la méthanisation. Par exemple, à une diminution de la matière sèche à 1/5 de la masse initiale, correspondrait une augmentation de 5 fois la concentration des micropolluants métalliques. **Il est évident que, dans ce cas, la méthanisation d'une boue équivalant à celle des Figures 1 et 2, induirait un dépassement des seuils de cuivre et de zinc établis dans la réglementation, en empêchant tout recyclage en agriculture. En conséquence, la méthanisation doit être regardée comme une voie de réduction de la matière sèche des boues en vue de son incinération, mais non comme un pré-traitement pour leur recyclage en agriculture.**

Il nous apparaît nécessaire de remarquer que la valeur agricole du produit final de la méthanisation dépend notamment de la qualité initiale du produit. Ainsi, les vinasses méthanisées, issues de l'industrie du rhum, peuvent être recyclées en agriculture car les teneurs en micropolluants métalliques sont extrêmement faibles. L'exemple en Guadeloupe est la valorisation agricole des vinasses méthanisées de l'usine de Bonne-Mère, dans la Commune de Sainte-Rose.

Concentration des métaux dans le sol

Les sols de la Martinique et de la Guadeloupe sont tous d'origine volcanique ancien. Lors de leur formation, d'autres facteurs tel que des dépôts d'alluvions et des récifs de corail sont venus modifier partiellement la composition et la structure minéralogique des sols. De ce fait, la concentration des métaux dans les sols est très variable et change amplement sur de petites distances. Par exemple, des études menées au Domaine Duclos de l'INRA Antilles-Guyane (sols ferrallitiques), montrent que les teneurs en cuivre et en zinc totales varient cinq fois sur des distances d'une centaine de mètres.

Evidemment, l'analyse des concentrations des métaux dans les sols fait partie des prescriptions établies dans la réglementation. Cela est d'autant plus important dans le cas des sols ferrallitiques et des andosols d'altitude, dès lors que l'acidité joue un rôle essentiel dans la mobilité et la biodisponibilité de certains métaux tels que le zinc et le cadmium.

En Guadeloupe il n'y a pas d'études systématiques sur les teneurs en métaux de différents types de sol. Quelques analyses de cuivre, zinc, plomb et cadmium ont été réalisées dans la zone de production intensive de banane (Capesterre), sur des parcelles ayant reçu ou non des boues de STEP (Demea, 1999, voir Annexe). Pour les trois premiers métaux les concentrations restent toujours au-dessous des seuils établis dans la réglementation. Pour le cadmium, des valeurs très élevées ont été observées sur certaines parcelles sans apport de boues. En général il s'agit d'exploitations placées dans les hauteurs de Capesterre, donc probablement sous l'effet de La Soufrière, et avec un effet de fond géochimique considérable. Cela pourrait être le cas des zones proches de la Montagne Pelée en Martinique. **Une autre hypothèse concerne le passé culturel des parcelles. En effet, dans ces exploitations l'utilisation intensive et fréquente des intrants chimiques (engrais, insecticides, nématicides et autres) peut avoir apporté des quantités relativement importantes d'oligo-éléments.** Il est intéressant de remarquer qu'une situation similaire a été retrouvée à La Réunion, où les sols sont aussi d'origine volcanique et les systèmes de culture sont parfois très intensifs. Dans cette région, les métaux les plus abondants sont le nickel, le chrome et

parfois le cuivre⁷.

L'information disponible, même si elle n'est pas très abondante, indique clairement que la teneur en métaux dans les sols est l'un des facteurs à considérer lors de la définition d'un plan d'épandage, notamment dans les zones d'altitude. Par ailleurs, il est évident qu'un suivi régulier (p.ex. tous les 4-5 ans) et systématique des parcelles traitées s'impose afin d'identifier les éventuels risques environnementaux liés à la mobilité des métaux dans les sols acides.

Micro-organismes pathogènes

Compte tenu de leur origine domestique, les boues contiennent des organismes pathogènes. Ils ne représentent pourtant qu'une infime partie des micro-organismes présents dans la nature, et dans les sols en particulier. Ce sont principalement des virus, bactéries, protozoaires, helminthes et champignons. Cette charge microbiologique est fonction du traitement subi par la boue et présente, en outre, de fortes fluctuations au cours du temps. D'après la littérature scientifique, on observe une réduction de la charge microbiologique au niveau du stockage puis dans le sol, lequel joue un rôle de «filtre» via la compétition exercée par les micro-organismes qu'y habitent. **Ainsi, la qualité pathogène décroît rapidement lorsque les boues sont épandues sur le sol, par l'action conjuguée des variations de la teneur en eau, le rayonnement UV et, dans le cas de sols acides, du pH.**

Même si la quantité d'analyses effectuées en Guadeloupe est moindre que celle concernant les micropolluants métalliques, les résultats ont toujours montré l'absence totale des micro-organismes pathogènes type Salmonelle, Clostridium et autres, dans les boues analysées avant épandage. En revanche, il n'y a pas d'analyses concernant les helminthes, et un travail en collaboration entre la DSDS Guadeloupe, l'INRA et l'Institut Pasteur sera prochainement mis en place pour suivre l'évolution de ces organismes avant et après

⁷ Entretien avec Mme. V. van de Kerchove, Responsable de la MVAD de la Chambre d'Agriculture de la Réunion.

épandage.

Valeur fertilisante... et valeur amendement ?

La Table 2 montre les résultats de l'analyse de la valeur fertilisante de la boue correspondant aux Figures 1 et 2.

pH	7.0	Phosphore total (P)	1.6%
Carbone organique (C)	36 %	Potassium total (K)	0.3%
Azote organique (N)	6%	Calcium total (Ca)	5%
C/N	6	Magnésium total (Mg)	1.5%
N - NH ₄	3 g / kg		

Table 2 : Analyse chimique de la boue correspondant aux Figures 1 et 2. Les valeurs sont données par rapport à la matière sèche.

D'après les valeurs de la Table 2 et en considérant une dose annuelle moyenne de 3 tonnes MS/ha, les doses de NPK apportées seraient d'environ 180 kg N/ha, 50 kg P/ha et 10 kg K/ha. Les boues présentent notamment un intérêt agronomique vis-à-vis de l'azote et du phosphore. En ce qui concerne le potassium, il est évident qu'une fertilisation complémentaire s'impose surtout dans les sols ferrallitiques ou bruns à halloysites. **En règle générale, une dose de 4-5 tonnes MS/ha/an suffirait à satisfaire les besoins en azote et en phosphore des cultures. Cela induirait un apport un an sur deux afin de ne pas dépasser la dose maximale, et avec une fertilisation minérale de l'ordre de 50 kg K/ha l'année de l'apport des boues.**

A remarquer que les valeurs relativement élevées de calcium sont dues au chaulage partiel des boues de Jarry, ce qui n'est pas le cas de toutes les boues produites en Guadeloupe. En tout cas, l'apport de calcium est important notamment dans les sols ferrallitiques parce qu'il induit généralement une légère augmentation du pH, ce qui n'est pas à négliger si l'apport de boues n'est pas accompagné du chaulage du sol. Nous reviendrons sur ce point.

Les boues de Guadeloupe présentent toujours un rapport C/N inférieur à 8, ce qui

indique un produit rapidement biodégradable. Cela a été démontré lors des expérimentations conduites en laboratoire et au champ à l'INRA Antilles-Guyane (Sierra et al., 2001, voir Annexe). Ainsi, 90% d'une boue appliquée sur un sol ferrallitique ont été décomposés dans les huit mois qui ont suivi l'application (dose équivalant à 600 kg N/ha). La vitesse de biodégradation dépend fortement des conditions climatiques de l'année, notamment les pluies et les températures du sol. Le schéma de dégradation des boues dans un sol tropical acide est présenté dans la Figure 3.

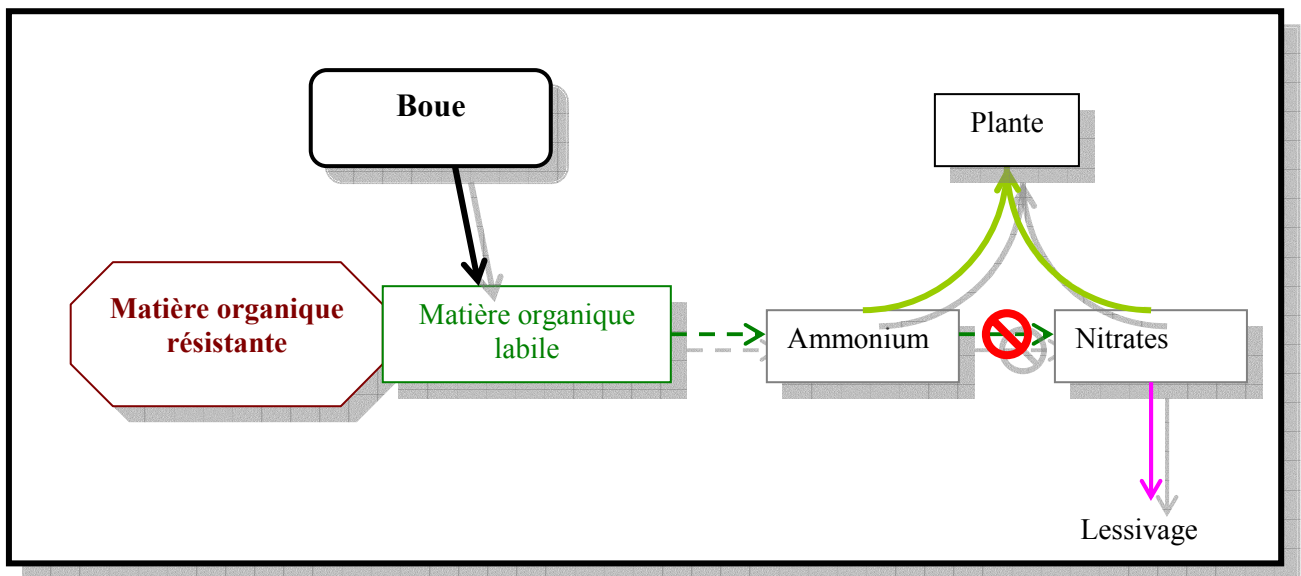


Figure 3 : Dégradation des boues dans un sol acide des Antilles

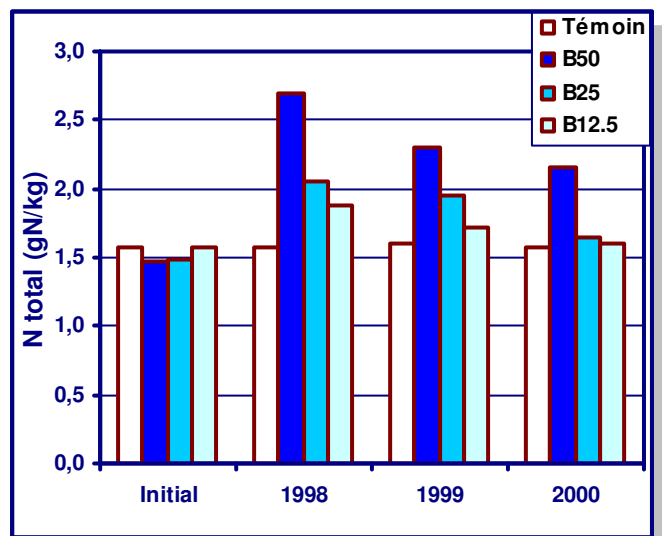
A cause de leurs caractéristiques chimiques, les boues rentrent dans le compartiment le plus labile de la matière organique du sol. Sa décomposition produit de l'ammonium et des nitrates (la nitrification est partiellement bloquée à cause du pH du sol), les deux formes pouvant être absorbées par la plante ; le lessivage ne concerne que les nitrates. Comme nous le montrerons par la suite, le rapport entre la quantité d'ammonium et de nitrates dépend des caractéristiques du sol, du climat, mais aussi des modalités de l'apport.

En raison de la rapidité de leur décomposition en milieu tropical, les boues, en application directe, doivent être perçues plutôt comme un apport de nutriments (engrais organique) et non comme un amendement destiné à changer durablement la teneur en matière organique du sol. Evidemment, le compostage des boues, en augmentant leur

stabilité, peut faire varier la durée de résidence des boues dans le sol, mais sans changer le concept d'engrais organique à libération plus lente qu'un engrais minéral.

La Figure 4 montre les résultats d'une expérimentation au champ réalisée sur un sol ferrallitique à l'INRA Antilles-Guyane. Il peut être observé que, deux ans après l'application, seulement la parcelle qui a reçu la dose la plus élevée a une teneur en azote total significativement supérieure à celle de la parcelle témoin sans apport. A remarquer que les doses ont été choisies à des fins expérimentales.

Figure 4 : Evolution de la teneur en azote total du sol en fonction de la dose de boue apportée.
Initial : un mois avant l'apport en mars 1998.
B12.5, B25 et B50 correspondent à trois doses de boues exprimées en tonnes MS/ha



Un résultat à remarquer est que, dans toutes les expérimentations au champ menées à l'INRA, nous n'avons jamais constaté une diminution même temporaire du pH, mais parfois une légère augmentation pour les doses les plus élevées. Deux facteurs au moins en sont la cause : i- nous avons toujours utilisé les boues produites à Jarry lesquelles, comme cité ci-dessus, contiennent des teneurs importantes en calcium ; ii- les pluies abondantes dans la région humide de la Guadeloupe, où les expérimentations ont été réalisées, fonctionnent comme un «effet de chasse» de l'acidité produite lors de la décomposition des boues.

Finalement, il est intéressant de préciser que, bien que les boues n'affectent pas durablement la teneur en matière organique des sols, leur effet temporaire peut être un facteur

non négligeable dans le cas des sols excessivement travaillés (p.ex. cultures maraîchères en Basse-Terre), notamment dans le cas des boues apportant des quantités importantes de calcium.

Effet du mode d'épandage

Le lessivage des nitrates, à cause des fortes pluies, est la raison principale de la faible efficacité des apports azotés (organiques ou minéraux) en milieu tropical humide. Lors des expérimentations en conditions contrôlées de laboratoire, nous avons constaté que les faibles teneurs en eau et les fortes températures du sol peuvent inhiber partiellement ou totalement la nitrification. **Cette caractéristique biologique du sol peut être utilisée afin de réduire le lessivage de nitrates et les pertes de l'azote disponible libéré par les boues.** La Figure 5 présente les résultats d'une expérimentation au champ réalisée par l'INRA sur un sol ferrallitique de Guadeloupe (Sierra et al., 2001, voir Annexe).

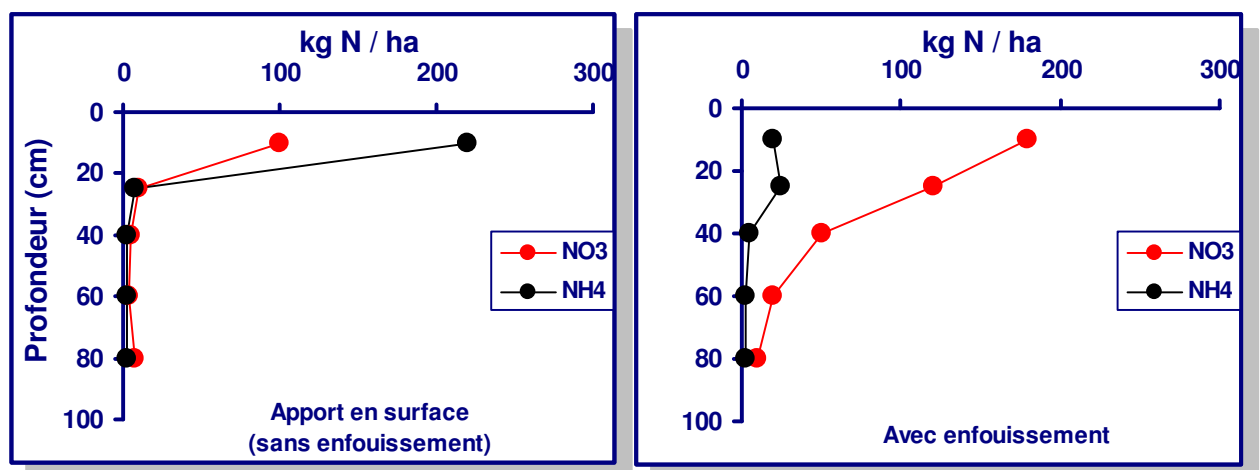


Figure 5 : Concentration d'azote minéral 40 jours après l'apport d'une boue à une dose équivalente à 600 kg N / ha.

Tandis que l'apport sans enfouissement résulte en une plus grande concentration d'ammonium, notamment dans les premiers centimètres de sol, l'application suivie d'un

enfouissement libère des quantités de nitrates plus importantes. Dans le premier cas, la boue subit les conséquences des alternances de dessèchement-réhumectation et des fortes températures de surface, ce qui a pour conséquence de réduire l'activité nitrifiante. L'enfouissement place les boues dans des conditions plus favorables à la nitrification et donc favorise le lessivage des nitrates, p.ex. une grande partie de l'azote libéré par les boues se trouve au-dessous de 40 cm. L'application en surface ne se traduit pas par des pertes par volatilisation compte tenu que l'acidité du sol ne favorise pas ce processus. En fait, nous avons mesuré seulement 3 kg N/ha de volatilisation pour un apport de 600 kg N/ha.

Compte tenu des restrictions concernant l'enfouissement des boues non hygiénisées, la pratique de l'apport en surface est possible seulement pour les boues hygiénisées ou compostées. Malgré la plus grande efficacité de l'application sans enfouissement, nous sommes tout à fait conscients de la difficulté à transmettre cette pratique chez les agriculteurs. Cela est d'autant plus difficile que l'agriculteur reste convaincu de la valeur d'amendement organique des boues, et donc de la nécessité d'un grand contact sol-boue lors de l'épandage.

Effet sur le rendement des cultures

Des essais au champ et chez l'agriculteur ont été menés par l'INRA Antilles-Guyane depuis le début des années 1980. Les cultures testées furent la canne, la banane, le maïs, l'igname, la tomate, et l'aubergine. **En général, à des doses équivalentes de NP (dose de boue \approx 10 tonnes MS/ha), il n'y a pas de différences significatives de rendement entre une application de boue de STEP et une d'engrais minéraux. Quelques exceptions à cette règle générale ont été constatées pour des années ou des saisons très pluvieuses, avec un rendement plus élevé pour l'apport des boues.** Cela est lié à une meilleure conservation de l'azote disponible dans les sols ; p.e. lessivage moins important à cause d'une libération plus lente de l'azote par rapport aux engrais minéraux.

Des expérimentations réalisées par le laboratoire de Pathologie Végétale de l'INRA

(Prior et Beramis, 1990, voir Annexe) ont montré des résultats positifs de l'apport d'une boue de STEP (10 tonnes MS/ha) sur le contrôle du flétrissement bactérien (*Ralstonia solanacearum*) chez la tomate. Pourtant, il semblerait que ce résultat soit associé à l'effet de l'azote apporté sur la physiologie de la plante, et non à une influence directe des boues sur la population de la bactérie pathogène dans le sol. **Malgré cela, ces résultats ouvrent des perspectives intéressantes concernant la valorisation des boues en tête de rotation sur des cultures sensibles au flétrissement, et l'utilisation du reliquat nutritionnel en deuxième année avec des cultures maraîchères non sensibles ; p.ex. 2 cycles de tomate en première année (carême et hivernage), igname en deuxième année avec complément d'engrais.**

La pratique de l'agriculteur guadeloupéen

Il faut d'abord distinguer deux types d'utilisateurs des boues. Ceux qui ont une formation agricole ou un niveau de professionnalisation important, et ceux qui développent l'agriculture comme une activité secondaire dans le cadre de leur pluriactivité. C'est évidemment dans le premier groupe que l'on retrouve le plus d'information sur l'utilisation des boues et, même si à cause du manque de suivi agronomique ils ne respectent pas la réglementation, l'on observe le plus de technicité lors de l'épandage.

Néanmoins, et indépendamment de cette typologie, les boues de STEP sont toujours perçues comme un amendement destiné à enrichir le sol en matière organique. De ce fait, les doses d'engrais utilisées ne tiennent jamais compte de l'apport de boues, et les apports des uns et des autres sont raisonnés séparément. Dans ce sens, il reste encore un grand travail de transfert et de vulgarisation à réaliser avec les organismes de développement, ce qui serait nettement favorisé par la mise en place des plans d'épandage homologués.

La superficie moyenne des exploitations des agriculteurs utilisant les boues est de 3-4 ha et, comme il a été discuté ci-dessus, elles sont épandues majoritairement sur cultures maraîchères et vivrières, parfois sur culture de banane. Les superficies d'épandage varient

entre 0.2 et 3 ha, et le chaulage est pratiqué tous les 5-6 ans. Les boues sont toujours apportées en application localisée, dans le trou de plantation dans le cas de la banane, au-dessous de la ligne de plantation dans le cas de l'igname et des cultures maraîchères. **La durée de stockage des boues varie entre 1 jour et 18 mois, et a lieu en tête de parcelle.** Les longues périodes de stockage sont parfois justifiées «pour bénéficier de l'effet d'hygiénisation». L'épandage se réalise généralement en période de pluies compte tenu qu'il est calé sur la date de plantation. La fréquence des épandages est mieux définie en culture bananière du fait de la monoculture et du renouvellement de la culture tous les 3-4 ans. Elle est plus difficile à définir pour les autres cultures. **A remarquer que les terrains sont souvent en pente, exposés au ruissellement des eaux, particulièrement en zone de production de banane où le sol est nu sous les plantes.** Comme il a été mentionné auparavant, les doses d'application varient autour de 10 tonnes MS/ha/apport.

Les parcelles d'épandage sont généralement éloignées des habitations, en revanche elles sont souvent situées au voisinage des zones humides (rivière, marécage, ruisseau). D'après les exploitants, des précautions d'emploi sont couramment prises au moment de l'épandage, en évitant le contact direct avec la boue (p. ex. port de bottes et gants). **Tous les agriculteurs que nous avons consultés sont satisfaits des améliorations apportées à court terme sur les cultures. Certains déplorent le développement des mauvaises herbes après épandage, par exemple l'épinard sauvage. A plusieurs reprises nous avons eu l'occasion de discuter sur le compostage des boues, souvent à l'initiative des agriculteurs, et il faut remarquer le fort intérêt qui existe pour ce produit, notamment chez les jeunes agriculteurs avec une sensibilité environnementale plus développée.**

5- Contraintes réglementaires dans le contexte antillais

D'après notre expérience, les contraintes réglementaires qui limiteraient le plus l'épandage des boues dans le contexte antillais sont : l'acidité et la teneur en certains métaux dans les sols, le délai apport-récolte, et la distance d'isolement. Je tâcherai ici de commenter ces contraintes et d'apporter quelques pistes afin de les surmonter. En fait, nous verrons que les deux dernières sont directement associées au faible conditionnement actuel des boues.

Evidemment, la contrainte liée à l'acidité ne s'applique pas aux vertisols antillais (pH > 7), mais sur ces sols le recyclage des boues est moins intéressant du point de vue agronomique. Cela est dû à la richesse minérale et organique de ces sols, et à la bonne efficacité des engrais minéraux à cause de leur faible lessivage.

Acidité et teneurs en métaux dans les sols

D'après l'Arrêté du 8 janvier 1998, les boues ne doivent pas être épandues sur des sols dont le pH est inférieur à 6 sauf si : i- le pH est supérieur à 5 **et** ii- les boues ont reçu un traitement à la chaux, **et** iii- le flux cumulé maximum des éléments traces métalliques apportés aux sols est inférieur aux valeurs seuils. Dans la plupart des cas de sols ferrallitiques antillais, où le pH est compris entre 4.5 et 5.5, la limitation principale correspond à la deuxième condition : il n'y a pas de traitement à la chaux dans les stations car il est excessivement cher compte tenu que le produit est d'importation. **Le traitement avec du calcaire, disponible en Guadeloupe et en moindre mesure en Martinique, n'est pas autorisé à cause d'un effet hygiénisant beaucoup plus faible.**

Dans la situation actuelle, presque aucun sol ferrallitique ni andosol des Antilles ne pourrait être l'objet d'un épandage des boues, même après chaulage, car le pH est généralement amené à des valeurs comprises entre 5.5 et 5.8.

Du point de vue agronomique, le chaulage doit être pratiqué afin d'atteindre un pH d'environ 5.5. Avec ce niveau d'acidité on assure une toxicité aluminique négligeable et une fréquence d'apport du calcaire convenable (tous les 5-6 ans). Atteindre un pH de 6 signifierait un gaspillage du calcaire en plus des problèmes environnementaux et d'aménagement du territoire dans les zones d'extraction (Grande-Terre en Guadeloupe).

Compte tenu des connaissances acquises à l'INRA Antilles-Guyane concernant l'effet du métabolisme des boues dans les sols (voir ci-dessus), **notre position est que le seuil de pH peut être diminué de 6 à 5.2-5.3 tout en assurant un suivi régulier de l'acidité et les teneurs en métaux des parcelles traitées, et une dose d'application qui ne dépasse pas les 5 tonnes MS par apport** ; p.ex. une application tous les 2 ans. Ce seuil de pH a été choisi parce qu'il correspond à la valeur de pH à partir de laquelle nous avons toujours trouvé des concentrations nulles d'aluminium soluble dans les sols acides de la Guadeloupe. Ainsi, cette valeur offre une marge opérationnelle en cas d'acidification, avant de retrouver des valeurs d'aluminium qui puissent affecter le développement des plantes (>1 meq $Al^{3+}/100$ g sol).

Cette modification nécessite évidemment une dérogation accordée par le Préfet dans le cadre de l'homologation d'un plan d'épandage.

Dans le cas des teneurs en métaux dans les sols, la réglementation prévoit que des dérogations peuvent aussi être accordées dans le cas de dépassement des seuils établis, et cela sur la base d'études montrant que les éléments traces métalliques des sols ne sont ni mobiles ni biodisponibles. **Pourtant, nous pensons que compte tenu qu'à priori la superficie épandable est largement supérieure aux besoins, une demande de dérogation à ce sujet n'est pas pertinente. En effet, et au contraire de l'acidité, la superficie affectée par des teneurs en métaux supérieures aux seuils réglementaires, même si elle se révélerait plus importante que prévue, ne devrait pas être une limitation très sévère au niveau de l'ensemble de nos régions.** En plus, une telle dérogation nécessiterait des études préalables très détaillées et lourdes à mettre en pratique sur des sols qui ont des minéralogies différentes et variables sur des distances très courtes.

Délai apport-récolte et distance d'isolement

La réglementation prévoit que pour les produits maraîchers en contact avec les sols ou susceptibles d'être consommés à l'état cru, le délai entre l'apport des boues et la récolte est de 18 mois pour les boues non hygiénisées et de 10 mois pour les boues hygiénisées. **Il est donc clair que la réglementation n'interdit pas l'apport des boues sur des plantes à tubercules comme l'igname, mais qu'elle stipule certaines conditions pour l'épandage.**

Néanmoins, dans la situation actuelle où les boues produites dans les Antilles Françaises ne sont pas hygiénisées, il est évident qu'un apport sur une culture comme l'igname n'aurait pas d'intérêt agronomique. En effet, compte tenu que le cycle de l'igname est d'environ 9 mois, l'apport devrait être fait 9 mois avant la plantation, avec un risque de perte importante d'azote par lessivage. La pratique serait pertinente seulement dans le cas des boues hygiénisées ou compostées car l'apport serait simultané à la plantation.

Un raisonnement similaire peut être fait en ce qui concerne la distance d'isolement. Par exemple, la distance minimale entre la parcelle d'épandage et les immeubles habités doit être de 100 m dans le cas des boues non hygiénisées, cette disposition est sans objet dans le cas des boues hygiénisées. Une distance de 100 m dans le cas de la Martinique et de la Guadeloupe, avec une densité d'habitation très forte, implique une réduction considérable de la superficie épandable.

Ces deux exemples montrent la pertinence du choix réalisé en Martinique concernant la mise en place d'une filière de valorisation agronomique basée sur le compostage des boues.

6- Conclusion

Comparée aux autres procédés d'élimination des boues, la filière de valorisation par épandage agricole s'avère toujours la plus économique. De plus, dans le cas de nos îles, elle répond à un réel besoin nutritionnel des sols, en particulier des sols ferrallitiques. Pourtant, à cause des conditions pédoclimatiques du milieu tropical, les boues doivent être perçues comme un engrais organique et non comme un amendement destiné à faire varier le statut organique des sols.

Les contraintes qui peuvent limiter le recyclage des boues en agriculture ne sont pas associées à leur qualité, laquelle est très convenable du point de vue de leur valeur fertilisante et de leur contenu en micropolluants, mais à des facteurs extra agronomiques, au faible conditionnement actuel des boues et à certaines caractéristiques des sols, notamment leur acidité. La plupart de ces contraintes peuvent être surmontées dans le cadre d'un plan d'épandage homologué, et de la mise en place d'une filière de valorisation basée sur la production de boues hygiénisées, tel que prévu dans le cas de la Martinique.

Nous insistons finalement sur l'importance de la mise en route des plans d'épandage officiels, non seulement afin d'informer et d'assurer le suivi des agriculteurs, mais aussi pour créer un cadre qui permette de revisiter et de clarifier les réticences des opérateurs agro-alimentaires. Ces réticences, explicites ou implicites, sont actuellement la plus grande limitation à la valorisation agricole des boues de STEP.

Annexe.

Références bibliographiques sur les boues de STEP

1) Travaux réalisés à l'INRA Antilles-Guyane⁸

Travaux scientifiques

- Brossard M, Mench M, Clairon M, Laurent JY 1991 Evolution à court terme de formes de phosphore d'un sol ferrallitique après apports d'une boue urbaine. *Agronomie* 11, 699-706.
- Clairon M, Degras L, Hountondji A, Faderin B 1988 Valorisation des boues de STEP en agriculture. XXIV Congrès de la CFCS. pp. 107-115.
- Demea R 1999 Impact environnemental de la valorisation des boues résiduelles urbaines sur les sols ferrallitiques de la Guadeloupe. Mémoire de Master of Science, Génie Industriel de l'Environnement, Université de Coventry. 100 p.
- Fontaine S 1999 Métabolisme d'une boue de STEP dans un sol ferrallitique de la Guadeloupe. Mémoire de DEA, Paris VI-INAPG-ENS. 85 p.
- Mench M, Clairon M 1991 Observations préliminaires sur l'évolution de quelques propriétés d'un sol ferrallitique de Guadeloupe après un apport de boues urbaines. *Agronomie* 11, 283-291.
- Prior P, Bérarnis M 1990 Induction de la résistance au flétrissement bactérien dû à *Pseudomonas solanacearum* chez un cultivar de tomate réputé sensible. *Agronomie* 10, 391-401.
- Sierra J, Fontaine S, Desfontaines L 2001 Factors controlling N mineralization, nitrification, and nitrogen losses in an oxisol amended with sewage sludge. *Australian Journal of Soil Research* 39, 519-534.

Travaux de vulgarisation

- Clairon M, Cabidoche YM 1993 Note sur l'intérêt agronomique des boues résiduelles urbaines de la station d'épuration de Jarry. INRA Antilles-Guyane. 10 p.
- Sierra J 2001 Décomposition des boues résiduelles dans les sols ferrallitiques de la Basse-Terre. Conférence sur la valorisation agricole des boues en Guadeloupe, organisée par la Maison Rurale de Moule. pp. 8-11.
- Sierra J, Casalan P 2000 Valorisation des boues résiduelles et des déchets agricoles. Séminaire sur les Déchets Ménagers et Assimilés, organisé par l'ADEME Guadeloupe. pp. 49-52.
- Sierra J, Fontaine S 1999 Faut-il avoir peur des métaux lourds des boues résiduelles ? *Agir, le magazine de la Région Guadeloupe* 13, 31-32.

2) Autres

Arrêté du 8 janvier 1998 : <http://admi.net/jo/1998/01563.html>

Caraïbes Environnement 2000 Valorisation des boues de stations d'épuration biologique en Guadeloupe continentale. Rapport final de l'étude réalisée à la demande de l'ADEME Guadeloupe. 72 p.

Collection ADEME « Valorisation agricole des boues d'épuration » :

* Les micropolluants organiques dans les boues résiduelles des stations d'épuration urbaines ;

⁸ Les publications produites à l'INRA sont disponibles au Centre de Documentation de l'INRA Antilles-Guyane, dont la responsable est Mme Marie-Laure Abinne, abinne@antilles.inra.fr

- * Les micropolluants métalliques dans les boues résiduaires des stations d'épuration urbaines ;
 - * Les germes pathogènes dans les boues résiduaires urbaines ;
 - * Plan d'épandage, suivi des épandages et étude préalable de faisabilité d'une filière d'épandage ;
- et autres.