

Guide de la fertilisation organique à La Réunion



**Pierre-François Chabalier
Virginie van de Kerchove
Hervé Saint Macary**

Préface

L'agriculture est un secteur clé de l'économie réunionnaise. Avec plus de 10 000 actifs (4 % de la population active de l'île) et une surface cultivée de 45 000 hectares, les différentes productions agricoles de l'île sont en constante progression.

Cette activité croissante génère de plus en plus de déchets que doit gérer lui-même le monde agricole, afin de préserver l'environnement.

Cette agriculture joue déjà un rôle important pour le recyclage de ses effluents d'élevage, mais elle doit également supporter une forte demande liée au recyclage de déchets urbains et industriels, qui augmentent tous les ans, au rythme de la croissance de la population. La gestion, l'utilisation et la valorisation de tous ces produits organiques par l'agriculture doit se faire d'une façon raisonnée, dans le strict respect des normes, afin de garantir la qualité des sols et de l'eau, la qualité de l'environnement, et la qualité des produits mis sur le marché.

Dans le cadre de ses missions de service public, la Chambre d'Agriculture de La Réunion apporte depuis plusieurs années une contribution marquée à l'élaboration de pratiques agricoles respectueuses de l'environnement et adaptées aux conditions locales, en mobilisant des moyens conséquents. La création de la Mission de valorisation agricole des déchets (MVAD), grâce aux financements de l'Europe, de l'ADEME, du Conseil général et du Conseil régional, est un de ces moyens.

Le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) a axé ses programmes de recherche vers la mise au point d'itinéraires techniques de production dans le cadre d'une agriculture économe, durable, et garante de l'environnement. Le projet Risque environnemental, gestion agronomique et recyclage des déchets (REGARD) a été créé en 2002. Un de ses objectifs est d'identifier les risques environnementaux, notamment ceux concernant le recyclage des matières organiques en agriculture.

La Chambre d'Agriculture de La Réunion et le CIRAD travaillent en partenariat depuis plusieurs années pour mettre au point une fertilisation organique raisonnée des cultures. Il s'agit d'aider aussi bien les producteurs de matières organiques et de déchets (agriculteurs, municipalités, industries agro-alimentaires), pour qu'ils fournissent des matières organiques valorisables, que les utilisateurs, pour qu'ils pratiquent une fertilisation raisonnée avec ces matières organiques.

La MVAD et le CIRAD contribuent ainsi à l'acquisition de références technico-économiques en milieu tropical, difficiles à trouver ailleurs. Ce partenariat fructueux entre recherche et développement arrive à un point où il paraît utile de valoriser les acquis pour la promotion d'une agriculture efficace, durable et respectueuse de l'environnement.

Le CIRAD et la Chambre d'Agriculture éditent ce Guide de la fertilisation organique à La Réunion, destiné au monde agricole de La Réunion, et même à d'autres régions tropicales.

Le Directeur Régional du CIRAD
Jean-Pierre GAY



Le Président de la Chambre d'Agriculture
Guy DERAND

Champs de cannes.
© V. van de Kerchove

Auteurs

Pierre-François Chabalier, chercheur au Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), centre de La Réunion

Virginie van de Kerchove, Responsable de la Mission de valorisation agricole des déchets (MVAD) de la Chambre d'Agriculture de La Réunion

Hervé Saint Macary, chef d'unité de recherche au Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), centre de La Réunion

Edition et mise en page

Cécile Fovet-Rabot, éditrice scientifique au Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), centre de Montpellier

David Pradels (OTCHOZ - Graphisme & Multimédia) <http://www.otchoz.com>), création graphique, conception maquette et mise en page

Membres du Comité éditorial

Guy Derand, président de la Chambre d'Agriculture de La Réunion, représenté par :

- **Bertrand Caruel**, élu de la Chambre d'Agriculture et agriculteur
- **Virginie van de Kerchove**, responsable de la Mission de valorisation agricole des déchets (MVAD)
- **David Carpaye**, chargé de mission MVAD
- **David Marianne et Nicolas Payet**, chargés de mission MVAD
- **Gilbert Rossolin**, responsable de la Cellule environnement
- **Pierre Tilma**, responsable de la Cellule maraîchage
- **Christophe Gossard**, responsable de la Cellule canne à sucre
- **Didier Vincenot**, responsable de la Cellule arboriculture
- **Ismaël Selin**, technicien de l'Etablissement départemental de l'élevage (EDE)
- **Isabelle Checkouri**, responsable de service à la Chambre d'Agriculture

Gabriel de Taffin, puis **Jean-Pierre Gay**, directeurs régionaux du CIRAD de La Réunion, représenté par **Hervé Saint Macary et Pierre-François Chabali**er

Bruno Renard, délégué régional de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), représenté par **Anne Fontaine**

Nassimah Dindar, présidente du Conseil général de La Réunion, représentée par **Michèle Massari et Faïçal Badat**

Vincent Le Dolley, puis **Michel Sinoir**, directeurs de la Direction de l'agriculture et de la forêt (DAF), représentés par **Isabelle Bracco-Fabulet**

Frédéric Fontaine, président de l'Union des associations foncières pastorales (UAFP), représenté par **Patrick Thomas**

Paul Vergès, président du Conseil régional de La Réunion, représenté par **Fracnina Félicité**

Jean-Claude Tatard, directeur de l'Association pour la promotion rurale (APR), représenté par **Alain Hébert**

Alain Sabine, animateur au Forum de l'agriculture raisonnée respectueuse de l'environnement de La Réunion (FARRE Réunion), représenté par **Eric Blanchard**

Jean-Pierre Avril, président de la Fédération réunionnaise des coopératives agricoles (FRCA), représenté par **Bruno de Laburthe**

Philippe Ferrard, directeur de l'entreprise AGRINOV

Pierre Tieberghien, directeur de la Société industrielle engrais Réunion (SIER Engrais)

Contributeurs et électeurs

Alain K'Bidi, technicien machinisme à la Chambre d'Agriculture de La Réunion

Gaëtan Gopal, stagiaire à la Mission de valorisation agricole des déchets (MVAD) de la Chambre d'Agriculture de La Réunion en 2003, pour le DESS Sciences et gestion de l'environnement tropical (SGET) de l'Université de La Réunion

Alexandre Nougadère, animateur au Forum de l'agriculture raisonnée respectueuse de l'environnement de La Réunion (FARRE Réunion)

Patrick Garcia, responsable du service protection de l'environnement à la Direction des services vétérinaires (DSV)

Fabienne Barthelemy, responsable du service filière porcine et avicole à la Direction des services vétérinaires (DSV)

Vladimir Barbet Massin, technicien machinisme à l'Union des associations foncières pastorales (UAFP)

Jean-Michel Médoc, chercheur au Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), centre de La Réunion

Pierre Havard, responsable de la station des Cormiers de la Chambre d'Agriculture d'Ille-et-Vilaine

Photographes

Virginie van de Kerchove, responsable de la Mission de valorisation agricole des déchets (MVAD) à la Chambre d'Agriculture de La Réunion

Hervé Cailleaux, responsable Communication, Chambre d'Agriculture de La Réunion

Hervé Saint Macary, Pierre-François Chabalier, **Frédéric Feder, Emmanuel Doelsch, Jean-Michel Médoc, Hugues Lombard**, chercheurs et techniciens au Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), centre de La Réunion

Jacques Rochas, directeur de l'Insectarium, Le Port

Alexandre Nougadère, animateur au Forum de l'agriculture raisonnée respectueuse de l'environnement de La Réunion (FARRE Réunion)

Eric Ferrere, directeur de la Société agricole des aviculteurs de La Réunion (SCAAR)

François-Louis Athenas, photographe pour le Centre d'études et de documentation du sucre (CEDUS)

Sommaire

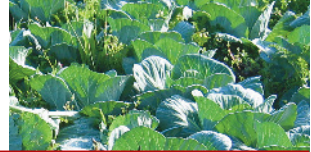
introduction	9
Chapitre 1- La culture	11
Croissance et nutrition de la plante	12
<i>Absorption des éléments minéraux par les racines</i>	12
<i>Éléments chimiques présents dans la plante</i>	15
<i>Carences et toxicités</i>	17
Principales cultures de La Réunion	18
Ce qu'il faut retenir du chapitre 1	20
Chapitre 2 - Le sol, milieu vivant et complexe	21
Spécificités du sol	22
<i>Une mince pellicule vivante</i>	22
<i>Une lente évolution</i>	22
Sols de La Réunion	24
<i>Six types de sol</i>	24
<i>Présence naturelle d'éléments traces métalliques (ETM)</i>	26
<i>Fertilité des sols de La Réunion</i>	27
Fonctions du sol	28
<i>Régulation des flux de gaz et d'eau</i>	28
<i>Réservoir de biodiversité</i>	29
<i>Transformation, transfert, stockage</i>	29
Evolution des sols cultivés à La Réunion	32
Ce qu'il faut retenir du chapitre 2	34
Chapitre 3 - La fraction biologique du sol	35
Organismes vivants du sol	36
<i>Biomasse microbienne</i>	36
<i>Champignons du sol</i>	37
<i>Biomasse végétale</i>	37
<i>Biomasse animale</i>	38
Transformation de la matière organique dans le sol	41
<i>Minéralisation</i>	41
<i>Humification</i>	44
Rôles de la matière organique du sol	46
<i>Source de carbone</i>	46
<i>Alimentation des plantes</i>	46
<i>Structure des sols</i>	47
Matière organique du sol et cycle de l'azote	48
Ce qu'il faut retenir du chapitre 3	52
Chapitre 4 - Analyses agronomiques	53
L'analyse de la matière organique du sol	54
L'analyse des matières organiques exogènes	55



Choux à Piton Hyacinthe.
© V. van de Kerchove

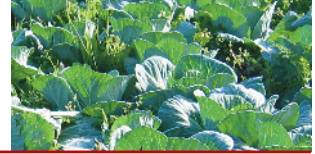
Sommaire

Résultats du laboratoire d'analyse et interprétation	58
Analyses rapides dans l'exploitation	59
Ce qu'il faut retenir du chapitre 4	60
Chapitre 5 - Les matières organiques produites à la réunion	61
Caractéristiques agronomiques des matières organiques	62
Origine des matières organiques utilisables en agriculture	69
<i>Matières organiques issues de l'élevage</i>	69
<i>Matières d'origine urbaine</i>	70
<i>Matières d'origine agro-industrielle</i>	71
Fertilisation organique des cultures	72
<i>Amendements organiques, engrais organiques, engrais organo-minéraux</i>	73
<i>Effet d'amendement organique</i>	74
<i>Effet fertilisant des matières organiques sur les cultures</i>	79
Modification du pH du sol par les apports organiques	84
Critères de choix des matières organiques	86
Ce qu'il faut retenir du chapitre 5	88
Chapitre 6 - Risques sanitaires et pollution de l'environnement	89
Risques sanitaires	90
<i>Risques pour les populations humaines</i>	90
<i>Risques pour les animaux</i>	91
<i>Les gestes de l'agriculteur pour réduire les risques sanitaires</i>	92
Pollution de l'environnement	93
<i>Qualité des sols et des cultures</i>	94
<i>Qualité de l'eau</i>	96
<i>Qualité de l'air</i>	97
<i>Les gestes de l'agriculteur pour réduire les risques de pollution</i>	100
Ce qu'il faut retenir du chapitre 6	102
Chapitre 7 - Réglementation sur l'identification des matières organiques	103
Deux statuts : déchet et matière transformée	104
Utilisation des déchets	105
<i>Qu'est-ce qu'un déchet ?</i>	105
<i>Le cas particulier des déjections animales</i>	105
<i>Les boues de station d'épuration</i>	106
Valorisation de déchets en matières fertilisantes ou en supports de culture	107
<i>Matières fertilisantes (MF)</i>	107
<i>Supports de culture (SC)</i>	108
Normalisation, homologation, autorisation provisoire de vente APV ou d'importation API	109
<i>Normalisation</i>	109
<i>Homologation</i>	109



APV et API	109
Ce qu'il faut retenir du chapitre 7	110
Chapitre 8 - Réglementation sur les épandages en agriculture	111
Grands principes	112
Premier cas : valorisation des déchets	112
Second cas : valorisation des produits transformés en matières fertilisantes ou en supports de culture	113
Réglementation des élevages et plans d'épandage	114
Distances minimales à respecter pour les épandages	116
Contraintes par rapport aux habitations, zones de loisirs, établissements recevant du public ..	116
Distances à respecter pour les épandages d'effluents issus d'élevages ICPE	116
Apports azotés maximaux autorisés	118
Stockage de matières organiques sur la parcelle	118
Contraintes pour l'épandage sur les sols en pente	119
Réglementation sur les ETM pour les sols aptes à recevoir un épandage de boue	120
Contraintes liées aux périodes d'épandage	120
Réglementation pour la fertilisation en agriculture biologique	122
Principaux textes législatifs cités dans les chapitres 7 et 8	122
Textes de base	122
Déclaration	123
Autorisation	123
Ce qu'il faut retenir du chapitre 8	124
Chapitre 9 - Le matériel d'épandage et d'enfouissement	125
Qualité d'épandage des matières organiques	126
Respect de la dose en épandage de matières liquides	126
Respect de la dose en épandage de matières solides ou pâteuses	126
Régularité d'épandage	127
Contraintes en fonction des possibilités d'épandage du matériel	128
Epandage des matières organiques liquides	129
Matières organiques liquides	129
Brassage et homogénéisation des lisiers stockés	129
Matériel d'épandage des lisiers et autres matières liquides	130
L'épandage sans tonne à lisier	132
Comparaison des matériels d'épandage de matières liquides	134
Epandage des matières organiques pâteuses	135
Epandage des matières organiques solides	136
Types de matière organique solide	136
Matériel d'épandage des fumiers et autres matières solides	137
Comparaison des matériels d'épandage de matières solides	141
Autres types de matériel	142
Matériel d'enfouissement des matières organiques	142
Matériel de compostage	143

Sommaire



Ce qu'il faut retenir du chapitre 9	144
Fiches techniques	145
Calcul de la fertilisation organique	147
Cultures	157
Canne à sucre	158
Cultures fruitières et espaces verts	170
Cultures maraîchères	177
Cultures fourragères	183
Prélèvements sur le terrain	191
Prélever un échantillon de sol	192
Prélever des matières organiques	196
Matières organiques	199
Mode d'emploi des fiches Matières organiques	200
Fumier de bovin	204
Fumier de caprin	207
Fumier de cheval	210
Fumier de lapin	213
Fumier de mouton	216
Fumier de poulet de chair	219
Fumier de poule pondeuse	222
Fiente de poule pondeuse	225
Lisier de bovin	228
Lisier de lapin	231
Lisier de porc	234
Lisier de poule pondeuse	238
Compost de fumier de bovin sur support cellulosique	241
Compost de fumier de poulet de chair	244
Compost de fumier de poule pondeuse	247
Compost de fumier de poulet de chair et de lisier de porc	250
Compost de lisier de porc et de bagasse	253
Compost de géranium	256
Compost de déchets verts	259
Compost de déchets verts et de boue d'épuration	262
Boue d'épuration liquide	265
Boue d'épuration pâteuse	268
Boue d'épuration solide-sèche	271
Boue d'épuration solide	274
Écume fraîche de sucrerie	277
Vinasse de distillerie	280
Bibliographie	285
Glossaire	291
Liste des sigles	301



Vanille sous serre.
© P.-F. Chabalier

Pourquoi éditer le Guide de la fertilisation organique à La Réunion ?

Un Guide appliqué à La Réunion

A La Réunion, depuis très longtemps, agriculteurs et éleveurs épandent des matières organiques dans les cultures. Aujourd'hui, les matières organiques sont apportées sur certaines cultures très sensibles à la qualité des sols, comme le maraîchage. La plupart des effluents d'élevage, dont les quantités produites augmentent, sont épandus dans les champs de canne à sucre ou de fourrages, sans que ces apports obéissent à un véritable raisonnement agronomique et environnemental. Enfin, il est de plus en plus demandé aux agriculteurs de valoriser les matières organiques d'origine urbaine ou industrielle.

Le *Guide de la fertilisation organique à La Réunion* fait le point de nos connaissances sur les qualités des matières organiques produites à La Réunion ainsi que sur les aspects pratiques de l'épandage et de la réglementation. Ce guide est un outil qui permet de raisonner les apports organiques dans les différents systèmes de culture de l'île. Mais les préconisations d'utilisation doivent être adaptées au cas par cas, en fonction des cultures, du climat local, et du sol de la parcelle.

Ce guide s'adresse donc à tous les acteurs du monde agricole : Chambre d'Agriculture, coopératives, techniciens et agriculteurs, collectivités, enseignants, chercheurs, bureaux de conseil et d'étude...

Un Guide qui intéresse aussi la métropole et d'autres zones tropicales

Ces questions ne sont pas limitées à La Réunion. A titre d'exemple, les *Rencontres professionnelles de la fertilisation organique* tenues à Colmar en 2004 (*Echo-MO* n° 49), ont fait ressortir les difficultés liées à l'usage des matières organiques :

- grande diversité de matières et manque de lisibilité ;
- connaissances techniques et scientifiques insuffisantes et défaut de communication sur les matières organiques et sur leurs fonctions écologiques (physiques, chimiques, biologiques) et agronomiques ;
- problèmes techniques récurrents (nuisance des odeurs, stabilité...) ;
- crainte des utilisateurs sur les risques réels ou supposés de pollution ;
- contraintes liées à la distribution ;
- méconnaissance des acteurs entre eux, multiplicité et dispersion des filières ;
- déficit d'image ou faible valeur marchande de certaines matières ;
- pas de consensus sur la fertilisation organique ;
- réglementation complexe, multiplication des chartes et des codes de bonnes pratiques agricoles.

Le *Guide de la fertilisation organique à La Réunion* s'efforce d'apporter certaines réponses à ces questions, en s'appuyant à la fois sur des références techniques et réglementaires de zone tempérée (France métropolitaine, Europe) et sur les références tropicales de l'île de La Réunion.

Les auteurs



Culture d'ananas et
de canne dans l'Est.
© P.-F. Chabalier

La culture

La réussite d'une culture dépend des conditions de croissance et de nutrition des plantes qui la constituent.

Ce chapitre donne des informations sur l'absorption des éléments nutritifs par les racines, sur la composition chimique des plantes et sur les carences et toxicités. Les principales cultures de La Réunion sont également présentées.

Croissance et nutrition de la plante	12
<i>Absorption des éléments minéraux par les racines</i>	12
<i>Éléments chimiques présents dans la plante</i>	15
<i>Carences et toxicités</i>	17
Principales cultures de La Réunion	18
Ce qu'il faut retenir du chapitre 1	20

Croissance et nutrition de la plante

Une plante est formée d'un ensemble d'organes dont la croissance dépend des conditions du milieu dans lequel elle se développe, notamment de l'énergie lumineuse interceptée, de l'eau et des éléments nutritifs disponibles puisés dans le sol, essentiellement l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K).

C'est dans les chloroplastes des feuilles que la plante transforme le gaz carbonique (CO_2) de l'atmosphère en sucres. Cette transformation permet l'augmentation de la biomasse et la croissance en matière sèche du végétal. Les sucres obtenus participent ensuite à l'élaboration de molécules plus complexes utiles à la plante — hydrates de carbone (amidon, cellulose, lignine...), lipides, protéines, enzymes, etc.



En savoir plus

Facteurs de rendement d'une culture

C'est la quantité d'énergie lumineuse disponible qui est le premier facteur de croissance de la plante. Dans les conditions optimales de culture (quand tous les besoins quotidiens de la culture sont satisfaits, par exemple en essai agronomique contrôlé), on mesure alors le rendement potentiel d'une variété, c'est-à-dire la production maximale par unité de surface que la culture peut atteindre. Dans la réalité, le rendement potentiel est rarement obtenu : l'époque et la préparation du semis, l'alimentation en eau, l'apport en éléments minéraux, la concurrence des mauvaises herbes, les techniques culturales sont autant de facteurs qui peuvent limiter le rendement.

Absorption des éléments minéraux par les racines

La fonction des racines qui nous intéresse ici est l'absorption des éléments nutritifs, parce qu'elle permet la croissance et le développement de la plante.

L'absorption est un processus dynamique

Les éléments minéraux dissous dans la solution aqueuse du sol pénètrent dans la plante par les racines sous la forme d'ions. Chaque espèce végétale a des besoins précis en ions, liés à son métabolisme propre et à des résistances variées aux éléments toxiques. La plante développe des mécanismes particuliers de transport d'ions, réglant ainsi les quantités absorbées selon ses besoins.



Canne à sucre aux Colimaçons (hauts de La Réunion).
© H. Saint Macary



Un ion peut être trop abondant par rapport aux besoins de la plante, par exemple l'aluminium (Al) dans les sols acides, le sodium (Na) dans les sols salés, et le calcium (Ca) en sol calcaire. Inversement, un ion peut être déficitaire, par exemple un sol carencé en phosphore (nombreux andosols). Dans tous les cas, la plante peut développer des mécanismes de régulation de l'absorption de ces ions : concentration puis neutralisation, élimination par l'intermédiaire de cellules situées dans les feuilles, adaptation physiologique par mutation génétique, absorption grâce à l'action de champignons symbiotiques des racines (les mycorhizes)... Ces mécanismes influencent la présence et l'abondance d'espèces végétales différentes selon les écosystèmes naturels ou cultivés.

Le pouvoir d'absorption d'une racine est très élevé. De ce fait, elle épuise rapidement les éléments nutritifs situés à proximité. Mais la racine croît continuellement : elle extrait donc l'eau et les éléments minéraux dans un volume de sol toujours renouvelé. L'intensité de prospection du sol dépend du type d'enracinement, c'est-à-dire de son architecture et de sa capacité de croissance.

Certaines plantes, dont l'enracinement est dense ou profond, peuvent pousser dans des milieux assez pauvres (graminées tropicales, comme le sorgho, le mil, la canne à sucre...). D'autres, à l'enracinement fragile ou superficiel, demandent des concentrations du sol en éléments nutritifs plus fortes : c'est le cas de la plupart des légumes. Certaines plantes comme l'ail, l'oignon ou le poireau contournent ce désavantage grâce aux associations symbiotiques entre leurs racines et un champignon (mycorhize) qui absorbe les éléments nutritifs.



Racines de poireau (alliacée) : l'absorption des éléments nutritifs est réalisée par l'action de champignons symbiotiques (mycorhizes). © P.-F. Chabalier



En savoir plus

Principales fonctions des racines

Ancrage de la plante dans le sol.

Absorption en eau et en éléments minéraux nutritifs.

Création d'une zone proche des racines, appelée rhizosphère, très riche en microorganismes actifs dans les processus de transformation des matières organiques.

Apport de matière organique au sol par la transformation des racines mortes.

Comment les racines absorbent N, P, K ?

L'azote provient essentiellement des nitrates de la solution du sol. Il est donc absorbé avec l'eau du sol.

Le phosphore provient surtout des échanges ioniques directs entre la racine et les particules minérales du sol.

Pour le potassium, on estime que la moitié vient de l'absorption de l'eau et l'autre moitié des échanges ioniques directs entre la racine et les particules minérales de sol.

L'absorption dépend des stades de développement de la plante

Pour les plantes annuelles, l'absorption des éléments nutritifs suit quatre étapes :

- installation des premiers organes (racines, feuilles). L'absorption est faible ;
- croissance rapide correspondant à la production de nombreuses feuilles, riches en azote et en phosphore. C'est pendant cette période que les besoins sont les plus élevés. La plante absorbe d'abord N et K alors que P est absorbé plus progressivement. Le point critique est la forte absorption pendant la phase de croissance végétative rapide. Pour obtenir des rendements élevés, l'offre en éléments nutritifs du sol ne suffit pas en général pour satisfaire ce besoin instantané. Il est alors indispensable d'apporter une fertilisation à cette période ;
- reproduction, formation des fruits ou graines (montaison, nouaison, floraison, fructification). Cette étape commence pendant le stade de croissance précédent. L'absorption peut être élevée, notamment en K pour les fruits charnus ;
- maturité. L'absorption d'éléments nutritifs est réduite.

Pour les plantes pérennes, le système racinaire permanent permet des absorptions plus régulières. Les besoins des arbres fruitiers sont élevés au grossissement des fruits. Les troncs des arbres

et les souches des graminées pérennes, comme la canne et les fourrages, stockent également des éléments nutritifs, qui peuvent être mobilisés par les organes en croissance.

Les besoins nutritifs des plantes cultivées peuvent être estimés expérimentalement. Ils varient selon que la récolte est faite en pleine phase végétative (fourrages, brèdes, salades), en fin de phase végétative (canne à sucre) ou au terme de la phase reproductrice (grains). Pour les plantes pérennes, les prélèvements d'éléments nutritifs évoluent pour assurer à la fois la croissance de l'arbre et la production fruitière. On considère qu'une dizaine d'années après la plantation, les besoins des arbres fruitiers augmentent peu et correspondent simplement à la croissance des fruits.



Tige et feuille de canne à sucre. © CEDUS - F.L. Athenas

! Pratique

Spécificités des cultures

Une culture est choisie en fonction du milieu. L'ananas est cultivé en sol acide, le bananier en sol plutôt neutre. Certaines espèces, comme l'épinard, l'ortie et les légumes feuilles (différentes brèdes à La Réunion) sont « nitrates » parce qu'elles ont besoin de grandes quantités d'azote sous forme nitrique pour se développer. La canne à sucre est une plante rustique qui s'adapte à des conditions de sol variées ; certaines variétés sont cependant plus sensibles que d'autres au niveau de fertilité du sol.

Travail du sol et racines

Un des objectifs du travail du sol et des apports de matière organiques est de favoriser la décompaction du sol. L'amélioration de la structure et de la porosité permet ainsi une meilleure prospection des racines. Les façons culturales doivent donc être réalisées en respectant la structure du sol. Chaque type de sol demande des équipements adaptés. La plantation nécessite une structure de sol grumeleuse. Pour le semis, il peut être utile de créer en surface une couche fine dont l'épaisseur dépendra de la dimension des graines.



Pratique

Absorption de l'azote et fertilisation

Il faut tenir compte des périodes d'absorption en azote par les racines (qui dépendent du cycle de la plante) pour le calcul de la fertilisation azotée, afin que les fertilisants libèrent N au bon moment et en quantité suffisante pour la culture.

Lorsque N est apporté sous forme d'engrais minéral, les épandages fractionnés sont possibles.

Pour les apports de matières organiques, le fractionnement est le plus souvent irréalisable : il faut choisir une matière à libération en N plus ou moins lente qui coïncide au mieux avec les besoins instantanés de la culture.

Pour satisfaire les besoins de la culture et entretenir la fertilité du sol, le raisonnement de la fertilisation consiste à calculer la dose de matière organique à apporter en fonction des besoins en N, P, K, puis la dose complémentaire en engrais minéraux.

Éléments chimiques présents dans la plante

La composition chimique de la plante varie selon l'espèce, la variété, le stade de croissance, le climat et le sol.

L'analyse chimique de la plante ou de ses organes est révélatrice de la qualité de la nutrition. La comparaison des analyses d'organes à des tables de référence permet de diagnostiquer les carences ou les excès en éléments minéraux de la culture.

Les végétaux peuvent contenir jusqu'à 97 % d'eau. La matière sèche contient trois types d'éléments : les principaux constituants (carbone, hydrogène, oxygène), les macro-éléments et les oligo-éléments (ou micro-éléments) (**tableau I**).

Certains métaux, comme le cuivre (Cu), sont à la fois des oligo-éléments parce qu'ils sont nécessaires à la plante en très petite quantité et des éléments traces métalliques (ETM).

Les ETM, susceptibles de se retrouver dans la plante, peuvent devenir toxiques pour celle-ci lorsqu'ils sont en trop forte concentration dans le sol.



Culture de canne à sucre avant et après la coupe (résidus laissés au sol).
© CEDUS - F.L. Athenas



En savoir plus

Composition des organes de la plante

Chaque organe a une composition et des besoins chimiques spécifiques. Les organes de transfert de la sève et de soutien, comme les tiges, sont pauvres en N et P. Les organes très actifs, comme les feuilles, sont riches en N et P. Les organes de stockage de sucre ou d'amidon, comme les tiges de canne, les tubercules et les racines, sont riches en K. Les organes de stockage de protéines, comme les grains, sont riches en N et P.

Tableau 1.

Les principaux éléments chimiques présents dans les plantes.

Type d'élément	Origine	Répartition dans la plante
Eau	Solution du sol Eau atmosphérique (rosée...)	90 à 97 % du poids frais de la plante
Principaux constituants : carbone (C) hydrogène (H) oxygène (O)	Atmosphère (transformation du gaz carbonique) Eau	Composent la majeure partie de la matière sèche. Entrent dans la constitution de tous les tissus de la plante.
Macro-éléments (teneur individuelle $\geq 0,1$ % de la matière sèche de la plante)	Sol + Solution du sol	Eléments servant à fabriquer les constituants actifs de la plante – Azote (N, 1 à 3 % MS*), essentiellement dans les protéines. – Soufre (S, 0,1 à 0,5 % MS) essentiellement dans les protéines. – Phosphore (P, 0,2 à 0,6 % MS) dans les acides nucléiques. – Magnésium (Mg, 0,2 à 0,8 % MS) dans la chlorophylle. Eléments libres, circulant dans la sève – Potassium (K, 0,5 à 2 % MS) sous forme de cation K^+ , il accompagne les molécules chargées négativement (acides organiques, sucres, nitrates). Eléments entrant dans la composition des organes de soutien de la plante (tige...) – Calcium (Ca, 0,6 à 4 % MS). – Silice (SiO_2 , 0,2 à 3 % MS).
Oligo-éléments (teneur individuelle $< 0,1$ % de la matière sèche de la plante)	Sol	Indispensables en très faibles quantités pour la formation des enzymes et des vitamines : fer (Fe), manganèse (Mn), zinc (Zn), bore (B), cuivre (Cu), molybdène (Mo)...

* MS : matière sèche de la plante.



N, principal facteur de production

L'azote permet à la plante de réaliser la photosynthèse et donc de croître. La quantité d'azote absorbée détermine le niveau d'absorption des autres éléments. C'est pour cette raison que l'azote est considéré comme le pivot de la culture. Dans la plante, 80 % de l'azote sont sous forme protéique, le reste étant des acides aminés libres et des acides nucléiques (ADN, ARN). L'azote permet la constitution de réserves protéiques dans les graines.

Il est donc primordial de connaître les besoins azotés de la culture et, si c'est possible, ses besoins instantanés à chaque stade de développement. Le calcul de la fertilisation optimale, dite fertilisation raisonnée, permet de concilier rendement, qualité et conservation après récolte, ainsi que protection de l'environnement. Des apports non raisonnés (dates mal choisies, quantités trop faibles ou trop fortes) peuvent avoir des effets néfastes : mauvais rendements, reliquats d'azote élevés dans le sol après la récolte, drainage de l'azote excédentaire vers les nappes d'eau profondes. De plus, la teneur excessive en nitrates dans les tissus de la plante entraîne une sensibilité accrue aux insectes et aux maladies cryptogamiques (verse, oïdium, rouilles, sclerotinia, botrytis, etc.).

L'azote a un rôle sur la qualité des produits récoltés. Pour les grains, on recherche des teneurs élevées en protéines (donc en N). Pour la salade, la carotte, la betterave, les légumes feuilles, on recherche des teneurs en nitrates faibles (pour la salade, inférieures à 3,5 g/kg de poids frais).

Carences et toxicités

Les carences et les toxicités sont dues à des déficiences ou à des excès d'éléments dans le sol. La teneur naturelle du sol, une pollution, des caractéristiques particulières du sol peuvent en être la cause. Des techniques culturales inadaptées ou des phénomènes climatiques peuvent aussi induire des problèmes de nutrition des plantes :

- pH du sol ;
- antagonisme entre éléments présents dans le sol (Fe et Mn dans les andosols acides de La Réunion) ;
- mauvais drainage du sol ;
- fumures fortes ou déséquilibrées ;
- précipitations (sécheresse ou excès d'humidité), température...

Diagnostic

Les symptômes de carence ou de toxicité sont différents selon la fonction de l'élément dans la plante. Ils s'expriment d'abord par des défauts de coloration (jaunissement, brunissement, décoloration...) puis par des défauts de croissance. Il existe des clés de détermination des

carences et des toxicités, fondées sur l'observation des organes.

Mais le diagnostic visuel ne suffit pas toujours. Par exemple, les nécroses marginales du feuillage peuvent être dues à des carences en K, en Mg, en Mn ou à des toxicités en Cl (chlore) ou en Mn. Le diagnostic visuel doit donc être complété par des observations sur les conditions culturales et par l'analyse de la composition chimique d'un échantillon de plante.



Maïs cultivé en hydroponique, carence en nombreux éléments due à une toxicité aluminique (racines nécrosées caractéristiques de la toxicité). © H. Lombard, 2005

Correction

Les carences sont assez facilement corrigées en apportant les éléments manquant au sol par la fertilisation minérale classique ou en pulvérisation foliaire (action plus rapide). Des interventions sur les causes des carences sont également réalisables : modification du pH, du drainage, de l'irrigation, etc.

Pour les toxicités, les interventions sont en général plus complexes : élévation du pH, lessivage de l'élément, culture de plantes moins sensibles, dilution de l'élément dans le sol, apport de matière organique, etc.



Appareil de mesure de la couleur des feuilles pour le diagnostic de la nutrition azotée de la canne à sucre © P.-F. Chabalier

**En savoir plus****Trop d'azote**

Certaines plantes ont besoin de beaucoup d'azote nitrique pour se développer (plantes nitratophiles : épinard, brèdes, ortie...). Certaines espèces cultivées peuvent aussi retenir beaucoup de nitrates. L'excès de nitrates dans les légumes (salade, betterave, carotte, épinard, brède...) est dangereux pour la santé. Dans l'organisme des mammifères, les nitrates sont transformés en nitrites. Ces nitrites provoquent le dérèglement du fonctionnement du sang, pouvant être mortel pour les enfants (maladie bleue ou méthémoglobinémie), et la production de constituants nitrosés cancérigènes.

Trop de potassium

Des plantes peuvent faire une consommation de luxe en K, comme les graminées tropicales. Dans les fourrages, de fortes teneurs en K peuvent entraîner des problèmes intestinaux chez les ruminants. Pour la canne à sucre, ces fortes teneurs provoquent un défaut de cristallisation du sucre, donc une perte en sucre au niveau de l'usine.

Principales cultures de La Réunion

La surface agricole utile (SAU) de La Réunion était de 45 459 ha en 2000, soit un cinquième de la surface de l'île (Recensement général de l'agriculture 2000) (**tableau 2**).

La canne à sucre

La canne à sucre prédomine avec 25 923 ha (59 % de la SAU, RGA 2000). Cette superficie a tendance à diminuer à cause du déclassé des

terres agricoles pour les constructions et les routes ; la mise en valeur de nouveaux périmètres comme l'antenne IV (1 300 ha de canne) atténué toutefois cette baisse. La production de canne a tendance à augmenter par l'intensification des pratiques et par la mise en irrigation de zones de production anciennes : 7 000 ha de zone irrigable de l'Ouest vont être couverts par le basculement des eaux d'ici à 2008. Les apports de matières organiques sont intéressants sur la canne et



peuvent remplacer en partie la fertilisation minérale : les apports de lisier sont déjà largement pratiqués autour des élevages.

Les cultures fourragères

Les surfaces fourragères occupent près de 10 000 ha (21 % de la SAU). Une demande d'extension par l'Union des associations foncières pastorales pourrait permettre l'augmentation des surfaces fourragères, prises essentiellement sur des zones de friches forestières des hauts. Ces cultures reçoivent la majeure partie de la production d'effluents de bovin (lisiers et fumiers), le reste étant utilisé en maraîchage.

Les cultures fruitières

Les cultures fruitières ont une surface stabilisée de l'ordre de 2 300 ha. La diversification de la production est en cours. Les apports de matières organiques sont surtout réalisés à la plantation. Des apports de lisier et de fumier sont également effectués après récolte des fruits dans les vergers et les bananeraies. Certains éleveurs cultivent des vergers où ils épandent régulièrement les excédents de lisier de leurs élevages. Les doses sont parfois trop élevées.

Les cultures maraîchères (légumes)

Les cultures maraîchères, sur environ 1 600 ha, sont situées dans des zones spécialisées, en fonction du milieu naturel des parcelles (sol et climat) et des besoins du marché. Les grandes régions de production sont :

- pour la salade, La Bretagne (Saint-Denis), Dos d'Anes (La Possession) ;
- pour une grande variété de légumes, Piton Hyacinthe (Trois-Bassins) ;
- pour les cultures de carotte, chou et divers, Ravine Charrié (Petite-Île) et la commune de Petite-Île.

Les règles de choix des cultures maraîchères et des rotations dépendent des calendriers culturaux et du marché. Une petite production légumière se fait en interligne de canne, comme

les petites tomates, l'arachide, le maïs et la pastèque. Dans certaines zones, la monoculture est pratiquée : c'est le cas de la salade, cultivée 6 cycles par an dans les hauts et jusqu'à 8 cycles dans les bas. Ces cultures reçoivent des quantités élevées de matières organiques, notamment du fumier de poule, riche et actif. Les épandages organiques dépassent souvent 60 t/an, en 2 ou 3 apports en fonction des rotations. Certains producteurs utilisent même des activateurs microbiens pour en améliorer l'efficacité. Les excès de fertilisation (fumier et engrais) sont fréquents, pouvant provoquer la pollution des eaux de surface et de nappe phréatique.

Tableau 2.

Répartition des cultures de La Réunion
(Source : AGRESTE - Recensement Agricole 2000).

Productions végétales	Surfaces ha
Superficie totale des exploitations	52 833
Sols des bâtiments et cours	1 176
Landes non productives et friches	3 917
Divers (dont bois...)	4 048
Surface agricole utilisée	43 692
Cultures florales	120
Végétaux divers	94
Jardins familiaux	45
Surfaces toujours en herbe	9374
dont STH peu productive	1 756
dont prairies naturelles	7 618
Cultures fruitières permanentes	2 066
Autres terres arables	201
Jachères	920
Cultures fourragères	1 763
Fruits semi-permanents	564
dont bananes	324
dont ananas	212
dont autres fruits	28
Cultures légumières	1 611
dont tubercule, racines...	224
dont légumes frais	1 269
dont légumes secs	118
Plantes industrielles et aromatiques	26 659
dont canne à sucre	25 923
dont autres plantes industrielles	449
dont plantes aromatiques	287
Céréales	275



Ce qu'il faut retenir du chapitre 1



✓ **La plante est constituée d'eau, de carbone et de nombreux éléments minéraux : les macro-éléments (N, P, K, Ca, Mg, S, SiO₂) et les oligo-éléments (Fe, Zn, Br, Mn, Cu...).**

Macro-éléments et oligo-éléments proviennent de l'atmosphère, du sol et des apports réalisés par l'agriculteur sous la forme d'engrais ou de matières organiques. C'est grâce à ses racines que la plante puise les éléments minéraux nutritifs dans le sol. L'agriculteur doit donc créer les conditions propices à un développement maximal des racines : bonne structure, ameublissement du sol... En cas de déséquilibre nutritionnel, la plante subit une carence (manque d'un élément) ou une toxicité (excès d'un élément) qui se répercute sur la croissance et sur la production. Les espèces végétales n'ont pas toutes les mêmes besoins en éléments minéraux nutritifs, d'où l'importance de choisir la culture en fonction des conditions de la parcelle (sol, climat).

✓ **L'azote est l'élément essentiel de la croissance de la plante.**

La quantité d'azote absorbée par la plante détermine le niveau d'absorption des autres éléments minéraux. L'agriculteur doit donc connaître les besoins totaux de la culture en azote afin de caler le plan de fertilisation pour les autres éléments essentiels (phosphore et potassium). Les besoins en éléments minéraux sont différents selon le stade de développement de la culture : la fertilisation (matières organiques complétées par les engrais minéraux) doit être apportée au bon moment et en quantité suffisante. Des apports trop élevés entraînent des risques d'accidents végétatifs et des pollutions de l'environnement.

✓ **Les cultures de La Réunion sont diversifiées.**

Elles sont toutefois dominées par la canne à sucre (près de 60 % de la surface agricole utile). Sur la canne, les apports organiques peuvent remplacer en partie la fertilisation minérale. Actuellement, les cultures fourragères reçoivent la plus grande partie des effluents d'élevage bovin. Les cultures fruitières peuvent être fertilisées avec de la matière organique à la plantation puis en cours de production. Les cultures maraîchères répondent bien aux apports organiques mais les pratiques sont très disparates et les excès de fertilisation organique et minérale sont fréquents.



Coulée volcanique très récente et reconquise par les végétaux.
© V. van de Kerchove

Le sol, milieu vivant et complexe

Sur la terre, le sol remplit des fonctions indispensables à la vie végétale, animale et humaine. À l'échelle de la parcelle cultivée, le sol permet la transformation, le transfert et l'accumulation des matières minérales et organiques, des gaz et de l'eau. C'est un milieu vivant, complexe et fragile.

Spécificités du sol	22
<i>Une mince pellicule vivante</i>	22
<i>Une lente évolution</i>	22
Sols de La Réunion	24
<i>Six types de sol</i>	24
<i>Présence naturelle d'éléments traces métalliques (ETM)</i>	26
<i>Fertilité des sols de La Réunion</i>	27
Fonctions du sol	28
<i>Régulation des flux de gaz et d'eau</i>	28
<i>Réservoir de biodiversité</i>	29
<i>Transformation, transfert, stockage</i>	29
Evolution des sols cultivés à La Réunion	32
Ce qu'il faut retenir du chapitre 2	34

Spécificités du sol

Une mince pellicule vivante

Le sol, ou « couverture pédologique », est la couche la plus externe de la croûte terrestre. L'épaisseur de cette mince pellicule est en moyenne de 1 à 2 m. Le sol est une zone extrêmement dynamique, lieu d'un remaniement permanent de ses constituants.

La partie superficielle du sol est la couche la plus fertile, c'est-à-dire les 5 à 30 premiers centimètres de profondeur. Elle correspond à la litière et à l'horizon organo-minéral de surface. La litière s'y transforme, la faune et la microflore y sont les plus actives et les végétaux s'y enracinent préférentiellement. Cette couche est le site principal d'absorption de l'eau et des éléments minéraux par les racines ; c'est aussi le lieu des réactions biochimiques de transformation des matières organiques par les microorganismes du sol.

Le sol comprend une fraction biologique et une fraction minérale intimement liées. La couche superficielle du sol abrite un grand nombre d'êtres vivants et de nombreux composés organiques (molécules contenant du carbone d'origine biologique) : c'est la fraction biologique du sol. La fraction minérale du sol est formée de molécules d'origine géologique, contenant surtout du silicium, et de molécules issues de la décomposition des matières organiques.



Un profil de sol complexe présentant plusieurs horizons distincts. C'est un andosol perhydraté à mascareignite sur cendres épaisses dans les hauts de La Réunion (1 500 m d'altitude, route du Maïdo). Du haut vers le bas, on distingue plusieurs horizons de couleurs différentes :

- matière organique mal évoluée noire (noir) ;
- dépôt de silice de phytolithes (rose) ;
- dépôt de matière organique (gris-rose) ;
- couche de cendre (ocre) ;
- différentes couches de cendres ayant subi des migrations de fer (gris à rouge-orange).

© E. Doelsch

Une lente évolution

La fraction biologique du sol est une ressource renouvelable. Elle inclut la matière organique, la faune, la flore, la rhizosphère. La dégradation de cette fraction et l'absence de renouvellement entraînent la modification ou la perte partielle (ou totale) des potentialités agronomiques du sol.

La partie minérale du sol, issue de la roche-mère géologique, est une ressource considérée comme non renouvelable : il faut plusieurs milliers d'années, voire plus de 10 000 ans, pour former les minéraux d'un sol à partir des minéraux contenus dans les roches-mères. La structure et



les qualités agronomiques du sol sont le fruit de cette longue construction, dans laquelle l'histoire agricole a sa place : chaque sol est donc un patrimoine qu'il faut conserver et améliorer durablement.

S'il n'y a pas d'exportation de plantes hors de la parcelle (plantes entières ou parties de plante : feuilles, branches, fruits, racines), la dégradation sur place de cette matière végétale permet un retour au sol des éléments minéraux qu'elle contient. C'est pourquoi laisser les feuilles de canne à sucre après la coupe permet la restitution d'une partie des minéraux mobilisés par la culture.

Selon les événements naturels ou les pratiques culturales, quelques heures ou quelques années suffisent à détruire un sol. A La Réunion, la perte moyenne par érosion d'un sol nu en pente est de l'ordre de 5 mm de sol par an. Ces pertes peuvent atteindre plusieurs centimètres de sol dans le cas de pratiques défavorables combinées à des événements pluvieux intenses (orages et cyclones).



Canne à sucre dans l'ouest. © V. van de Kerchove



Prairies à Notre Dame de la Paix. © V. van de Kerchove



Dos d'Ane. © V. van de Kerchove



Le relief très marqué de l'île (Rivière des Remparts).
© V. van de Kerchove

Sols de La Réunion

Six types de sol

La répartition des différents types de sols de La Réunion est une conséquence de l'âge des coulées volcaniques et des différents types de climat de l'île (**figure 1**). Les sols cultivés se répartissent en six grands ensembles : andosols, andosols perhydratés, sols bruns andiques, sols bruns, sols ferrallitiques, sols vertiques.

Les prairies sont essentiellement cultivées sur des andosols perhydratés. Les productions maraîchères et les vergers sont surtout cultivés sur des andosols. Pour la canne à sucre, la répartition des six sols est connue précisément (**tableau 1**).

Tableau 1.

Répartition des six ensembles de sol cultivé pour la canne à sucre à La Réunion (d'après Pouzet *et al.*, 2003).

Type de sol	Proportion de la surface cultivée en canne (%)	Zone géographique
Andosol	34,8	Zone est, zone sud et hauts de l'Ouest
Andosol perhydraté	22,8	Zones humides de l'Est, des hauts et des plaines
Sol brun andique	16,5	Sur les cendres des zones de moyenne altitude de l'Ouest. Sur des coulées faiblement altérées
Sol brun	12,9	Zones basses de l'Ouest
Sol ferrallitique	12,6	Les plus vieux sols de l'île : les « terres franches » des planèzes du Nord-Est
Sol vertique	0,4	Zones sèches littorales de l'Ouest, situation en cuvette et replat

Andosols et andosols perhydratés

Les andosols et andosols perhydratés sont des sols assez jeunes formés sur des cendres volcaniques récentes. Ils n'évoluent pas vite à cause du

climat frais et humide. Ils représentent plus de 57 % de la surface cultivée en canne à La Réunion.

Les éléments fins de ces sols sont très particuliers : pas d'argiles cristallisées mais d'abondants silicates



d'alumine peu et mal cristallisés, communément appelés « imogolites » et « allophanes ». Les capacités d'échange cationique et anionique de ces éléments fins sont très élevées. Les allophanes sont liés à la matière organique du sol. Cette liaison intime la protège des activités microbiennes de réorganisation ou de minéralisation, ce qui explique que les teneurs en matière organique de ces sols sont toujours fortes.

Les andosols perhydratés sont des andosols qui contiennent naturellement beaucoup d'eau (plus de la moitié de leur poids frais, du fait d'une microporosité très développée et de l'existence de gels de silicate d'alumine hydratés).

Sols bruns andiques (ou cambisols andiques)

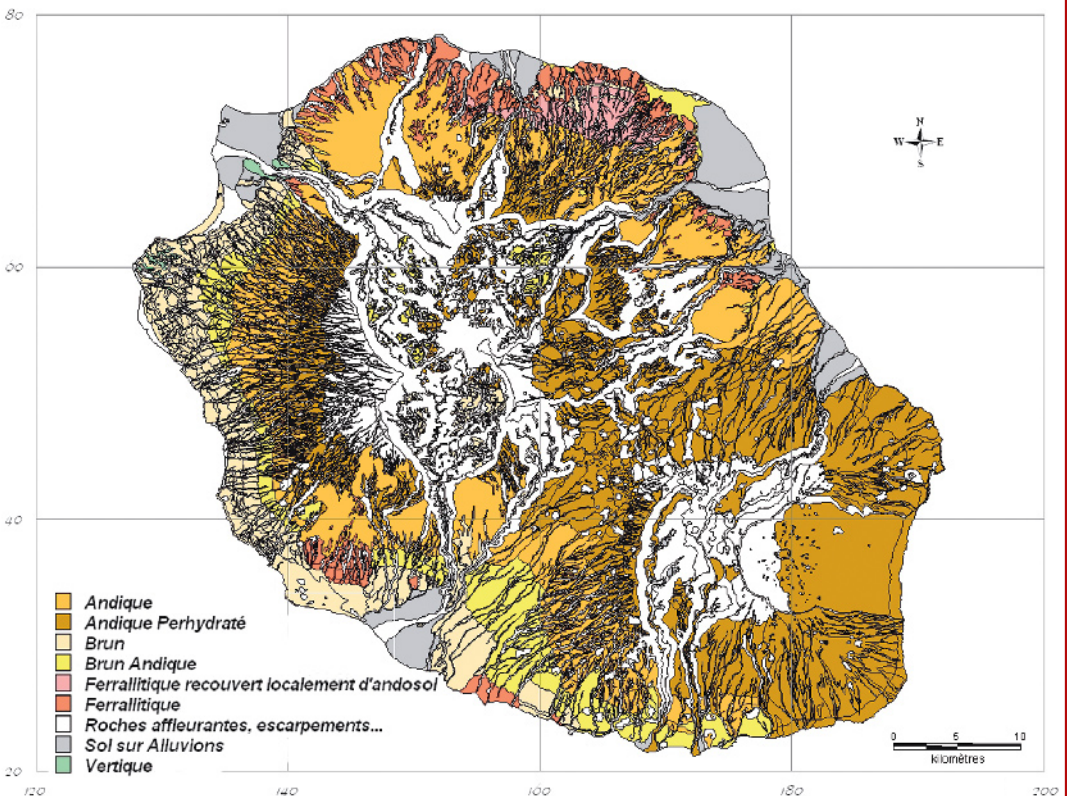
Les sols bruns andiques sont intermédiaires entre les sols andiques et les sols bruns. Ce sont d'anciens andosols situés en zone plus sèche et évoluant lentement vers des sols bruns.

Sols bruns, sols bruns fersiallisés, sols ferrallitiques (ou cambisols, phaeozem, fersialisols)

Les sols bruns, bruns fersiallisés et ferrallitiques sont des sols plus âgés et plus évolués que les andosols, développés sur des coulées anciennes et situés dans des zones moins humides que les

Figure 1.

Carte des principales unités de sols de l'île de La Réunion (d'après les travaux du CIRAD : Pouzet *et al.*, 2003).



zones à andosols. Leurs argiles appartiennent surtout à la famille des kaolinites et contiennent des oxydes métalliques. Le fer libre colore ces sols en brun ou rouge selon leur âge et leur localisation dans le paysage.

Les sols ferrallitiques sont les plus anciens de l'île. Ils ont subi des séries de décapage et de recouvrement. On les trouve essentiellement sur les plateaux du Nord-Est.

Les sols bruns fersiallisés sont intermédiaires entre les sols bruns et les sols ferrallitiques. Ils se situent surtout dans les zones basses de l'Ouest.

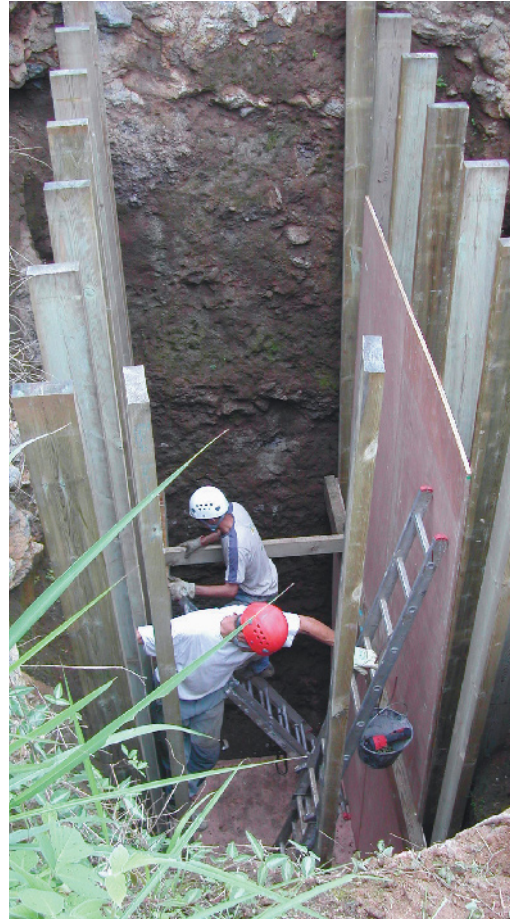
Sols vertiques

Les sols vertiques de la zone sèche de l'Ouest sont caractérisés par la présence d'argile gonflante de type smectite (famille des montmorillonites), avec une forte capacité d'échange cationique, saturée en calcium et en magnésium. Le profil de ces sols est particulier : leur structure en colonne est due à la rétraction des argiles au séchage. Beaucoup de racines ne supportent pas ces phénomènes de gonflement et rétraction du sol et peu de plantes s'adaptent à ces milieux.

Présence naturelle d'éléments traces métalliques (ETM)

Les éléments traces métalliques (ETM), ou métaux lourds, sont présents dans la croûte terrestre à des concentrations inférieures à 0,1 %. Dans la table de classification périodique des éléments chimiques, ils représentent un groupe de 58 éléments. Les sept ETM retenus dans les normes françaises et par la Direction générale de l'environnement de la Commission européenne sont le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le zinc (Zn).

À La Réunion, la concentration élevée en certains éléments traces métalliques n'est pas favorable au



Construction d'une fosse de 10 m de profondeur pour étudier la dynamique de l'eau dans un sol andique des hauts (station des Colimaçons). © H. Saint Macary



Profil de l'andosol de Colimaçons. © P.-F. Chabalier



recyclage agricole de certains types de matière organique : 80 % des sols réunionnais ont des teneurs en Ni et en Cr supérieures aux valeurs seuils fixées par l'arrêté du 8 janvier 1998 relatif à l'épandage des boues d'épuration en agriculture (➔ chapitre 7 - *Réglementation sur l'identification des matières organiques*).

En conséquence, l'épandage de boue d'épuration brute urbaine est limité dans les conditions actuelles du règlement à La Réunion. Pour les autres déchets organiques, il n'existe pour l'instant pas de prescription réglementaire limitant leur utilisation en agriculture, quelles que soient les concentrations en ETM des sols.



Épandage de lisier de porc sur des jeunes caféiers dans les hauts de Trois-Bassins. © V. van de Kerchove



En savoir plus

Caractéristiques agronomiques communes

La texture de la plupart des sols de La Réunion est fine : elle est argilo-limoneuse à argileuse.

Les sols de La Réunion sont peu épais (< 1 m), parce qu'ils sont jeunes et parce qu'ils subissent l'érosion et le décapage.

Les sols sur pente ont beaucoup d'éléments grossiers d'origine diverse (pierres, « galets »), sauf s'il s'agit de sols sur cendres récentes localisées souvent dans les hauts de l'île.

La plupart des sols sont acides. Les sols andiques et ferrallitiques sont très acides, plus que les sols bruns ; les sols vertiques sont neutres. Un zonage très net de l'acidité existe sur l'île : les sols du Nord-Est sont très acides et les sols de l'Ouest ont une faible acidité.

Les sols de La Réunion sont très perméables et ils ont une forte porosité (50 à 60 %), à cause d'une densité apparente faible (1 pour les andosols ; 1 à 1,3 en surface pour les autres sols). La réserve en eau utile (RU) est élevée, 80 à 130 mm sur 60 cm d'épaisseur, offrant ainsi une bonne capacité de stockage de l'eau.

Au séchage, les éléments fins des andosols se réorganisent en pseudo-sables, ce qui leur donne des propriétés physiques particulières proches de celles des sols sableux. Les agriculteurs utilisent ces propriétés en privilégiant les cultures à racines (vétiver, pomme de terre, carotte...).

Fertilité des sols de La Réunion

Les sols bruns, les sols ferrallitiques et les sols vertiques ont une bonne fertilité chimique générale. Les sols bruns andiques ont des indices

de fertilité les plus bas pour le phosphore et les plus hauts pour le potassium (figure 2).



Pratique

Attention aux sols maraîchers

Les sols occupés par la canne à sucre ont été classés par le CIRAD selon des critères de fertilité. Ce classement des sols ne peut s'appliquer aux sols des parcelles maraîchères. Ceux-ci sont profondément transformés par les apports massifs de déchets organiques et de fertilisants minéraux. Leurs caractéristiques chimiques ne rentrent pas dans les intervalles habituels de teneurs en éléments nutritifs des sols cannières. L'interprétation des analyses de sol des parcelles maraîchères doit donc être considérée à part.

2 - Le sol, milieu vivant et complexe

Figure 2.

Classement des sols occupés par la canne à sucre en fonction de leur fertilité chimique et de leur acidité.

Fertilité	Faible → Moyenne → Forte				
Azote	Andique Andique perhydraté		Brun andique Ferrallitique		Brun Vertique
Phosphore	Brun andique	Andique Andique perhydraté		Vertique	Brun Ferrallitique
Potassium	Andique perhydraté	Vertique	Andique	Ferrallitique Brun	Brun andique
Acidité	Très acide → moyennement acide → légèrement acide à neutre				
Sol	Andique	Ferrallitique	Andique perhydraté	Brun andique	Brun Vertique

Fonctions du sol

Régulation des flux de gaz et d'eau

Le sol participe à la régulation des cycles naturels de l'eau, de l'air, des substances minérales et organiques. C'est un maillon indispensable dans le flux continu de l'énergie et de la matière dans l'écosystème.

Le sol est à la fois une source d'émission de gaz à effet de serre (CO_2 , CH_4 , N_2O) et un lieu majeur de stockage du carbone (➔ chapitre 6 - *Risques sanitaires et pollution de l'environnement*). Ces caractéristiques varient en fonction de l'environnement : forêts, zones humides, zones cultivées... Provenant du CO_2 atmosphérique, le carbone est fixé essentiellement dans les plantes, qui le restituent par la suite au sol sous forme de matière organique (molécules organiques complexes et plus ou moins stables dans le temps).

La matière organique du sol intervient dans la régulation de l'eau et des cations, comme les argiles (rôle de réservoir).

Les caractéristiques hydriques du sol (perméabilité, rétention de l'eau) sont déterminantes dans la régulation des flux d'eau. Lors de fortes pluies sur des sols nus et dégradés (dont la perméabilité est mauvaise), le ruissellement est élevé, et des inondations, des coulées de boue ou des glissements de terrain peuvent se produire.



En savoir plus

Circulation de l'eau dans les sols de La Réunion

A La Réunion, les eaux de pluie atteignent les nappes souterraines par des circuits complexes et mal connus, en traversant les empilements de couches de roche volcanique. Plus de la moitié de l'eau des pluies serait évacuée par drainage interne. Quand l'intensité des pluies dépasse la vitesse d'infiltration de la plupart des sols réunionnais (70 à 90 mm/h), l'eau circule à la surface et provoque ruissellement et érosion. L'intensité de ces processus dépend de la nature du sol, de la couverture en place, de la pente...



Réservoir de biodiversité

Le sol est un milieu structuré. Il offre une diversité d'abris de toutes tailles pour une multitude d'organismes vivants : microorganismes, animaux, végétaux. C'est un immense réservoir de la biodiversité microbienne et faunistique. Certains microorganismes sont indispensables à l'assimilation (cycle de l'azote par exemple) et au fonctionnement de l'écosystème naturel (formation du sol à partir de la roche-mère, chaînes trophiques, nutrition des plantes...). D'autres sont pathogènes pour les cultures, ou peuvent le devenir à la suite de modifications de l'usage des sols (cas de champignons pathogènes appelés « pourridiés » des cultures et des vergers).



Blatte (Insecte, *Blatta longicercata*). Au sol, sur les végétaux, dans les gazons. Détritivore, participe activement au recyclage des débris végétaux. © J. Rochat

Transformation, transfert, stockage

De multiples transformations se déroulent dans le sol, sous l'effet combiné de l'activité biologique et des conditions du milieu. Le sol stocke la matière organique, qui se lie avec la matière minérale fine (argiles) pour former le complexe argilo-humique (**figure 3**). Ce complexe argilo-humique retient, par des liaisons chimiques réversibles, certains éléments minéraux nutritifs. Ces éléments sont ainsi disponibles rapidement pour les plantes.

L'exploitant agricole apporte aux cultures certaines substances telles que des pesticides, herbicides, engrais minéraux, matières organiques et effluents d'élevage (qui peuvent contenir des antibiotiques donnés aux animaux). Dans le sol, ces substances subissent des transformations chimiques et biochimiques qui aboutissent à leur dégradation totale ou partielle selon la dose et la fréquence des apports. Les sous-produits qui en résultent peuvent être absorbés par les cultures. Certaines molécules de pesticides peuvent aussi être incluses dans des molécules de matière organique. C'est ce que l'on appelle le pouvoir épurateur du sol.

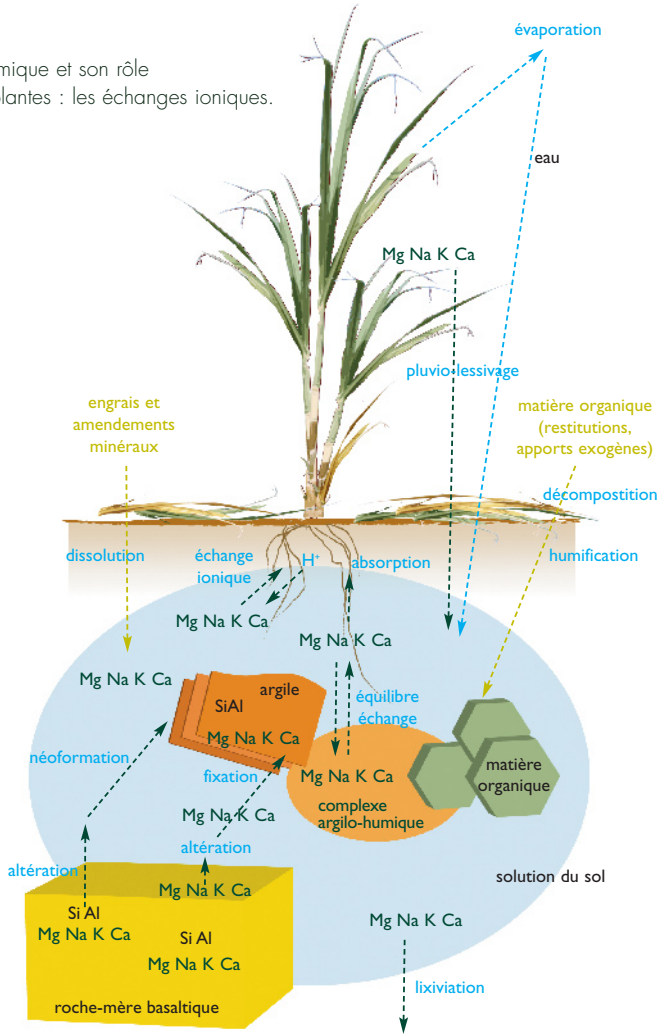


Polydesme à 2 pattes par segment (Myriapode) vivant dans la litière, détritivore. © J. Rochat

2 - Le sol, milieu vivant et complexe

Figure 3.

Le complexe argilo-humique et son rôle dans la nutrition des plantes : les échanges ioniques.



Formation de l'humus : **décomposition** et **humification** des matières organiques (résidus de cultures, apports exogènes, racines...).

Formation de l'argile : **altération** de la roche-mère basaltique qui libère Al et Si, ainsi que les cations Ca, Mg, Na, K, puis **néoformation** de silicates d'alumine (SiAl) plus ou moins cristallisés. Une partie des cations est incluse dans le réseau des cristaux d'argile, l'autre partie est fixé sur le complexe argilo-humique.

Formation du complexe argilo-humique : « collage » argile + humus par des ponts chimiques composés d'ions Ca⁺⁺ en particulier. Le complexe argilo-humique a une certaine charge en cations, c'est la capacité d'échange cationique (CEC).

Les cations échangeables Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺, proviennent de l'**altération** du basalte, de la **dissolution** des engrais et de la **décomposition** des végétaux, ainsi que du **pluvio-lessivage** des feuilles. Ils sont directement en solution dans l'eau du sol.

Les cations échangeables Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺ **fixés** sur le complexe argilo-humique sont en **équilibre** avec la solution aqueuse du sol.

Absorption des cations par la plante : la solution du sol contenant des cations dissous est absorbée par la plante ; également, les racines de plante absorbent directement les cations par un processus d'**échange ionique** entre des ions H⁺ libérés par la racine et les cations du sol.

L'excès d'eau du sol est drainé d'où **lixiviation** des cations vers les couches profondes du sol et vers les nappes phréatiques.



Pouvoir épurateur du sol

Les sols profonds, bien aérés, contenant une forte biomasse, ayant de bonnes capacités de stockage d'eau et d'éléments minéraux (pH neutre, capacité d'échange cationique et taux de saturation en bases élevés) possèdent un pouvoir épurateur élevé. A l'inverse, un sol peu profond, pauvre en biomasse, mal structuré et sujet à l'engorgement a un pouvoir épurateur faible.

Le sol contribue à la modification de la qualité de l'eau. Il joue un rôle de filtre d'autant plus efficace que son pouvoir épurateur est élevé. A l'inverse, les produits apportés sur un sol au pouvoir épurateur faible (comme les sols alluviaux sableux) peuvent polluer les nappes souterraines.

Argiles et fixation de la matière organique

Il existe une relation étroite entre la teneur en argile et la teneur en matière organique d'un sol. Les argiles adsorbent (c'est-à-dire fixent plus ou moins fortement) les molécules organiques et les protègent de la décomposition. Ce sont les argiles de type montmorillonite qui fixent le plus fortement les molécules organiques. Viennent ensuite les illites, puis les kaolinites.

Capacité de stockage d'un sol en éléments nutritifs

La capacité de stockage d'un sol en éléments nutritifs dépend des caractéristiques du complexe argilo-humique, c'est-à-dire des teneurs et des types d'argile et de matière organique. Cette capacité de stockage en éléments nutritifs est une composante importante de la fertilité du sol.

La mesure de la capacité d'échange cationique (CEC) permet d'évaluer cette aptitude du complexe argilo-humique à constituer un réservoir en éléments nutritifs. Ces éléments sont sous la forme de bases échangeables (appelées aussi cations). La valeur de la saturation en bases de la CEC donne le niveau de remplissage de ce réservoir (cette valeur est appelée taux de saturation du complexe argilo-humique).

Dans une analyse standard de sol, sont mesurés les bases échangeables (Ca, Mg, K, Na) et le taux de saturation en bases de la CEC. Ces informations sont utilisées pour diagnostiquer l'état de fertilité du sol et pour définir les moyens de remédier à une éventuelle déficience. L'analyse de sol est un outil de conseil très efficace, nécessaire pour mettre au point la fertilisation : c'est pourquoi il est utile d'effectuer régulièrement des analyses de sol (tous les 4 à 7 ans).



Sol salé à Savanna avec nappe d'eau saumâtre peu profonde ayant un mauvais pouvoir épurateur. © P.-F. Chabalier



Examen du profil cultural sous maïs et comptage des racines.
© H. Saint Macary

Évolution des sols cultivés à La Réunion

Certaines caractéristiques du sol peuvent être modifiées par des facteurs naturels ou par l'action de l'homme. La dégradation des sols cultivés est due à des pratiques inadaptées, notamment un travail du sol trop intensif, combiné à l'absence de restitution organique. Cela se traduit par la baisse de la teneur en matière organique et par l'acidification. La stabilité structurale diminue, entraînant une sensibilité plus grande à l'érosion hydrique et éolienne. Pour les sols cultivés de La Réunion, le **tableau 2** décrit les principales causes de dégradation, leurs effets et les interactions avec les apports de matière organique ; cette liste n'est pas exhaustive et d'autres cas sont possibles.

L'amélioration des sols est obtenue par des pratiques adaptées qui réactivent les cycles biologiques : par exemple, remplacement des rotovateurs par des rotobêches dans les andosols, apports d'amendements organiques et calciques, choix des rotations en maraîchage (introduction de la culture de la canne)...



Compost de fumier de géranium.
© P.-F. Chaballier



Pratique

Qualité agronomique du sol et taux de matière organique

Pour chaque type de sol, il existe une valeur seuil de taux de matière organique : en dessous de cette valeur, les risques de dégradation deviennent élevés. L'entretien du taux en matière organique du sol est donc une priorité : la restitution de résidus de culture et l'apport de matières organiques exogènes (fumier, compost...) sont indispensables.



En savoir plus

Valeur seuil du taux de matière organique

Les seuils du taux de matière organique au-dessous desquels il y a risque de dégradation des sols ne sont pas connus avec exactitude. Pour la majorité des sols cultivés, ils se situent « à dire d'expert » entre 1,5 et 2 % de carbone, c'est-à-dire entre 2,5 et 3,5 % de matière organique. A La Réunion, ces chiffres sont en accord avec l'interprétation que l'on donne pour les sols des bas (sols ferrallitiques, sols bruns). Mais plus le sol est andique, plus la valeur du seuil observé augmente. D'après la base de données des analyses de sol du laboratoire d'agronomie du CIRAD, on estime que 20 % des sols réunionnais (tous sols confondus) seraient plus ou moins déficitaires en matière organique.



Apport de fumier de poule. © A. Nougadère



Tableau 2.

Les formes de dégradation des sols cultivés de l'île de La Réunion (certaines données d'après Walter, 2002).

Dégradation des sols	Cibles menacées	Effets généraux	Conséquences pour l'exploitation agricole	Origine	Solutions techniques applicables à la parcelle
Baisse de la teneur en matière organique	Eau Sol Plante	<ul style="list-style-type: none"> • Effet sur le cycle de N et émission de CO₂ • Baisse de l'activité biologique, de la fertilité (capacité d'échange cationique) et de la stabilité structurale 	<ul style="list-style-type: none"> • Baisse de rendement 	<ul style="list-style-type: none"> • Travail du sol répété (maraîchage) • Baisse des restitutions organiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Amendements organiques • Plantes de couverture • Modification des rotations de cultures
Erosion	Sol Plante Eau Océan	<ul style="list-style-type: none"> • Perte de sol, de minéraux et de matière organique • Pollution des eaux du lagon 	<ul style="list-style-type: none"> • Perte du patrimoine sol • Coûts d'aménagement • Baisse du rendement 	<ul style="list-style-type: none"> • Déstructuration du sol (travail du sol) • Culture sur pente 	<ul style="list-style-type: none"> • Amendements organiques • Plantes de couverture • Respect des calendriers d'apports • Aménagements
Baisse de l'activité biologique	Sol Plante Eau	<ul style="list-style-type: none"> • Baisse de fertilité • Sensibilité à l'érosion • Tassement et dégradation du sol 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des intrants • Déséquilibres entraînant des maladies 	<ul style="list-style-type: none"> • Travail du sol répété • Produits phytosanitaires • Rotations simplifiées 	<ul style="list-style-type: none"> • Amendements organiques • Plantes de couverture • Modification des rotations
Acidification	Sol Plante Eau	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicité aluminique • Toxicité par éléments traces métalliques (ETM) 	<ul style="list-style-type: none"> • Baisse de rendement • Réduction du nombre de cultures possibles 	<ul style="list-style-type: none"> • Excès d'eau et d'engrais N et K 	<ul style="list-style-type: none"> • Chaulage
Contamination par les éléments traces métalliques (ETM)	Plante Santé humaine et animale	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de phytotoxicité • Risque de toxicité par introduction des ETM dans la chaîne alimentaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Sols non cultivables et production impropre à la consommation 	<ul style="list-style-type: none"> • Apports d'effluents riches en ETM (Cu, Zn, Pb) ou solubilisant les ETM du sol (Ni, Cr, Cu) 	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle des apports organiques • Chaulage
Excès de N	Plante Sol Air Eau Océan	<ul style="list-style-type: none"> • Pollution air, eau • Phytotoxicité • Eutrophisation du lagon • Risque alimentaire dû aux nitrates 	<ul style="list-style-type: none"> • Baisse de qualité des fruits et légumes • Mauvaise fructification • Allongement des cycles culturaux 	<ul style="list-style-type: none"> • Apports non raisonnés de matières organiques ou minérales 	<ul style="list-style-type: none"> • Baisse des apports N (formes minérales et organiques)
Excès de K	Plante Eau Sol Santé animale	<ul style="list-style-type: none"> • Baisse du sucre extractible de la canne • Risque alimentaire chez l'animal (prairie) 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût des soins pour les animaux 	<ul style="list-style-type: none"> • Excès d'apports de vinasse et de fertilisation K 	<ul style="list-style-type: none"> • Fertilisation raisonnée
Excès de P	Eau Océan	<ul style="list-style-type: none"> • Pertes par ruissellement • Eutrophisation du lagon 	-	<ul style="list-style-type: none"> • Fertilisation non raisonnée • Apports d'effluents en excès (lisiers) 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des apports d'effluents et d'engrais minéraux riches en P



Ce qu'il faut retenir du chapitre 2



✓ **Le sol est une ressource peu renouvelable à l'échelle humaine.**

Il permet la régulation des cycles naturels de l'eau, de l'air et des substances minérales et organiques.

✓ **Le sol abrite une multitude d'êtres vivants.**

Ce sont des microorganismes, algues, champignons, animaux et végétaux de tailles diverses. Cette vie souterraine est indispensable car elle assure la transformation des résidus végétaux et animaux en matière organique du sol et en éléments minéraux disponibles pour les cultures.

✓ **La matière organique du sol s'associe aux argiles et aux silicates d'alumine pour former le complexe argilo-humique.**

Le complexe argilo-humique donne au sol ses caractéristiques de structure, de porosité, de stockage d'éléments minéraux nutritifs et de stockage de l'eau. En résumé, la matière organique du sol détermine l'aptitude d'un sol à être cultivable. Pour toutes ces raisons, la restitution de résidus de culture et l'apport raisonné de matières organiques extérieures sont indispensables.

✓ **Les sols cultivés de La Réunion sont acides, peu épais et riches en éléments fins.**

On estime que 20 % des sols réunionnais manquent de matière organique. Ils contiennent naturellement des métaux lourds (Ni et Cr notamment) qui limitent certains épandages.

✓ **Les pratiques agricoles inadaptées provoquent la dégradation rapide du sol cultivé.**

Cette dégradation est amplifiée par les pluies violentes et les pentes : érosion, perte de fertilité, tassement, pollution de l'environnement. Exemples : faibles apports organiques, fertilisation N - P - K non raisonnée, travail du sol répété, absence de rotation, équipement inadéquat, excès de pesticides. Inversement, des pratiques adaptées permettent de maintenir et de restaurer la fertilité du sol.

✓ **Les analyses de sol doivent être régulières.**

Des analyses de sol effectuées tous les 4 à 7 ans permettent de suivre l'évolution de la fertilité et de réajuster les fertilisations organiques et minérales selon les besoins en éléments nutritifs de la culture en place.



Vers de terre.
© P.-F. Chabalier

La fraction biologique du sol

La fraction biologique du sol peut être divisée en deux grandes catégories :

- les organismes vivants, également appelés biomasse. Ils peuvent être d'origine végétale, animale ou microbienne ;
- la matière organique du sol. Elle est composée de la matière organique fraîche végétale (résidus végétaux) et animale (déjections, cadavres), et de l'humus (molécules organiques complexes liées en général à la matière minérale, notamment aux argiles).

Après la description des organismes vivants et de la matière organique, ce chapitre explique la manière dont les différentes composantes de ces deux catégories (appelées souvent « compartiments ») interagissent.

Organismes vivants du sol	36
<i>Biomasse microbienne</i>	36
<i>Champignons du sol</i>	37
<i>Biomasse végétale</i>	37
<i>Biomasse animale</i>	38
Transformation de la matière organique dans le sol	41
<i>Minéralisation</i>	41
<i>Humification</i>	44
Rôles de la matière organique du sol	46
<i>Source de carbone</i>	46
<i>Alimentation des plantes</i>	46
<i>Structure des sols</i>	47
Matière organique du sol et cycle de l'azote	48
Ce qu'il faut retenir du chapitre 3	52

Organismes vivants du sol

L'ensemble de la biomasse atteint jusqu'à 20 % de la masse totale de la fraction biologique dans un sol de prairie (milieu très actif sur le plan biologique). Cela peut donc représenter plusieurs dizaines de tonnes de biomasse à l'hectare.



Staphylin (Coleoptera, Staphylinidae). Prédateurs de larves d'insectes. © J. Rochat



Lycose (Araneae, Lycosidae). Araignée vivant typiquement dans la litière. Prédateur. Transporte ses petits sur le dos. © J. Rochat



Grillon (Orthoptera, Gryllidae : *Gryllus bimaculatus*). Au sol. Même mode de vie que les blattes. Creuse des terriers. © J. Rochat

Biomasse microbienne

La biomasse microbienne, appelée aussi micro-organismes ou microflore, représente quelques tonnes par hectare. Elle est formée de bactéries et d'actinomycètes (groupe des eubactéries ramifiées, proches des champignons). On trouve également des algues et des cyanophycées (algues photosynthétiques) dont certaines peuvent fixer l'azote de l'air. Toutes ces espèces sont présentes dans les sols de La Réunion.

Les bactéries jouent un rôle essentiel dans la solubilisation et dans la précipitation des minéraux, mais aussi dans toutes les transformations de la matière organique, dont la minéralisation. Elles synthétisent des polysaccharides très résistants à la dégradation qui forment une part importante de la matière organique humifiée (c'est-à-dire l'humus).



Pratique

Acidité des sols et minéralisation

L'activité des bactéries dépend fortement des conditions physico-chimiques du sol. Les bactéries qui minéralisent la matière organique ne sont pas actives lorsque le pH descend au-dessous de 5,5 (sols très acides). La forte acidité de nombreux sols de La Réunion limite l'activité des bactéries minéralisatrices. C'est pourquoi, dans les sols cultivés, le chaulage est nécessaire pour maintenir le pH au-dessus de 5,5.

Champignons du sol

Les champignons du sol sont très variés : champignons inférieurs, moisissures, champignons formant des fructifications (les carpophores, plus ou moins comestibles selon les espèces), etc.

Tous sont hétérotrophes, c'est-à-dire qu'ils utilisent des aliments organiques comme source de carbone. Ils sont formés de filaments ramifiés visibles à l'œil nu en période humide. Ces filaments s'étendent sur des surfaces considérables : on estime que la longueur totale de filaments dans le sol est de l'ordre de 50 à 250 m par gramme de sol. Ce sont des colonisateurs à grand rayon d'action. Ils peuvent transporter des quantités élevées d'eau et de substances d'un endroit à l'autre du sol, sur une distance de plusieurs mètres. Ils sont moins sensibles que

les bactéries aux conditions du milieu et résistent bien aux conditions acides du sol.

Certains champignons basidiomycètes, comme les bolets, et certaines pourritures molles fabriquent des composés humiques incorporés rapidement à la matière organique du sol.

Les mycorhizes, associations symbiotiques entre un certain type de champignon et les racines d'un végétal, collectent les sels minéraux qu'elles transfèrent à la plante. Leur pouvoir d'extraction est particulièrement élevé pour le phosphore. Certaines familles de plantes comme les alliées (ail, oignon, poireau) ont peu de racines et utilisent les mycorhizes.

Biomasse végétale

Le système racinaire des plantes est un constituant important des organismes vivant dans le sol. Il comprend plusieurs parties, caractérisées par le diamètre et le niveau de ramification. La longueur et la forme des racines dépendent de facteurs génétiques des plantes et des contraintes du milieu. Ce sont les racines les plus petites, ou radicelles, qui permettent la nutrition des plantes. Elles absorbent l'eau et les éléments minéraux, elles sécrètent des substances organiques plus ou moins complexes. La radicelle et son environnement de sol immédiat sont un lieu privilégié d'échange appelé la rhizosphère. C'est une zone du sol très riche en microorganismes et en champignons.



Colonisation des coulées récentes par des jeunes filloas dont les racines passent par les fissures de la lave. La nutrition azotée est assurée par des bactéries symbiotiques. © V. van de Kerchove



En savoir plus

Sols et racines à La Réunion

Les plantes indigènes qui poussent sur les andosols des hauts ont des racines assez superficielles et traçantes. De ce fait, les arbres comme les tamarins (*Acacia heterophylla*) sont sensibles au vent, qui les couche.

En zone sèche, le prosopis (*Prosopis juliflora*) est un arbuste épineux qui s'adapte bien au sol sec et peu épais des coulées récentes de lave de l'Ouest. Ses racines ont la faculté d'aller chercher l'eau très en profondeur à travers les fissures des roches. Cet arbuste, originaire d'Amérique du Sud, colonise les milieux difficiles.

Certaines coulées de lave récentes de l'Est portent de belles forêts naturelles car les racines des arbres passent dans les fentes entre les blocs de basalte pour aller coloniser les sols anciens recouverts par la lave.

Masse des racines

Le système racinaire est très difficile à mesurer. La production annuelle de racines peut être importante : elle est de l'ordre de 6 t de matière sèche par hectare en milieu cultivé, jusqu'à 10 t/ha en forêt. La croissance des racines dépend de l'humidité du sol : elle est permanente dans certaines zones humides, alors qu'elle dépend des périodes de pluie en zone sèche. Pour la canne à sucre, la masse de racines atteint 7 t/ha de matière sèche produite chaque année (10 % de la biomasse totale de la plante). Cette masse de racines se renouvelle tous les ans et enrichit le sol en matière organique après la coupe.



Racines de canne à sucre en culture hydroponique.
© P.-F. Chabalier

Biomasse animale

Egalement nommée faune du sol, la biomasse animale peut être divisée en quatre catégories selon la taille des organismes : micro-, méso-, macro- et mégafaune (**tableau 1**). Les effets de la faune du sol sont mécaniques : macro-brassage, micro-brassage, formation de galeries, fragmentation de la matière organique fraîche, mélange intime entre la matière organique et les minéraux du sol, formation d'agrégats. Ces activités sont indispensables au développement des qualités agronomiques d'un sol.

**Pratique****Vers de terre et cultures**

Les populations de vers de terre augmentent sous les cultures pérennes à fort enracinement, notamment les prairies et les plantes de couverture. Le nombre de vers de terre peut en revanche diminuer sous culture :

- si les façons culturales sont intensives (travail du sol répété, fertilisation minérale forte, emploi massif de pesticides) ;
- si le sol cultivé s'acidifie ;
- si les sols ont subi une forte érosion avec perte de matière organique.



Tableau 1.

Les quatre catégories de faune du sol.

Catégorie de faune	Espèces	Abondance
Microfaune (longueur < 0,2 mm)	Protozoaires (amibes, flagellés, ciliés) Petits nématodes	10 milliards à cent mille milliards d'individus par m ² de sol !
Mésafaune (0,2 mm ≤ longueur < 4 mm)	Nématodes Acariens Collemboles Micro-arthropodes	En masse : 1 à 40 g/m ² de sol
Macrofaune (4 mm ≤ longueur < 8 cm)	Annélides ou vers de terre (enchytrées et lombrics) Escargots, limaces Crustacés (cloportes et autres, proches des crevettes) Myriapodes ou mille-pattes (iules et scolopendres) Araignées Insectes (termites, fourmis, diptères...)	100 à 1 000 vers de terre par m ² de sol type andosol 200 à 400 coléoptères par m ² de sol 100 à 300 fourmis par m ² de sol 500 diplodopodes par m ² de sol 40 chilopodes par m ² de sol
Mégafaune (longueur ≥ 8 cm)	Mammifères fouisseurs (taupes, campagnols, tangués...) Amphibiens (crapauds, reptiles...)	Variable

L'activité essentielle des vers de terre

Plus de la moitié de la masse de la faune est constituée de vers de terre, qui appartiennent à la famille des lombriciens (lombrics). La densité des lombrics est de l'ordre de 100 à 1 000 individus/m² de sol cultivé. Dans les sol tropicaux, les vers de terre appartiennent surtout à la catégorie des endogés (les vers endogés construisent des galeries horizontales et ingèrent de grandes quantités de terre). Le lombric le plus courant à La Réunion est *Pontoscolex corethrurus*. Il est commun dans les sols tropicaux et il s'adapte à de nombreuses conditions écologiques.

Dans les sols des hauts de La Réunion, le ver de terre le plus souvent rencontrée est un ver épi-endogé de petite taille (*Amyntas corticis*, originaire d'Asie de l'Est) : les vers épi-endogés se nourrissent des litières superficielles et construisent des galeries horizontales et verticales.

Parmi toutes les activités de la faune, l'action des vers de terre est la plus visible. C'est celle qui a le plus de conséquences sur la capacité

d'un sol à être cultivé durablement. Les vers de terre agissent sur la structure, la densité apparente et les caractéristiques chimiques du sol.

Les vers ingèrent plusieurs centaines de tonnes de sol par hectare et par an. Un ver ingère 2 à 4 fois son propre poids de terre par jour. Dans les sols des hauts, cela correspond à 2 à 4 g de sol par jour. Ils améliorent ainsi les propriétés physiques des sols, créent un réseau de galeries qui facilitent l'enracinement, l'infiltration de l'eau et la circulation des gaz, et favorisent la formation d'une structure grumeleuse fine.

L'effet des vers de terre se manifeste aussi sur les caractéristiques chimiques du sol : les nutriments contenus dans les déjections des vers (les turricules) sont davantage disponibles pour les plantes, en particulier l'azote et le phosphore. L'activité microbienne est accrue dans le tube digestif des vers : la fragmentation, la transformation et la minéralisation de la matière organique sont augmentées. Cette activité se poursuit plusieurs jours dans les turricules frais.

En savoir plus

Vers de terre et nématodes

La présence de lombrics peut faire diminuer les populations de nématodes parasites des plantes. Cela a été observé à La Réunion : par exemple, dans une culture de maïs associée à une couverture végétale de lotier qui favorise la multiplication des vers de terre, les populations de nématodes endoparasites (*Pratylenchus vulnus*) ont chuté de moitié dans des racines de maïs.

Le lombric peut parfois être un vecteur de propagation de nématodes parasites des animaux, comme les cestodes (vers segmentés), dont font partie les « ténias ».



Ver épi-endogé dans les andosols des hauts.
© P.-F. Chaballier

Ver plat (Platelminta : *Bipalium* sp.).
Prédateur de vers de terre. © J. Rochat

L'activité des autres animaux de la macrofaune

Dans les litières, les insectes, les arthropodes, les myriapodes et les crustacés ont un rôle significatif dans la première phase de fragmentation et de digestion de la matière organique fraîche. A La Réunion, c'est le cas du paillis de canne à sucre et de la litière forestière des sols acides des hauts de l'île.

Certaines larves vivant dans le sol occasionnent des dégâts sur les cultures. La plus connue est le ver blanc, larve du coléoptère *Hoplochelus marginalis*, qui se nourrit de racines vivantes. D'autres insectes, comme les cétoines et les cafards, se nourrissent de matière organique morte (racines mortes, litières...).



Larve de rhinocéros (Insecte, Coleoptera, Scarabaeidae : *Oryctes borbonicus*).
Larves dans le terreau. Ne pas confondre avec les vers blancs de hannetons qui, eux, mangent les racines. © J. Rochat

En savoir plus

Fourmis et termites à La Réunion

En zone tropicale, les termites ont un rôle identique à celui des fourmis en zone tempérée. A La Réunion, les deux insectes coexistent. Termites et fourmis édifient des nids et creusent des galeries dans le sol. Le rôle de ces galeries est aussi important que celles des lombrics. Les fourmis les plus répandues et les plus actives sont *Solenopsis geninata*, connues pour leur agressivité et leur piqûre. Sur les onze espèces de termites présentes à La Réunion, *Coptothermes havilandi* est celle qui a une action importante dans les sols cultivés. Les termites se nourrissent de végétaux morts, alors que les fourmis ont un régime plus varié : elles élèvent par exemple des parasites des végétaux (cochenilles, pucerons).



Carabique (Coleoptera, Carabidae). Au sol, sous les pierres. Prédateur de divers invertébrés (vers de terre, mollusques, insectes...). © J. Rochat



Transformation de la matière organique dans le sol

La décomposition des organismes vivants dans les sols conduit à l'apparition d'une matière organique fraîche qui est le point de départ de deux grands processus de transformation :

- la minéralisation, qui transforme les matières organiques du sol en éléments simples (gaz et éléments minéraux nutritifs pour les plantes) ;
 - l'humification des diverses formes de matière organique fraîche, qui aboutit à l'humus du sol.
- L'équilibre entre les processus de minéralisation et d'humification de la matière organique est à la base de la plupart des propriétés agronomiques des sols. Connaître les conditions de réalisation de ces processus permet de choisir et de calculer au mieux les apports organiques à la parcelle.



Cloporte (Crustacea, Isopoda). Au sol, dans la litière. Participe activement au recyclage des débris végétaux.
© J. Rochat

Minéralisation

Le processus de minéralisation conduit à la destruction d'une partie de la matière organique. Les molécules organiques sont transformées en éléments simples : gaz carbonique (CO_2), azote minéral et éléments minéraux. Ce sont surtout les microorganismes qui effectuent ces transformations. Beaucoup de facteurs interviennent dans ce processus : la nature de la matière organique, les facteurs physico-chimiques et biologiques du sol, les cultures et les pratiques agricoles.

La minéralisation potentielle du stock de matière organique du sol peut être mesurée en conditions de laboratoire (➔ [chapitre 4 - Analyses agronomiques](#)). Deux coefficients sont déterminés : le coefficient K_2 , ou coefficient de destruction annuelle de la matière organique, basé sur la mesure de la minéralisation du carbone, et le coefficient de minéralisation annuelle de l'azote. À titre indicatif, ces mesures ont été faites sur plusieurs sols de La Réunion ([tableau 2](#)). À partir

de ces coefficients, on peut calculer la quantité de matière organique du sol détruite annuellement (ce calcul aboutit au bilan humique, ➔ [chapitre 5 - Les matières organiques produites à La Réunion](#)) et la quantité d'azote minéral fournie par sol ([tableau 3](#)).



En savoir plus

Une minéralisation moins élevée qu'en zone tempérée

L'activité de minéralisation des sols de La Réunion est moins élevée que celle des sols tempérés, sans doute à cause de leur acidité, de leur origine volcanique, de la présence de complexes organo-minéraux stables et d'une concentration assez faible en microorganismes. La vitesse de minéralisation de N varie de 0,35 kg/ha/jour (pour la couche superficielle 0-25 cm) dans un sol brun ferrallitique à 1,42 kg/ha/jour dans un andosol perhydraté. Ces valeurs sont très faibles par rapport à celles des sols bruns de milieux tempérés.

3 - La fraction biologique du sol

Tableau 2.

Minéralisation potentielle annuelle de la matière organique mesurée dans les sols de La Réunion, pour l'horizon superficiel 0-25 cm : coefficient de destruction annuelle de la matière organique K_2 , coefficient de minéralisation annuelle de l'azote, vitesse de minéralisation journalière de l'azote (d'après les travaux CIRAD-INRA, 2003).

Type de sol	K_2 (%) par an	Minéralisation annuelle de l'azote (%)	Vitesse de minéralisation de l'azote (kg/ha/jour)
Andosol perhydraté (Plaine des Cafres)	1,20	2,68	1,42
Andosol perhydraté (Saint-Rose)	0,76	1,91	1,52
Andosol des hauts de l'Ouest	1,29	2,00	0,64
Sol ferrallitique andique des hauts de l'Est	1,17	1,90	1,12
Sol brun ferrallitique (La Bretagne)	1,91	0,65	0,35
Sol ferrallitique (Sainte-Suzanne)	1,28	0,76	0,42
Sol brun de l'Ouest	1,50	1,10	0,80
Sol brun vertique de l'Ouest	1,60	1,32	0,96

Tableau 3.

Calcul des quantités potentielles d'azote et de matière organique minéralisés annuellement. Cas d'un andosol des hauts de l'Ouest, à 1 000 m d'altitude.

Caractéristiques du sol	Calcul de l'azote minéralisé (kg/ha/an)	Calcul de la matière organique minéralisée (t/ha/an)
Taux de matière organique : 5,3 % N total : 0,3 % Densité apparente : 1 t/m ³ Epaisseur de sol travaillée : 0,30 m Surface : 10 000 m ² (1 ha) Coefficient de minéralisation annuelle de l'azote : 2,0 % K_2 : 1,29 %	a – Quantité de sol $1 \text{ t/m}^3 \times 0,30 \text{ m} \times 10\,000 \text{ m}^2$ $= 3\,000 \text{ t/ha}$ b – Quantité N total $3\,000 \text{ t/ha} \times 0,3 \% = 9 \text{ t/ha}$ c – N minéralisé (kg/ha/an) $9 \text{ t/ha} \times 2,0 \% = 0,180 \text{ t/ha}$ soit 180 kg N/ha/an	a – Quantité de sol $1 \text{ t/m}^3 \times 0,30 \text{ m} \times 10\,000 \text{ m}^2$ $= 3\,000 \text{ t/ha}$ b – Stock organique total $3\,000 \text{ t/ha} \times 5,3 \% = 159 \text{ t/ha}$ c – Matière organique minéralisée (t/ha/an) $159 \text{ t} \times 1,29 \% = 2 \text{ t/ha/an}$



Pratique

Absorption de l'azote par la plante

L'ion nitrate NO_3^- est prélevé préférentiellement par les racines des plantes. L'ion ammonium NH_4^+ peut être prélevé par les champignons et les mycorhizes et parfois par les racines des plantes à un stade jeune. Le flux d'absorption de NO_3^- par une culture intensive peut atteindre plusieurs kilos par hectare et par jour pour satisfaire sa pleine croissance. La production naturelle du sol en N par minéralisation ne permet pas de tels flux. C'est pourquoi la fertilisation azotée complémentaire est nécessaire pour obtenir des rendements élevés et rentables.

Dégradation de la matière organique

Plus les molécules organiques sont complexes et grosses, plus la dégradation est difficile. Plus les molécules organiques sont petites et simples, plus elles sont facilement dégradées par l'ensemble de la biomasse vivante.

Les composés organiques solubles sont les plus rapidement utilisés par les microorganismes. Les résidus aériens (feuilles, tiges...), riches en cellulose et en azote, servent de substrat à la biomasse vivante du sol qui les transforment en compost de surface. Cette transformation induit des pertes élevées en carbone par respiration (CO_2) et aboutit à des résidus organiques variés.

Les hémicelluloses et la cellulose sont de grosses molécules organiques pauvres en azote. Pour les dégrader, les microorganismes ont besoin de beaucoup d'azote, qu'ils prélèvent dans le milieu (azote du sol, ou azote apporté par un complément d'engrais minéral).

Facteurs physico-chimiques du sol

Température du sol. Les microorganismes ont une activité optimale entre 25 et 35 °C : c'est la température de la plupart des sols cultivés de La Réunion. La minéralisation est encore possible à des températures plus élevées par des enzymes produites par ces microorganismes. En dessous de 10 °C, la minéralisation est très réduite : c'est ce qui se passe dans les sols des hauts pendant la saison froide, de juin à septembre. Des symptômes de carence en N apparaissent sur les cultures pendant cette période.

Etat hydrique. L'humidité du sol est optimale aux valeurs proches de la capacité au champ, c'est-à-dire lorsque la réserve utile en eau du sol est complètement alimentée. Trop d'humidité empêche la circulation de l'oxygène nécessaire à la respiration des organismes vivants. A l'inverse, la sécheresse provoque l'inactivité des populations microbiennes.

Teneur en oxygène (O_2). La plupart des transformations de la matière organique réalisées par les microorganismes demande de l'oxygène. Les racines en ont besoin aussi. Gaz et eau utilisent le même mode de circulation dans le sol, c'est-à-dire la porosité, matérialisée par une multitude de pores et de galeries entre les agrégats du sol. La bonne circulation des gaz dépend donc du taux d'humidité du sol et du volume de la porosité, lié à l'état de la structure du sol. Sur le plan pratique, l'agriculteur doit donc favoriser l'aération du sol.

pH du sol. L'activité microbienne est optimale à la neutralité (pH = 7). Il est probable qu'une adaptation de la microflore bactérienne existe dans les conditions des sols acides de La Réunion (pH inférieur à 5). Pour des sols très acides (pH = 4), la microflore est surtout formée de champignons et la matière organique a tendance à s'accumuler (c'est *l'avoune* des andosols perhydratés acides des hauts).

Composition du sol. La teneur en matière organique, la teneur en argile et le type d'argile du sol conditionnent la qualité du complexe argilo-humique qui stocke les éléments minéraux assimilables par les plantes. La composition chimique du sol a également une action directe sur

3 - La fraction biologique du sol

le pH et sur les sources nutritionnelles minérales autres que C et N (P, oligo-éléments, etc.).

Cultures et pratiques culturales

Le type de culture intervient par son système d'enracinement (plus ou moins ramifié et dense) et par la nature des exsudats de ses racines. La rhizosphère joue un rôle fondamental dans la vie du sol : elle favorise le développement des microorganismes, grâce aux exsudats qui contiennent des sucres et d'autres substrats nutritifs.

Les pratiques culturales agissent sur l'ensemble des facteurs physiques, chimiques et biologiques du sol (**tableau 4**).



Prélèvement de sol pour suivre le devenir des apports de matières organiques dans le sol (essai MVAD). © V. van de Kerchove

Tableau 4.

Effets des pratiques culturales sur la minéralisation de la matière organique.

Pratiques culturales	Facteurs du sol modifiés <i>Conséquences sur la minéralisation de la matière organique</i>
Travaux mécaniques (labours)	Structure et porosité du sol modifiées <i>Mode d'incorporation des résidus dans le sol Minéralisation accélérée</i>
Irrigation	Humidité du sol maintenue <i>Durées de minéralisation plus longues</i>
Fertilisation et chaulage	Fertilité chimique augmentée, pH relevé Restitutions de la culture (racines et organes aériens) plus élevées <i>Minéralisation augmentée</i>
Pesticides	Biomasse du sol moins importante <i>Minéralisation réduite</i>

Humification

La formation de l'humus, ou humification, consiste en des recombinaisons de molécules organiques de nature diverses :

- molécules complexes déjà présentes dans le sol ;
- molécules simples venant directement de substrats organiques récemment dégradés par la flore et la faune du sol ;

– très peu de molécules directement issues des débris végétaux ou animaux.

Ces recombinaisons sont issues de processus chimiques complexes qu'on appelle condensation et polymérisation. Lors des recombinaisons, des molécules contenant N sont incorporées dans les macromolécules humiques.



Les racines sont la source essentielle de l'humus du sol. Leur croissance est continue. Leurs tissus sont pauvres en N et riches en lignine, et leur décomposition aboutit surtout à des formes stables de l'humus. La transformation de la lignine aboutit à de grosses molécules très stables : les acides humiques.

La formation de l'humus dépend des micro-organismes présents et surtout des enzymes qu'ils libèrent. Comme pour le processus de minéralisation de la matière organique, beaucoup de facteurs interviennent : les facteurs physico-chimiques et biologiques du sol, les cultures et les pratiques agricoles. La formation de l'humus est ralentie en sol très acide, en sol très humide et hydromorphe et lorsque la température du sol diminue.

Classifications des matières organiques du sol et des composés de l'humus

Les composés de l'humus sont classés en fonction de leur masse moléculaire, obtenues grâce à des procédés chimiques d'extraction. Le terme d'humus du sol regroupe un ensemble de molécules, classées ci-après, des plus petites aux plus complexes :

- acides créniques ;
- acides hymatomélaniques ;
- acides fulviques et acides humiques (gris et bruns) ;
- humines (microbienne, résiduelle ou héritée des matières organiques d'origine).

Sans tenir compte de la taille des molécules, une autre façon de classer les constituants de l'humus est de mesurer leur comportement face à la minéralisation. On distingue alors deux types d'humus :

- les molécules d'humus jeune, sujettes à la minéralisation ;
- les molécules d'humus stable, qui peuvent avoir plusieurs milliers d'années. Elles sont très liées à la matière minérale qui les protège des dégradations microbiennes.

Ces deux classifications, fondées sur les analyses de laboratoire, ont cependant une utilité réduite pour l'agriculture. Il est difficile de faire le lien

entre le comportement du sol, notamment ses propriétés physiques, et les types de matière organique.

Une autre manière de classer la matière organique du sol est fondée sur le rapport C/N (→ chapitre 4 - *Analyses agronomiques*) et sur l'activité biologique dont elles sont le lieu. Cette classification donne trois catégories de matière organique du sol :

- le mull, C/N : 8 à 15. C'est la forme la plus répandue dans les sols de La Réunion. C'est une matière organique fortement transformée par les lombrics. Elle donne au sol une structure micro-grumeleuse ;
- le moder, C/N : 15 à 25. On le trouve surtout dans des sols non cultivés, peu épais, comme les lithosols et les régosols des hauts de La Réunion. Le moder apparaît lorsque les contraintes physico-chimiques et climatiques limitent l'activité des bactéries et des vers. Les champignons sont plus actifs, ainsi que certains insectes et arthropodes. La décomposition de la matière organique fraîche est incomplète. La structure du sol est plus massive ou particulaire ;
- le mor, C/N > 25. Appelé *avoune* dans les hauts de La Réunion. Le mor ressemble à une tourbe, sous forêt de tamarins. La minéralisation est très faible, car l'activité biologique est limitée.



En savoir plus

L'humus des sols de La Réunion

A La Réunion, la nature des composés organiques est différente selon les sols : les acides fulviques prédominent dans les andosols alors que, dans les autres sols, ce sont les acides humiques qui prédominent.

La liaison de la matière organique avec les argiles est également différente suivant les sols. Par exemple, dans les andosols, la liaison des acides fulviques avec les allophanes est très forte.

Ces deux aspects confèrent à chaque type de sol des particularités physiques (couleur, structure, perméabilité...) et chimiques (capacité d'échange anionique et cationique, pH...).

! Pratique**Que peut faire l'agriculteur ?**

Il est difficile pour l'agriculteur de modifier la nature de la matière organique du sol. Cependant, plusieurs techniques culturales sont favorables à une bonne évolution. Chaulage et travail du sol adapté favorisent l'activité microbienne en améliorant les facteurs chimiques et physiques du sol. La pratique régulière des restitutions organiques et des apports de matières organiques exogènes augmentent en général la minéralisation et l'humification, et améliorent les propriétés physiques des sols. L'évolution à long terme aboutit à l'augmentation du stock d'humus stable du sol.

Rôles de la matière organique du sol

La matière organique du sol joue trois rôles essentiels :

- énergétique, comme source de carbone ;
- physique, comme élément majeur de la structure du sol ;
- nutritionnel, pour l'alimentation des plantes.

Ces trois rôles dépendent des types de composés organiques, de leur quantité et de leur transformation.

Source de carbone

Le carbone de la matière organique du sol est la source énergétique des microorganismes hétérotrophes, c'est-à-dire ceux qui ne tirent pas leur énergie de la lumière du soleil (c'est le cas de la majorité des microorganismes).

Alimentation des plantes

La minéralisation de la matière organique libère les éléments nutritifs (N, P, K, S...) contenus dans les molécules organiques. Ces éléments contribuent à l'alimentation des plantes. La totalité de l'azote mobilisé par une végétation naturelle vient de la minéralisation naturelle de la matière organique du sol (sauf les légumineuses



Comptage précis des racines.
© H. Saint Macary

qui fixent l'azote atmosphérique). Pour une culture fertilisée, une moitié de l'azote prélevé proviendrait de la minéralisation naturelle de la matière organique du sol et l'autre moitié serait apportée par les fertilisants, que ce soient des engrais minéraux ou des apports organiques.



Structure des sols

L'association entre la matière organique et les éléments fins du sol aboutit à la formation d'agrégats dont la taille peut varier de quelques micromètres à plusieurs centimètres. L'assemblage de ces agrégats constitue la structure du sol. Ils ont une certaine résistance physique aux agressions mécaniques naturelles ou artificielles (érosion, piétinement, émiettement, passage d'engins lourds...). Cette capacité à résister se mesure et s'appelle la stabilité structurale du sol.

Une « bonne » structure du sol se traduit par une porosité élevée et des agrégats grumeleux, qui améliorent la réserve en eau, la perméabilité et l'aération, l'enracinement et la résistance physique aux agressions.

Une bonne structure, souvent observée sous forêt naturelle avant la mise en culture, peut être rapidement détériorée par des pratiques culturales inadaptées. La diminution du stock de matière organique entraîne la baisse de la stabilité structurale. D'autres symptômes de dégradation de la parcelle sont ensuite observés : baisse de fertilité, érosion, baisse de rendements, etc. Le retour à un meilleur taux de matière organique et à une bonne stabilité peut être obtenu par de nouvelles pratiques, permettant à terme la restructuration du sol cultivé : réduction du travail du sol, apport de matières organiques humifiées, couverture végétale permanente du sol.



Pratique

Rotavator et rotobèche

Les herses rotatives (rotavator) sont souvent employées pour le maraîchage. Leur avantage est d'enfouir les résidus de culture et d'effectuer un travail du sol fin, sur une largeur de bande compatible avec la plasticulture. Mais elles ont aussi des effets négatifs. Le sol est réduit en poussière et la structure est détruite. Elles provoquent l'accélération de la minéralisation et la baisse du taux de matière organique. Elles créent aussi une semelle de labour vers 15 cm de profondeur; c'est-à-dire une couche de sol imperméable que les racines traversent difficilement. Les phénomènes d'érosion apparaissent rapidement sur ces sols.

Le remplacement des rotavators par des rotobèches, qui ont une action plus douce, est recommandé lorsque c'est possible.



Utilisation de la rotobèche pour enfouir de la matière organique dans une culture de canne à sucre. © V. van de Kerchove



En savoir plus

D'autres propriétés de la matière organique

L'assimilation de certains éléments par les plantes est améliorée grâce à d'autres propriétés de la matière organique :

- les propriétés chélatantes, qui rendent disponibles des oligo-éléments indispensables (Fe, Cu...) parce qu'ils sont sous des formes non assimilables dans le sol ;
- des molécules plus complexes (vitamines, acides aminés...) issues directement des matières organiques apportées peuvent également être absorbées par les plantes, leur conférant des résistances et une amélioration végétative. Ces phénomènes sont particulièrement observés chez des plantes cultivées sur sols enrichis en composts en agriculture biologique.

Matière organique du sol et cycle de l'azote

Le rôle nutritionnel de la matière organique peut être montré pour de nombreux éléments chimiques. Parmi ceux-ci, l'azote joue un rôle essentiel dans la nutrition des plantes et aussi dans les risques de pollution. Il mérite par conséquent un complément d'explications, qui est décrite ci-après et dans la **figure 1** (page 50).

Désamination

L'azote inclus dans les molécules organiques plus ou moins complexes est minéralisé par réactions enzymatiques (enzymes provenant des microorganismes) : c'est la désamination et l'ammonification des acides aminés produisant des ions ammonium (NH_4^+). L'ion NH_4^+ est assez fugace et peu mobile dans le sol. Il est facilement retenu par le complexe argilo-humique.

Nitrification

Le processus de nitrification a lieu dans le sol. Les bactéries du genre *Nitrosomonas* oxydent l'ammonium (NH_4^+) en nitrite (NO_2^-). Les bactéries du genre *Nitrobacter* oxydent les nitrites en nitrates (NO_3^-) : c'est la nitrification. L'ion NO_3^- n'est pas retenu dans le sol :

- soit il est prélevé avec la solution du sol par les racines ou par les microorganismes ;

- soit il est emporté avec l'eau de drainage dans les couches inférieures du sol.

Pertes par volatilisation de l'ammoniac

Il existe un cas où l'ammoniac contenu dans une matière organique peut se volatiliser en quantités importantes. C'est celui de l'épandage des lisiers, lors de périodes chaudes et sèches.



Épandage de lisier avec une cuve à déflecteur entraînant une forte volatilisation de l'ammoniac du lisier. © V. van de Kerchove



Pertes en nitrates

Les nitrates en excès par rapport aux besoins de la culture sont entraînés par les eaux de drainage (lessivage) ou par les eaux de surface (ruissellement et érosion). Ils peuvent ensuite contaminer les nappes et les zones côtières (lagon).

D'autres pertes sont possibles, comme la dénitrification, qui se produit en conditions d'anaérobiose (sols hydromorphes, excès d'eau). Elle est réalisée par des bactéries. Il se forme un gaz à effet de serre, l'oxyde d'azote N_2O . Dans certains sols très hydromorphes et perhydratés de La Réunion, ces réactions pourraient être importantes, mais c'est un flux gazeux difficile à mesurer.

Immobilisation par les microorganismes (ou « réorganisation »)

L'azote minéral est prélevé par les microorganismes pour la formation de leurs tissus : c'est la réorganisation de l'azote ou immobilisation. L'intensité de ce prélèvement dépend du rapport C/N du substrat organique à décomposer (résidus de végétaux ou déchets organiques apportés) :

– $C/N < 15-20$. L'azote libéré par la minéralisation est suffisant pour alimenter la culture et les microorganismes du sol. C'est le cas de matières organiques comme les boues et les lisiers ;

– $C/N \geq 20$. Il y a compétition entre l'absorption par les plantes et la réorganisation par les microorganismes du sol. L'enfouissement de paille ou de fumier peut provoquer une « faim d'azote » temporaire pour la culture. Un complément minéral azoté peut être fait à ce moment pour éviter un retard de croissance des jeunes plantes.

Azote des engrais minéraux

Une partie de l'azote apporté par l'engrais minéral est également rapidement réorganisée par les microorganismes pour la formation de leurs tissus. Les corps microbiens se minéralisant

partiellement par la suite, libèrent cet azote ainsi stocké. Une petite partie des excès d'azote apporté participe donc à l'enrichissement du stock de matière organique du sol mais le reste risque d'être perdu par drainage si la culture ne l'a pas utilisé.

Fixation symbiotique de l'azote

Certains microorganismes convertissent l'azote atmosphérique gazeux en azote minéral. Les bactéries du genre *Rhizobium*, symbiotiques des plantes légumineuses, fixent activement N, jusqu'à 100 kg/ha. Ce gain d'azote « gratuit » est très intéressant lorsqu'on cultive des légumineuses (trèfles et *Desmodium* en élevage, haricot et autres grains en maraîchage).

Les autres formes de fixation non symbiotique (bactéries et algues), qui se développent plus ou moins selon les cultures, ne représentent que quelques kilos par hectare.

Autres entrées d'azote atmosphérique

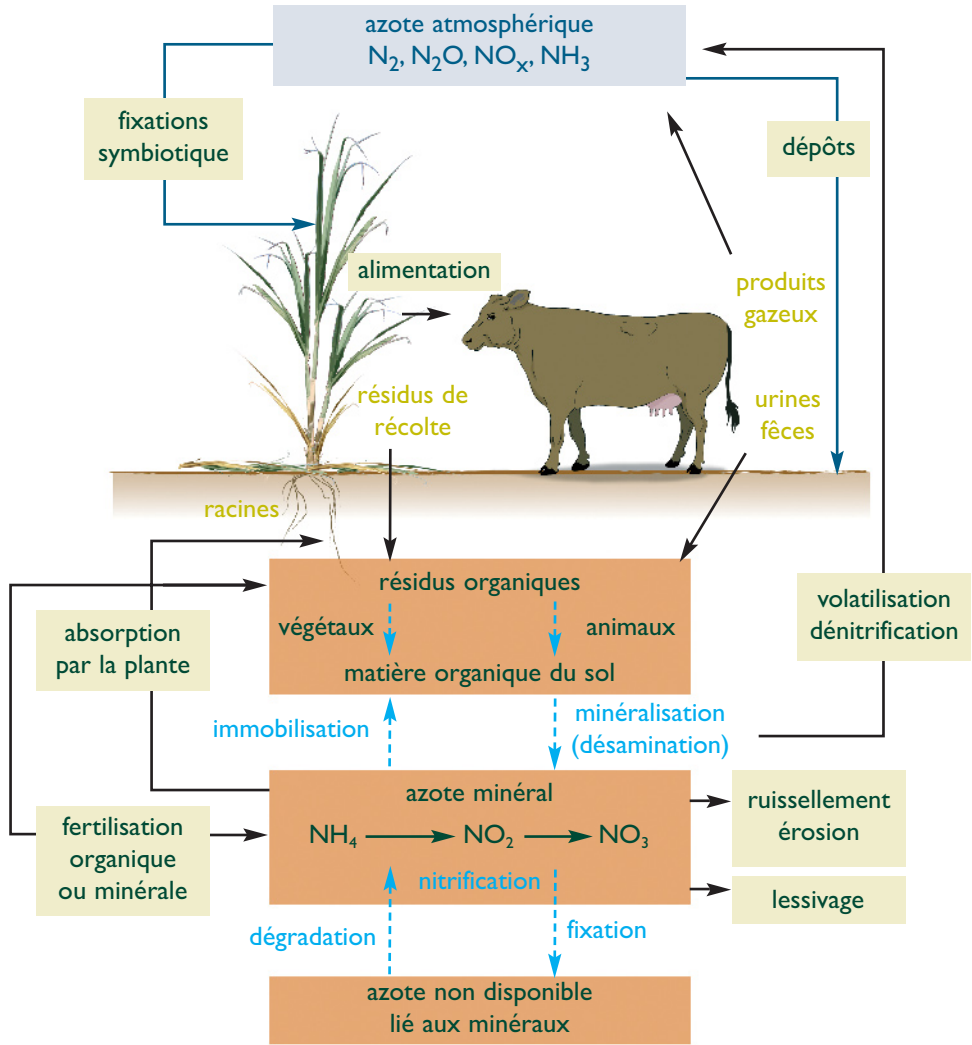
Les dépôts aériens apportés avec les pluies représentent des quantités très faibles, par exemple à la suite de la volatilisation d'ammoniac après une application de lisier dans un champ voisin.



Fumier de vaches allaitantes, Trois-Bassins.
© V. van de Kerchove

3 - La fraction biologique du sol

Figure 1.
Le cycle de l'azote.



! Pratique

Eviter les pertes gazeuses par volatilisation de l'ammoniac

Lorsque des lisiers sont épandus au champ, plusieurs techniques permettent de réduire les pertes d'ammoniac. La plus facile (mais chère !) est l'emploi de cuves d'épandage adaptées pour réduire le temps de contact lisier-air : cuves équipées de pendillards ou de disques enfouisseurs. L'application au champ les jours frais et humides et sur un sol humide permet également de limiter la volatilisation.



Transformation et utilisation de divers types de matière organique pour améliorer les propriétés du sol



Tas de fumier de poule prêt à l'emploi sur maraîchage à Dos d'Ane.
©A. Nougadère



Lit de séchage des boues de station d'épuration à Saint-Leu.
© V. van de Kerchove



Fumier avec de la paille de canne sous des génisses,
Trois-Bassins. © V. van de Kerchove



Tas de compost en sortie d'élevage de porcs.
© V. van de Kerchove



Compostage en andains de lisier de porc et différents effluents d'élevage (Saint-Pierre).
© V. van de Kerchove



Deux types de fumier de bovin.
© J.-M. Médoc



Ce qu'il faut retenir du chapitre 3



✓ **Le sol comprend deux grands compartiments biologiques :**

- la biomasse, c'est-à-dire les organismes vivants, d'origine microbienne (bactéries, algues, champignons microscopiques), végétale (racines) et animale (insectes, vers de terre...);
- la matière organique du sol, c'est-à-dire la matière organique fraîche, végétale ou animale, et l'humus du sol, qui regroupe diverses molécules organiques le plus souvent liées aux argiles.

✓ **Les microorganismes transforment les matières organiques.**

Les microorganismes transforment les matières organiques fraîches en humus (humification), en source énergétique pour leur propre développement (réorganisation) et en éléments minéraux (minéralisation). Ils minéralisent aussi l'humus du sol. Le processus de minéralisation met à la disposition des plantes les éléments minéraux dont elles ont besoin. Leur nutrition en N est totalement dépendante de ce processus, ainsi qu'une partie de celle en P, en K, et en oligo-éléments. Le sol, le climat et les pratiques agricoles ont une influence importante sur l'intensité et la régularité de ces transformations.

✓ **Parmi les champignons du sol, certains fabriquent de l'humus.**

Certains champignons fabriquent de l'humus à partir de la lignine des végétaux. D'autres s'associent avec les racines pour collecter les minéraux qu'ils transfèrent à la plante : ce sont les mycorhizes.

✓ **La faune du sol brasse les constituants du sol et fragmente la matière organique fraîche.**

Les vers de terre ingèrent et restituent des centaines de tonnes de sol par hectare. Cela favorise la création d'une structure du sol grumeleuse et d'un réseau de galeries qui facilitent l'enracinement, l'infiltration de l'eau et l'aération. La terre digérée par les vers est riche en éléments disponibles pour les plantes et favorise l'activité microbienne.

✓ **Les radicelles assurent la nutrition des plantes en eau et en minéraux.**

La rhizosphère, espace de sol proche de la radicelle, est le lieu d'échanges de composés organiques et minéraux entre la plante, les microorganismes et les champignons. Les racines vivantes servent de nourriture à la faune du sol et les racines mortes sont transformées en humus par les microorganismes.

✓ **La teneur en humus est un facteur essentiel de la stabilité structurale et de la capacité de stockage des éléments minéraux d'un sol cultivé.**

La diminution du stock de matière organique, qui peut être la conséquence de pratiques agricoles trop agressives, entraîne une dégradation de la structure du sol et une baisse de la fertilité. L'apport de résidus de culture et de matières organique transformées (fumiers, composts) permet le maintien d'un stock de matières organique ainsi qu'une bonne activité biologique dans le sol.



Spectrophotomètre
UV/visible.
© V. van de Kerchove

Analyses agronomiques

De nombreux moyens existent pour analyser et décrire les sols et les matières organiques. Les résultats des analyses agronomiques permettent d'évaluer leurs caractéristiques dans le but de prédire l'évolution des matières organiques apportées au sol (les matières organiques « exogènes »). L'objectif final est de donner un conseil à l'agriculteur.

Ce chapitre présente certaines analyses de la matière organique du sol et des matières organiques exogènes, comme les teneurs en azote et en carbone, les différents indices de stabilité ou de minéralisation.

Les conseils sur le prélèvement des échantillons de sol et des matières organiques exogènes sont donnés dans les deux fiches *Prélever des matières organiques* et *Prélever un échantillon de sol*.

L'analyse de la matière organique du sol	54
L'analyse des matières organiques exogènes	55
Résultats du laboratoire d'analyse et interprétation	58
Analyses rapides dans l'exploitation	59
Ce qu'il faut retenir du chapitre 4	60

L'analyse de la matière organique du sol

Teneurs du sol en carbone et en matière organique

Il est assez facile de déterminer la teneur en carbone organique d'un sol ou d'une matière organique. Ces mesures, largement utilisées, ont été mises au point depuis longtemps.

Pour calculer la teneur en matière organique du sol (MO %, ou g/100 g de sol sec), la teneur en carbone du sol (C %, ou g/100 g de sol sec) est multipliée par un coefficient de valeur 1,72 : $C \% \times 1,72 = MO \%$.

Le coefficient 1,72 correspond à la proportion moyenne de carbone dans la matière organique du sol (cette proportion est de 58 %). Ce coefficient a été vérifié en 2004 pour les sols sous canne à sucre de La Réunion. Mais, pour les andosols, ce coefficient pourrait être plus proche de 2.

Teneurs du sol en azote

Les teneurs en azote (N ‰, « pour mille », ou g/kg de sol sec) fournies par les analyses de sol comprennent la totalité de l'azote (organique + minéral). L'essentiel de l'azote total est constitué par l'azote provenant des molécules organiques du sol.

L'azote minéral (nitrate et ammoniac) peut aussi être dosé séparément, mais il n'est pas stable au cours du temps et il représente en général une faible part de l'azote total dans les sols.

Rapport C/N

La connaissance des teneurs en carbone (C %) et en azote (N ‰) permet le calcul du rapport C/N. Ce rapport est largement utilisé pour caractériser et classer les types de matières organiques contenues dans un sol. Pour les sols de La Réunion, C/N varie de 8 à 25 environ.

Biomasse microbienne vivante

La mesure de la biomasse globale d'un sol permet d'évaluer son activité biologique. Elle est exprimée en milligrammes de carbone par kilogramme de sol (mg C/kg sol) ou en pourcentage du carbone organique total du sol. Comme ce n'est pas une analyse de routine, elle n'est pas incluse dans les analyses standard de sol.

Minéralisation du carbone et de l'azote

Le potentiel de minéralisation du carbone et de l'azote d'un sol peut être évalué en conditions contrôlées. La minéralisation est mesurée en dosant les dégagements de CO_2 et de nitrates pendant plusieurs mois, selon une procédure normalisée. Cela permet de calculer les coefficients de minéralisation potentiels annuels. Pour le carbone, on obtient le coefficient K_2 (en % du carbone organique total), ou coefficient de destruction annuelle de la matière organique du sol. Pour l'azote, on obtient le coefficient de minéralisation annuelle (en % de l'azote total).

Les minéralisations du carbone et de l'azote n'étant pas forcément liées, ces deux mesures sont réalisées de façon indépendante. Elles permettent de mieux estimer la fourniture en azote du sol et la vitesse de disparition du stock organique du sol.



Arrivée des échantillons de terre au laboratoire et séchage en cuvettes. © V. van de Kerchove



L'analyse des matières organiques exogènes

Les analyses agronomiques pratiquées sur la matière organique du sol peuvent également être appliquées aux matières organiques exogènes. Il peut être intéressant de compléter ces analyses par des déterminations plus spécifiques, qui sont décrites ci-après.

Rapport C/N

Comme pour le sol, le rapport C/N est souvent utilisé pour prédire la stabilité d'une matière organique simple dans le sol. Une matière à faible C/N (4 à 12) va être rapidement minéralisée en fournissant beaucoup d'azote minéral. La dégradation d'une matière à fort C/N (15 à 20) va à l'inverse provoquer l'immobilisation de l'azote du sol par les microorganismes.

Ce raisonnement s'applique bien aux résidus de culture (pailles). Mais le rapport C/N ne rend pas complètement compte du comportement des matières organiques complexes comme les boues, les composts et les fumiers.

Indice de stabilité biochimique (ISB)

La détermination de l'indice de stabilité biochimique (ISB) est utilisée depuis quelques années en analyse de routine en laboratoire. Cette détermination consiste à identifier différentes fractions de la matière organique par des séparations biochimiques et à en déduire la résistance de l'ensemble à la biodégradation. L'ISB est la proportion de matière organique stable dans les matières organiques apportées. Des études récentes menées au champ ont montré une corrélation satisfaisante entre l'ISB et le taux résiduel de matière organique dans le sol.

La valeur de l'ISB varie de 0 à 1 (il est généralement exprimé en %, et varie donc de 0 à 100 %). Pour les fumiers et les composts, l'ISB est supérieur à 0,4 (40 %) et peut atteindre plus de 0,8 (80 %).



Appareil d'analyse des teneurs en N et C.
© V. van de Kerchove

La détermination de l'ISB permet d'obtenir des informations complémentaires à celles du rapport C/N. Un autre indice proche, la CBM, ou caractérisation biochimique de la matière organique, permet de regrouper les produits par catégorie de biodégradabilité.

L'ISB et la CBM ne s'appliquent qu'aux matières organiques formées à partir de matières et de résidus végétaux contenant essentiellement de la cellulose. On peut déterminer l'ISB et la CBM pour les lisiers de bovin qui contiennent des résidus végétaux, mais difficilement pour les lisiers de porc. Les indices ISB et CBM ne s'appliquent pas aux matières dont la teneur

en lipides dépasse 5 %, comme les effluents de laiterie ou d'huilerie.

La détermination de l'ISB ou de la CBM donne des valeurs potentielles, car les analyses sont faites sur une matière finement moulue. De ce fait, il n'est pas tenu compte de la structure ni de la granulométrie de la matière initiale. Or la consistance physique des matières organiques peut jouer un rôle important sur leur évolution dans le sol.

Coefficient isohumique (K_i)

La transformation des matières organiques apportées à la parcelle contribue à la formation d'humus. L'efficacité de ce processus peut être estimée par le rapport entre la quantité de carbone de la matière apportée et la quantité de carbone transformée en humus. Ce rapport s'appelle le coefficient isohumique K_i .

La valeur de K_i varie de 0 à 1 (il est généralement exprimé en %, et varie donc de 0 à 100 %). Les matériaux ayant subi un compostage prolongé ont un K_i élevé. Les matières animales (fiente, lisier, boue) ont un K_i faible.

Le coefficient K_i , les indices ISB et CBM donnent les mêmes indications.

L'évaluation de K_i nécessite la mise en place d'essais au champ pluriannuels où des fumures organiques sont régulièrement apportées. Pendant plusieurs années, la variation du taux de matière organique du sol est alors mesurée. Le coefficient K_i est spécifique de chaque type de matière organique. Les valeurs de K_i sont disponibles dans des bases de données. Elles ont une valeur indicative car K_i dépend de nombreux facteurs, comme le type de milieu et le sol.

Minéralisation du carbone et de l'azote

Le potentiel de minéralisation du carbone et de l'azote d'une matière organique peut être évalué en conditions contrôlées de laboratoire. Ce test s'applique à toutes les matières organiques.

La minéralisation est mesurée en dosant les dégagements de CO_2 et de nitrates pendant plusieurs mois, selon une procédure normalisée. Cela permet de calculer les coefficients de minéralisation potentiels annuels.

Les minéralisations du carbone et de l'azote n'étant pas forcément liées, ces deux mesures sont faites de façon indépendante. Elles permettent de mieux estimer la fourniture en azote de la matière organique et sa contribution à l'activité biologique du sol. La **figure 1** donne une illustration des résultats obtenus par ces déterminations.

Des ajustements à des modèles permettent d'évaluer la proportion de carbone résiduel, qui représente 1 à 80 % du carbone initial selon les matières. Comme pour l'ISB et la CBM, ces mesures donnent des valeurs potentielles de minéralisation et ne prennent pas en compte la consistance physique de la matière organique.

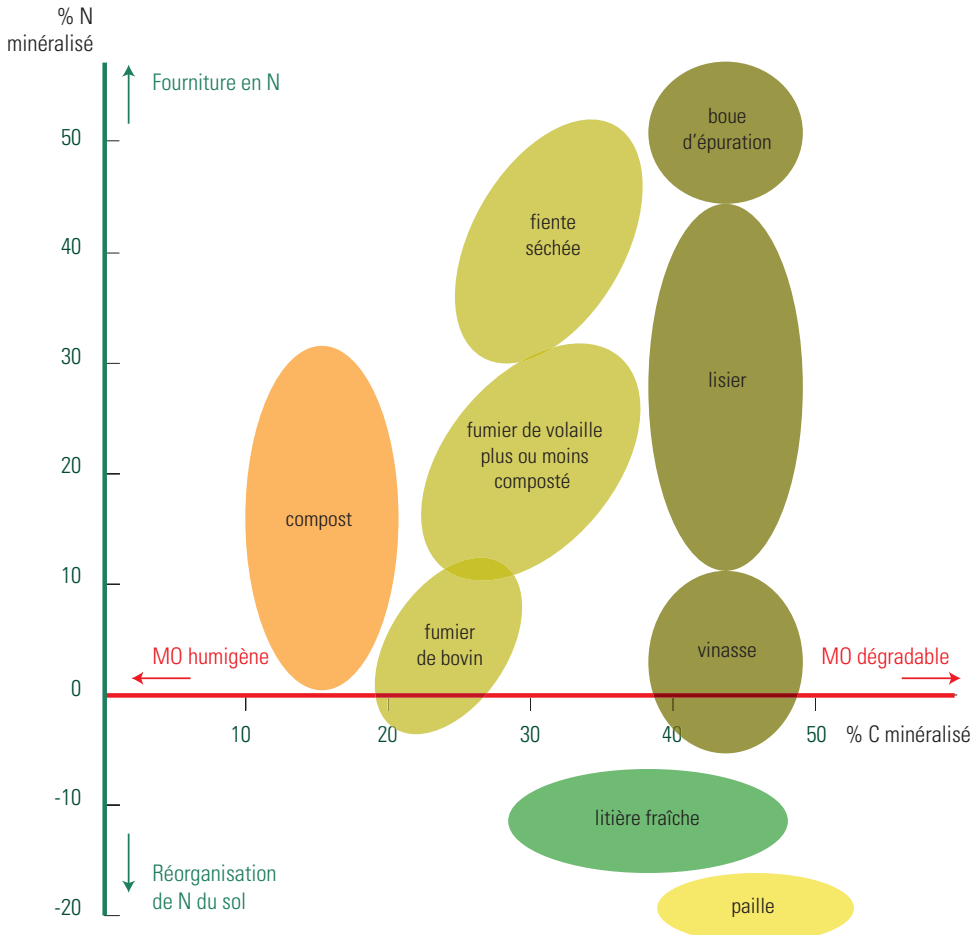


Colorimètre automatique.
© V. van de Kerchove



Figure 1.

Classement des matières organiques en fonction des caractéristiques de minéralisation de l'azote et du carbone. (MO : matière organique ; N : azote total ; C : carbone total).



L'axe horizontal figure la proportion du carbone des matières organiques minéralisé rapidement (C %), c'est-à-dire en quelques mois (3 à 6 mois selon les matières organiques et les conditions de la parcelle). La valeur de ce pourcentage s'interprète comme un indice du pouvoir amendant (ou pouvoir humigène) : plus C minéralisé est élevé, plus le pouvoir amendant est faible. Les matières organiques de type « amendement organique » ont des valeurs de C % faibles. Les matières organiques de type « engrais organiques » ont des valeurs de minéralisation du carbone supérieures à 30 %.

L'axe vertical figure la proportion de l'azote des matières organiques minéralisé rapidement (N %), c'est-à-dire en quelques mois (3 à 6 mois selon les matières organiques et les conditions de la parcelle). Les produits humigènes (composts, valeurs faibles de N minéralisé) fournissent assez peu d'azote. Inversement, les boues d'épuration sèches et les lisiers (valeurs fortes de N minéralisé) fournissent rapidement leur azote.

Pour les produits intermédiaires dont le carbone est assez vite minéralisé (C % de l'ordre de 20 à 35 %), la fourniture d'azote est variable : faible pour les fumiers de bovin, forte pour les fientes et fumiers de volailles. Les fientes séchées et les fumiers de volailles sont intéressants pour la nutrition des plantes parce qu'ils libèrent leur azote de façon régulière pendant quelques mois.

Toutefois, pour les matières comme les fumiers frais et les pailles, qui sont pauvres en N et à fort C/N, C est rapidement minéralisé par les microorganismes (40 à 50 % en quelques mois). Cette minéralisation entraîne l'immobilisation d'une partie de l'azote du sol pour la réorganisation microbienne, figurée par des valeurs de N % négatives.

Résultats du laboratoire d'analyse et interprétation

Dans le cas des analyses standard de sol (qui comprennent la détermination de la matière organique, des éléments fertilisants, etc.), le laboratoire du CIRAD de La Réunion interprète les résultats et donne un conseil pour la correction du sol et le plan de fumure.

Dans le cas de l'analyse standard de matières organiques, les laboratoires, comme celui du CIRAD à La Réunion, délivrent en général une fiche de résultats analytiques qui n'est pas interprétée. L'interprétation est à la charge du technicien qui se réfère à des tableaux comparatifs. Les teneurs données en matière sèche et en éléments minéraux permettent de calculer les quantités de N, P, et K apportées par une tonne ou un mètre cube de matière organique.

Les analyses qualitatives (ISB, potentiel de minéralisation) permettent d'apprécier la valeur fertilisante de la matière organique.



Stockage de compost. © V. van de Kerchove

! Pratique

Le laboratoire du CIRAD à La Réunion

A La Réunion, le laboratoire du CIRAD (certifié ISO 9001:2000) est équipé pour des analyses standard de sol et de matières organiques. Le laboratoire interprète les résultats de l'analyse de sol, mais pas ceux de l'analyse des matières organiques, qui doit être faite par le technicien.

Au laboratoire du CIRAD, le système expert d'interprétation des analyses de sol est amélioré en continu en fonction des nouvelles connaissances. Plusieurs milliers d'analyses de sol géoréférencées sont enregistrées dans la base de données du laboratoire, ce qui permet de garantir des conseils adaptés aux types de sol et de culture. Le conseil en fertilisation quantifie les éléments nécessaires à la culture, il définit les corrections du sol (acidité, phosphore, potassium) et il propose un plan de fumure d'entretien de la culture pour un niveau de rendement donné.

Pour les déterminations des éléments traces métalliques (ETM), des résidus d'herbicides ou d'autres caractéristiques plus complexes, le CIRAD travaille avec des laboratoires métropolitains spécialisés.

En 2005, au laboratoire du CIRAD de La Réunion, le coût de l'analyse de sol standard était de l'ordre de 63 € TTC et le coût de l'analyse standard de matière organique, 71,60 € TTC.

Choix d'un autre laboratoire d'analyse

Les analyses de sol peuvent être faites par un laboratoire métropolitain (INRA-Arras, laboratoires de coopératives agricoles, laboratoires privés...). Mais l'interprétation est alors plus difficile, voire impossible, si les méthodes d'analyse sont différentes et si la comparaison est faite par rapport aux sols métropolitains. Les méthodes d'analyse des laboratoires ne sont pas toutes adaptées aux sols tropicaux, en particulier aux andosols.

Les analyses de matières organiques peuvent en revanche être faites aussi bien par le laboratoire du CIRAD à La Réunion que par tout autre laboratoire de la métropole : les résultats sont équivalents.



Analyses rapides dans l'exploitation

Des techniques d'analyse rapide du sol ou des matières organiques sont employées en vue d'un pilotage en temps réel de la fertilisation ou des épandages. Elles gardent une certaine imprécision et ne remplacent donc pas les analyses complètes.

Pour les sols

Pour le pilotage de la fertilisation en temps réel de certaines cultures (fraisiers, maraîchage), il existe des mallettes de kit d'analyses (appareils commerciaux utilisés à La Réunion : Nitratest®, Nutrichék®, RPflex®). Ces kits permettent de réaliser les analyses sur le terrain. Les extractions de sol se font avec de l'eau (500 g de sol pour 500 ml d'eau) et les analyses des filtrats se font avec des bandelettes réactives ou par ajout de réactifs pour une mesure photométrique.

L'estimation des quantités d'éléments présents dans le sol est donnée à partir d'une formule ; il est important de bien paramétrer les coefficients de la formule en fonction du sol analysé. L'interprétation se fait à partir de ces estimations et du suivi de ces quantités en fonction du cycle de la culture.

Pour les matières organiques exogènes

Il est possible, pour certaines matières organiques, d'envisager des déterminations rapides de la teneur en azote (**tableau 1**).

Les lisiers de porc en particulier peuvent être analysés rapidement pour estimer leur teneur en matière sèche ou en ammoniac. Trois techniques sont possibles : le densimètre, les appareils commerciaux (utilisés à La Réunion) Quantofix® et Agro-lisier®.

Le densimètre (lisier de porc)

Un densimètre étalonné de 1 000 à 1 060 g/l permet d'estimer la matière sèche d'un lisier et d'évaluer les teneurs en N, P, et K d'après une table de référence.

Le densimètre est plongé simplement dans le seau de prélèvement, la lecture est directe (attention à l'étalonnage, qui est donné pour 15 °C).

Le Quantofix® (lisier pur non dilué)

Le Quantofix® est un appareil simple formé de 2 flacons en plastique. Il mesure la quantité d'azote ammoniacal contenue dans le lisier.

Il transforme l'azote ammoniacal en azote gazeux par l'addition d'un réactif. La lecture de la teneur se fait directement sur une échelle graduée (NH₄, en kg/m³).

L'Agro-lisier® (lisier pur non dilué)

Le principe de l'Agro-lisier® est le même que celui du Quantofix®. L'appareil est formé d'un récipient dans lequel on introduit le lisier puis le réactif. La lecture est faite sur un manomètre, 5 minutes après le début de la réaction.

Tableau 1. Moyens d'évaluation de la teneur en azote d'une matière organique.

Type de matière organique	Analyse au laboratoire	Analyse rapide dans l'exploitation	Utilisation des valeurs moyennes des fiches <i>Matières organiques</i>
Fumier	recommandée	impossible	acceptable
Lisiers bovin, volailles	recommandée	approximative	approximative
Lisier porc	recommandée	recommandée	approximative



Ce qu'il faut retenir du chapitre 4



- ✓ **Les analyses agronomiques** renseignent sur certaines caractéristiques agronomiques des sols et des matières organiques. L'analyse de sol permet d'ajuster la fertilisation organique et minérale aux besoins des cultures.
- ✓ **La matière organique du sol** est essentiellement décrite par ses teneurs en carbone et en azote et par le rapport C/N.
- ✓ **Pour des matières riches en résidus végétaux**, le rapport C/N rend compte de leur capacité à être minéralisées plus ou moins rapidement.
- ✓ **L'indice de stabilité biochimique (ISB)**, comme l'indice de caractérisation biochimique de la matière organique (CBM), s'appliquent à des matières contenant des résidus végétaux et dont la teneur en graisses est inférieure à 5 %. Ils fournissent une information sur la stabilité des matières organiques apportées. L'ISB et la CBM donnent des indications de même nature que le coefficient isohumique K_1 .
- ✓ **Le coefficient isohumique K_1** s'applique à quasiment tous les apports organiques : il évalue la capacité de la matière apportée à fournir de la matière organique stable au sol (humus).
- ✓ **Les tests de minéralisation en laboratoire** durent plusieurs mois et ne sont pas des tests de routine. Ils s'appliquent aux sols et aux matières organiques. Ils permettent de prédire le potentiel de minéralisation de C et N.
- ✓ **Des kits d'analyse rapide** de certaines caractéristiques de sol et de produits organiques sont utilisables directement à l'exploitation agricole.
- ✓ **A La Réunion, le laboratoire du CIRAD** effectue les analyses standard de sol et de matières organiques.

Les matières organiques produites à La Réunion

L'agriculteur peut apporter des matières organiques d'origine très variée sur les parcelles. Ces matières organiques sont définies à la fois par leur consistance (liquide, pâteuse, solide) et par leur composition organique et minérale.

Les matières amendantes, comme les fumiers et les composts, apportent à la fois de l'humus et des éléments accessibles aux microorganismes et aux plantes. Ce sont les plus intéressantes pour le fonctionnement biologique des sols.

Les matières organiques fertilisantes, telles que les lisiers, les fientes et les boues d'épuration urbaines, agissent plutôt comme un engrais minéral et apportent peu d'humus.

Epannage à la tonne à lisier sur canne à sucre.
© CEDUS - F.L. Athenas

Caractéristiques agronomiques des matières organiques .. 62

Origine des matières organiques utilisables en agriculture 69

Matières organiques issues de l'élevage 69

Matières d'origine urbaine 70

Matières d'origine agro-industrielle 71

Fertilisation organique des cultures 72

Amendements organiques, engrais organiques, engrais organo-minéraux 73

Effet d'amendement organique 74

Effet fertilisant des matières organiques sur les cultures 79

Modification du pH du sol par les apports organiques 84

Critères de choix des matières organiques 86

Ce qu'il faut retenir du chapitre 5 88

Caractéristiques agronomiques des matières organiques

Les résultats d'analyses agronomiques des matières organiques produites à La Réunion sont regroupés dans une base de données créée en 2003 par la MVAD (Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion). Cette base est remise à jour chaque année à partir des données collectées par de nombreux organismes : MVAD (Chambre d'agriculture), CIRAD, Association pour la promotion en milieu rural (APR), SICA LAIT, Coopérative des producteurs de porcs de La Réunion (CCPR), Bureau d'études CYATHEA, GROUPAGRO SA, How-Choong Entreprises (HCE), CGEA ONYX,

SA CISE REUNION, Communauté intercommunale des villes solidaires (CIVIS), département de La Réunion (Service d'assistance technique aux exploitants des stations d'épuration, SATESE).

L'analyse statistique de l'ensemble des données a permis de comparer les matières organiques entre elles et de déterminer les plus intéressantes en fonction du taux de matière sèche et des teneurs en éléments fertilisants (N, P, K). Pour ce guide, nous avons retenu les matières représentées par un nombre suffisant d'échantillons (5 ou plus par matière analysée).

! Pratique

Utilisation des fiches *Matières organiques*

Les 27 fiches *Matières organiques* de ce guide complètent l'ensemble de ces informations, matière par matière, en précisant les usages et les caractéristiques agronomiques de chacune. Ces fiches permettent aussi de comparer les qualités des matières produites localement à celles présentées dans la bibliographie.

Teneur en matière sèche (MS)

La matière sèche (MS) est obtenue par séchage du produit brut en conditions de laboratoire. La matière sèche comprend des constituants organiques et des éléments minéraux (les minéraux représentent environ 1/10^e de la matière sèche).

La teneur en matière sèche des matières organiques de La Réunion varie énormément (**figure 1**) : moins de 10 % (100 kg/t produit brut) pour les boues d'épuration liquides égouttées ou centrifugées et certains lisiers, jusqu'à 70 à 80 % (700 à 800 kg/t) pour certains composts, les fientes séchées de poule pondeuse et les boues d'épuration solides-sèches. Ces matières organiques ont été classées en trois catégories en fonction de leur consistance :

– liquide (teneur < 14 % de matière sèche), comme les lisiers, les boues d'épuration et la vinasse ;

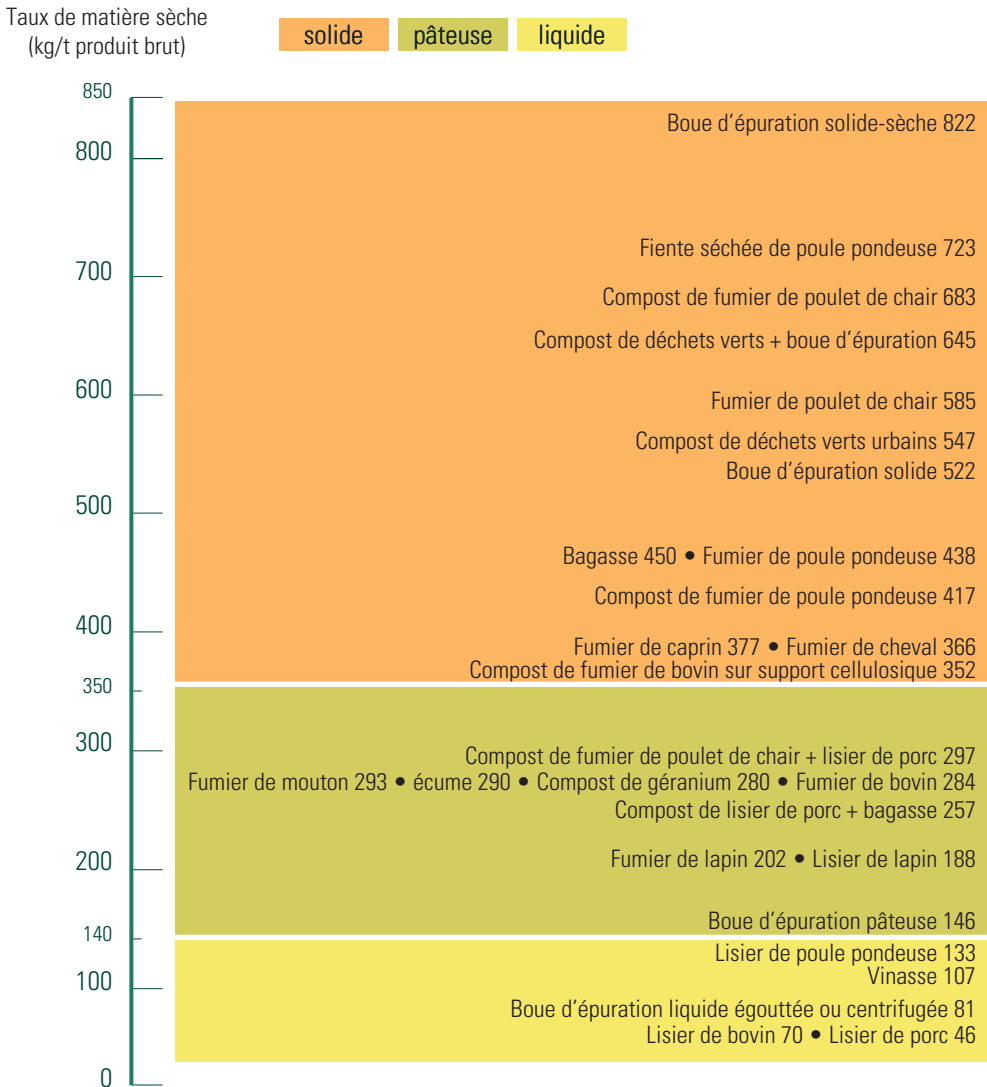
– pâteuse fluide à pâteuse plastique (14 % ≤ teneur < 35 %), comme l'écume, certains fumiers, composts et boues d'épuration ;
– solide (teneur ≥ 35 %), comme certains composts et fumiers, les boues d'épuration solides et solides-sèches.

La teneur en matière sèche influence fortement la richesse en éléments minéraux d'une matière organique. Plus les teneurs en matière sèche et en éléments fertilisants sont élevées, plus la matière organique est concentrée et plus elle est riche en éléments.



Figure 1.

Classement des matières organiques en fonction du taux de matière sèche (kg/t produit brut).



En savoir plus

Estimation du taux de matière sèche

La teneur en matière sèche est estimée par le rapport :

$MS \text{ (en \%)} = \text{poids de matière sèche} / \text{poids initial brut de l'échantillon.}$

Par exemple, un produit organique à 60 % de matière sèche contient 600 kg de matière sèche par tonne de produit brut.

Teneur en azote total (N)

La **figure 2** groupe les matières organiques en trois catégories en fonction de leur teneur en N :

– pauvre en N (teneur < 5 kg/t produit brut). Ces matières sont pour la plupart liquides. Les matières fertilisantes les plus pauvres en N sont les boues d'épuration liquides à cause de leur faible teneur en matière sèche (< 1 %). Le lisier de bovin, le lisier de porc et le compost de lisier de porc sur bagasse sont des fertilisants pauvres en azote ;

– teneur en N moyenne ($5 \leq$ teneur < 15 kg/t produit brut). La majorité des matières organiques de La Réunion ont des teneurs en N moyennes. Ce sont surtout des matières solides (composts et fumiers) mais on y trouve aussi le lisier de

poule pondeuse, la boue d'épuration pâteuse et l'écume ;

– riche à très riche en N (teneur ≥ 15 kg/t produit brut, jusqu'à 52 kg/t). Les fertilisants organiques riches sont le fumier de poulet de chair, le compost de fumier de poulet de chair et les boues d'épuration solides. Les plus riches sont la fiente séchée de poule pondeuse et la boue d'épuration solide-sèche (teneur en matière sèche très élevée, de 60 à 80 %).

Dans tous les cas, il est indispensable de calculer les apports de ces fertilisants organiques sur les cultures, notamment pour les matières riches et très riches en N, à cause des risques de pollution des eaux liés aux surdosages.



Plate-forme de Saint-Rose pour le compostage de déchets verts urbains + fraction fermentescible des ordures ménagères : compost final.
© V. van de Kerchove



Fumier de vaches allaitantes. © V. van de Kerchove



Plate-forme de Saint-Pierre pour le compostage des déchets verts urbains : les andains.
© V. van de Kerchove



Figure 2.

Classement des matières organiques en fonction de la teneur en N (kg/t produit brut).



5 - Les matières organiques produites à La Réunion

Teneur en phosphore (P_2O_5)

La **figure 3** classe les matières organiques en trois catégories en fonction de leur teneur en P_2O_5 :

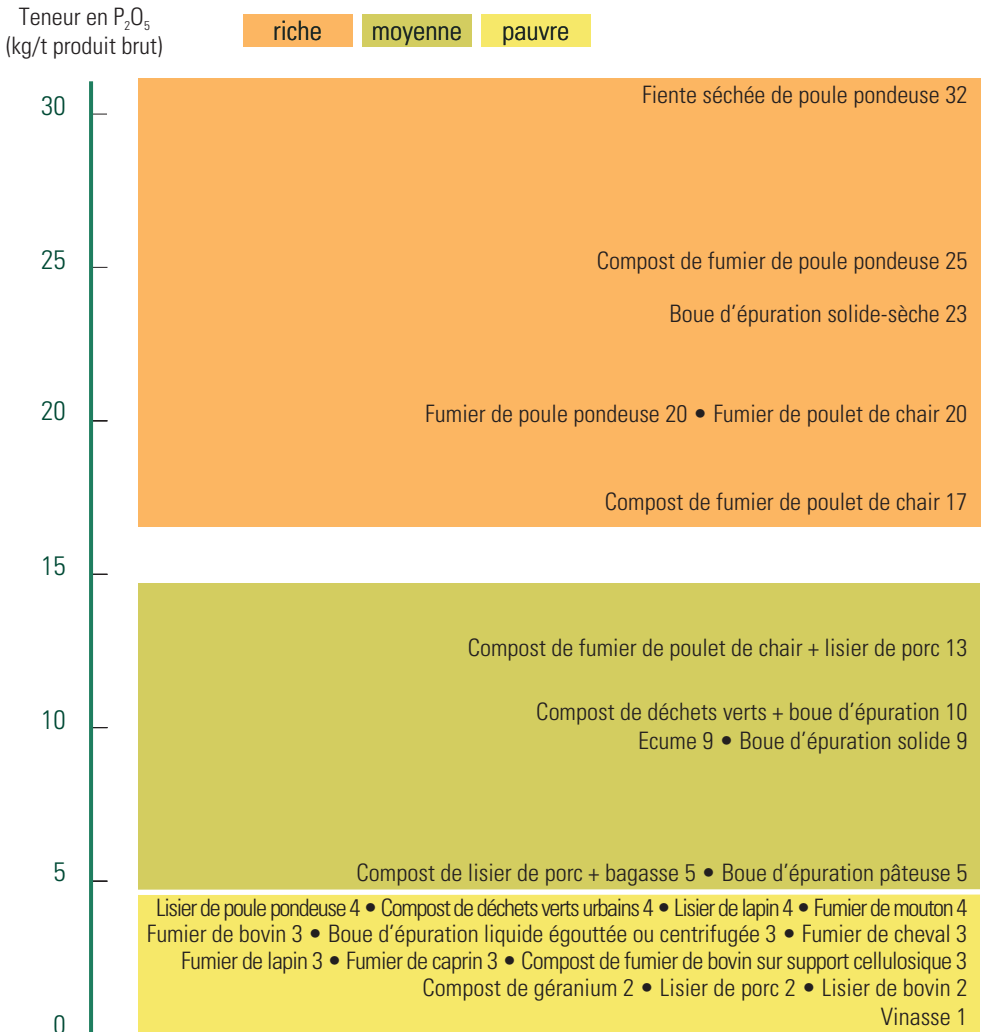
- pauvre en P_2O_5 (teneur < 5 kg/t produit brut). Un peu plus de la moitié des matières analysées ont une teneur moyenne en P_2O_5 faible, comme le lisier de bovin, les matières liquides et de nombreux fumiers et composts ;
- teneur moyenne en P_2O_5 ($5 \leq$ teneur < 15 kg/t produit brut). Ce sont de bons fertilisants en P_2O_5 . On y trouve surtout des matières organiques solides (sauf l'écume, qui est

pâteuse) : certains composts, fumiers de poulet de chair, boues d'épuration solides ;

- riche en P_2O_5 (teneur \geq 15 kg/t produit brut). Les matières riches en P_2O_5 sont peu nombreuses et elles sont le plus souvent riches en N : fiente séchée de poule pondeuse (P_2O_5 : jusqu'à 32 kg/t de produit brut), compost de fumier de poule pondeuse, boue d'épuration solide-sèche, fumier de poule pondeuse, fumier de poulet de chair, compost de fumier de poulet de chair. Il est nécessaire de surveiller leurs apports sur les cultures pour ne pas sur-fertiliser.

Figure 3.

Classement des matières organiques en fonction de la teneur en P_2O_5 (kg/t produit brut).





Teneur en potassium (K_2O)

La **figure 4** répartit les matières organiques en quatre catégories en fonction de leur teneur en K_2O :

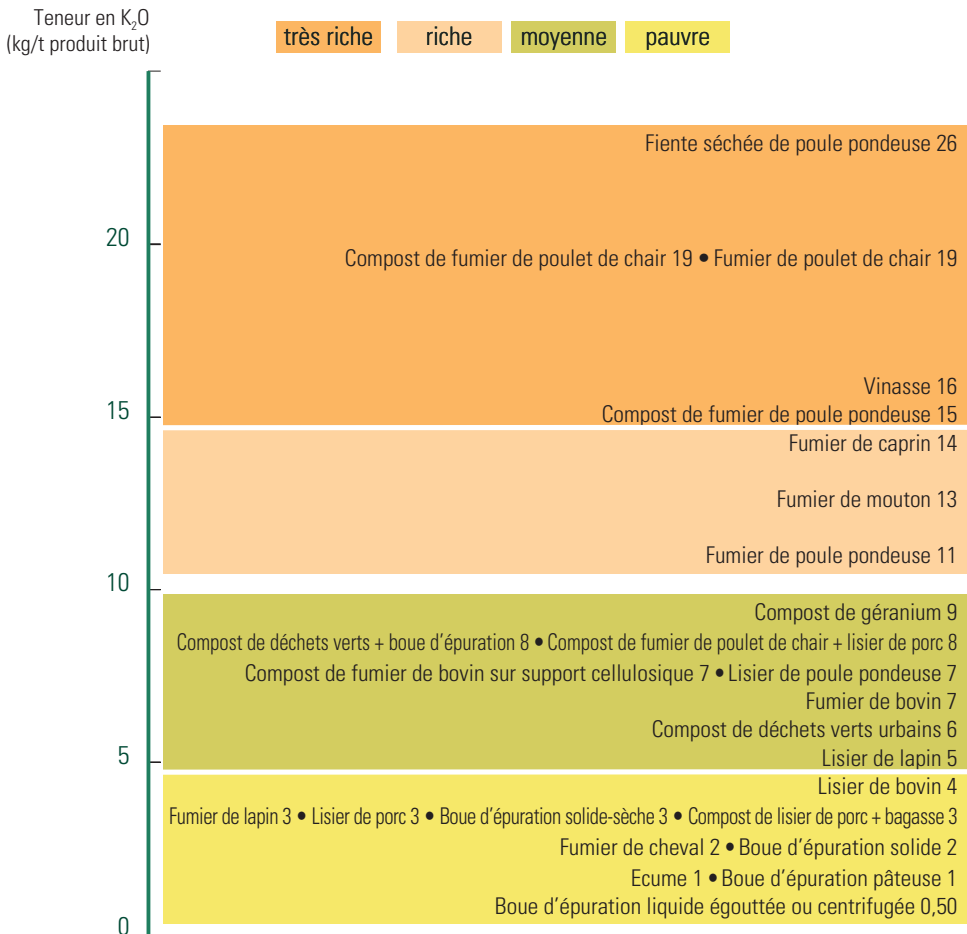
- pauvre en K_2O (teneur < 5 kg/t produit brut). Les boues d'épuration ont des concentrations faibles en K_2O , dont les boues solides-sèches qui sont par ailleurs intéressantes pour leur richesse en N et P_2O_5 . On retrouve aussi deux composts, les lisiers de porc et de bovin, les fumiers de lapin et de cheval et des matières d'origine industrielle (écume) ;
- teneur moyenne en K_2O ($5 \leq$ teneur < 10 kg/t produit brut). Ce sont surtout des matières

solides. On y retrouve aussi les lisiers de lapin et de poule pondeuse ;

- riche en K_2O ($10 \leq$ teneur < 15 kg/t produit brut). Ce sont des matières solides : fumiers de mouton, de caprin, et de poule pondeuse ;
- très riche en K_2O (teneur \geq 15 kg/t produit brut). Ce sont surtout des matières solides, excepté les vinasses, qui sont les seules matières d'origine industrielle présentant un intérêt pour l'apport en K_2O (16 kg/t produit brut). Le compost de fumier de poulet de chair et la fiente séchée de poule pondeuse sont les plus riches (jusqu'à 26 kg/t produit brut).

Figure 4.

Classement des matières organiques en fonction de la teneur en K_2O (kg/t produit brut).



5 - Les matières organiques produites à La Réunion

Matières riches en plusieurs éléments

D'après les analyses précédentes, quelques matières organiques paraissent intéressantes pour leur richesse simultanée en 2 ou 3 éléments (ayant à la fois des teneurs élevées en plusieurs éléments fertilisants et un taux de matière sèche élevé) (**tableau 1**).



Plate-forme de Saint-Pierre pour le compostage des déchets verts urbains : compost à maturation et lixiviats. © V. van de Kerchove

Tableau 1.

Matières riches en N-P-K, N-P, N-K.

Fertilisants intéressants pour les 3 éléments N, P ₂ O ₅ , K ₂ O	Fertilisants intéressants pour 2 éléments	
	N, P ₂ O ₅	N, K ₂ O
<ul style="list-style-type: none"> - compost de fumier de poulet de chair - fiente séchée de poule pondeuse - compost de fumier de poule pondeuse - fumier de poulet de chair <p>Dans une moindre mesure (richesse variable) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - fumier de poule pondeuse - compost de lisier de porc sur fumier de volaille - compost de déchets verts + boue d'épuration 	<ul style="list-style-type: none"> - boue d'épuration solide-sèche <p>Dans une moindre mesure :</p> <ul style="list-style-type: none"> - boue d'épuration solide 	<ul style="list-style-type: none"> - compost de fumier de porc <p>Dans une moindre mesure :</p> <ul style="list-style-type: none"> - fumier de mouton - fumier de caprin



Plate-forme de Saint-Pierre pour le compostage des déchets verts urbains : tri. © V. van de Kerchove



Plate-forme de Saint-Rose pour le compostage de déchets verts urbains + fraction fermentescible des ordures ménagères : broyeur. © V. van de Kerchove



Origine des matières organiques utilisables en agriculture

Matières organiques issues de l'élevage



Génisses sur canne. © V. van de Kerchove

Ces matières organiques (lisier, purin, fumier...) ont des teneurs en éléments nutritifs qui varient en fonction de nombreux facteurs :

- l'animal, son âge, son régime alimentaire ;
- le type d'élevage. Bâtiment, quantité et qualité de la litière (paille de canne, copeaux de bois...), dilution par l'eau (issue des zones d'abreuvoir ou des eaux pluviales du bâtiment), durée du stockage de la matière organique, etc.

Le **tableau 2** (page suivante) donne les teneurs moyennes de matières organiques issues de l'élevage produites à La Réunion et en métropole.



En savoir plus

Composition des déjections en N, P, K

Les animaux d'élevage rejettent 20 à 40 % de l'azote et du phosphore et 70 à 90 % du potassium ingérés avec les aliments. Pour les volailles, 70 % de l'azote et du phosphore consommés se retrouvent dans les déjections. On retrouve la plus grande partie de ces éléments dans les lisiers et les fumiers.

Des pertes en azote se produisent néanmoins par volatilisation de l'ammoniac dans le bâtiment d'élevage ou dans la fosse de stockage. Par exemple, un porc à l'engraissement élimine avec les fèces environ 4 kg d'azote en 3,5 mois, dont le tiers est perdu par volatilisation dans la porcherie.

Dans les élevages industriels de volailles et de porcs, les teneurs des déjections peuvent être réduites de 20 % pour N et de 40 % pour P_2O_5 , avec une alimentation spécifique adaptée aux phases de croissance (comme le mode d'alimentation biphasé pour le porc).

Richesse comparée des déjections

La fiente séchée de volaille est la matière la plus riche en N, P_2O_5 , K_2O (c'est un lisier déshydraté que l'agriculteur peut stocker et transporter facilement). Les lisiers sont moins concentrés car ils contiennent beaucoup d'eau. Ils sont chargés en azote, surtout sous la forme ammoniacale.

Viennent ensuite les fumiers dont le pouvoir fertilisant dépend de la proportion de fèces dans la litière. A La Réunion, la litière des ruminants est en général constituée de paille de canne qui apporte au fumier certains éléments (en particulier K_2O). La litière des volailles est composée de copeaux de bois. La quantité de litière (estimée en kilos de produit brut par mètre carré de bâtiment, kg/m^2) a une incidence forte sur la consistance du fumier et sur ses teneurs en éléments fertilisants.

Le compostage des fumiers augmente à la fois le coefficient K, et les concentrations en éléments nutritifs (N, P, K, Ca...). Les composts de fumiers de poulet de chair sont les matières les plus riches en N, P_2O_5 , et K_2O .

Remarque : les composts d'effluents d'élevage sont très humides et les teneurs en matière organique (MO) sont souvent inférieures à celle imposée par la norme NFU 4405 I sur les amendements (teneur MO % ≥ 20 % de la matière brute).

5 - Les matières organiques produites à La Réunion

Tableau 2.

Teneurs moyennes en N total, P₂O₅, K₂O (kg/t produit brut) de quelques matières organiques issues de l'élevage. La Réunion : base de données de la MVAD. Métropole : données issues de plusieurs sources, dont les plans de fumure azotée des Chambres d'agriculture de Bretagne (1997, 2002), ITAB (2001), Institut de l'élevage (2001).

Type de matière organique		Métropole			La Réunion		
		N total	P ₂ O ₅	K ₂ O	N total	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fumier de bovin	aire de couchage de vaches	5,5	2,5	8,5	} 6,2	3,1	7,2
	logettes paillées	4,2	2,0	4,0			
	raclage d'aire paillée	5,0	2,5	4,0			
	bovin viande	5,0	3,0	4,0			
	veau	4	1,5	5,5			
Lisier de bovin	vache laitière, sur caillebotis	4,0	2,5	6,0	} 2,9	1,5	3,5
	vache laitière, raclé en fosses	2,8	1,5	2,7			
	vache laitière, dilué	1,5	0,6	1,6			
	eaux blanches et vertes	0,4	0,2	0,5			
	bovin viande	4,0	3,0	4,0			
	veau	2,2	0,8	2,3			
Fumier de porc	sur litière accumulée	8	7,5	12,5	-	-	-
	truie gestante	4	2	4	-	-	-
Lisier de porc	lisier moyen non dilué	4,4	2,8	3,3	} 3,5	2,4	3,4
	lisier moyen dilué	3,5	2,2	2,9			
	préfosse d'engraissement	6,1	3,8	4,5			
	maternité, gestante	2,3	1,7	1,7			
Fumier de volaille	poulet, dinde : en sortie	30	27	20	20,4	14,6	16
	poulet, dinde : après stockage	22	23	18	25	17,3	19
	poulet label et bio après stockage	15	17	14	-	-	-
	canard	4,5	5	3	-	-	-
Fiente de poule	sèche	40	38	25	52	31	25,6
	humide	15	14	12	-	-	-
Lisier	poule pondeuse	7	9	6	10,2	4,2	6,5
	canard	7,5	8	4,5	-	-	-
	lapin	8	12,5	7	6,0	4,4	4,9
Fumier	caprin	6	4	6	9,1	3,1	14
	ovin	6	4	6	7,9	2,5	10,1

- : pas de données disponibles.

Matières d'origine urbaine

Les composts de déchets verts

Les composts de déchets verts sont fabriqués à partir des ramassages municipaux des coupes de végétaux des parcs et jardins.

Deux plates-formes importantes de compostage sont situées sur les communes de Saint-Pierre et Le Port. Au Port, deux types de compost sont produits : le compost de déchets verts et le compost de déchets verts + boue d'épuration

urbaine (enrichissement des déchets verts en N et P₂O₅ par adjonction d'environ 30 % en volume de boues d'épuration de station avant la phase de compostage).

A Sainte-Rose, la station de compostage effectue le mélange des déchets verts avec la fraction fermentescible des ordures ménagères (FFOM) issue du tri des ordures ménagères.



Les boues de station d'épuration

Les boues de station d'épuration sont classées en quatre catégories selon leur niveau de séchage. Le produit est le même, c'est simplement la quantité d'eau qui varie :

- boues liquides, teneur en matière sèche < 10 % ;
- boues pâteuses, $10 \% \leq$ teneur en matière sèche < 30 % ;
- boues solides, $30 \% \leq$ teneur en matière sèche < 60 % ;
- boues solides-sèches, $60 \% \leq$ teneur en matière sèche < 90 %.

Les boues solides et solides-sèches sont très riches en N et P_2O_5 , mais pauvres en K_2O . Les éléments fertilisants sont très dilués dans le cas des boues liquides.

Il existe aussi des boues stabilisées par un traitement à la chaux. A La Réunion, c'est le cas d'une partie des boues de la commune du Port.



Lits de séchage de la boue. © V. van de Kerchove

Ces boues sont pâteuses, riches en chaux, avec un pH très élevé. Elles sont intéressantes comme amendement calcaire pour remonter le pH des sols acides.

Matières d'origine agro-industrielle

La vinasse

La vinasse, sous-produit de distillerie, est riche en K_2O (16 kg/t produit brut) mais très peu utilisée en agriculture. La production de l'île est de l'ordre de 125 000 t/an, soit l'équivalent de 2 100 t/an de K_2O . Seule la distillerie Isautier à Saint-Pierre (5 % de la production de vinasse) valorise la vinasse dans les champs à proximité. Les difficultés principales d'utilisation sont le coût de l'épandage et la coordination des chantiers dans une zone proche de la distillerie.

L'écume de sucrerie

L'écume de sucrerie est assez riche en Ca, N, P_2O_5 , mais pauvre en K_2O . En culture de canne à sucre, l'écume est utilisée à la replantation pour corriger le pH du sol. L'écume est très recherchée par les maraîchers qui l'utilisent en produit pur ou pour la fabrication de « compost à la ferme » composé d'un mélange de diverses matières organiques.



Ecume de sucrerie (résidu de filtration des jus).
© CEDUS - F.L. Athenas

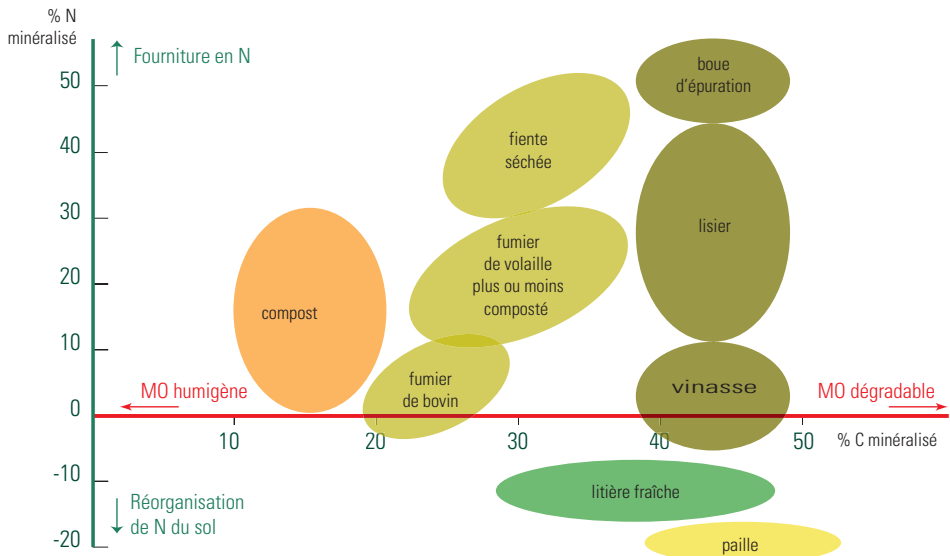
Fertilisation organique des cultures

L'apport de matière organique a deux rôles : augmenter la teneur en matière organique du sol pour améliorer la fertilité physico-chimique et biologique, et fertiliser les cultures par les éléments apportés. Dans la réalité, la minéralisation

des matières organiques est complexe et les effets sont variés aussi bien sur les plantes que sur le sol. Sur la **figure 5**, nous avons représenté les grands types de matière organique selon la minéralisation de l'azote et du carbone.

Figure 5.

Comparaison des matières organiques en fonction de la minéralisation de l'azote et du carbone qu'elles contiennent. (MO : matière organique ; N : azote total ; C : carbone total).



L'axe horizontal figure la proportion du carbone des matières organiques minéralisé rapidement (C %), c'est-à-dire en quelques mois (3 à 6 mois selon les matières organiques et les conditions de la parcelle). La valeur de ce pourcentage s'interprète comme un indice du pouvoir amendant (ou pouvoir humigène) : plus C minéralisé est élevé, plus le pouvoir amendant est faible. Les matières organiques de type « amendement organique » ont des valeurs de C % faibles. Les matières organiques de type « engrais organiques » ont des valeurs de minéralisation du carbone supérieures à 30 %.

L'axe vertical figure la proportion de l'azote des matières organiques minéralisé rapidement (N %), c'est-à-dire en quelques mois (3 à 6 mois selon les matières organiques et les conditions de la parcelle). Les produits humigènes (composts, valeurs faibles de N minéralisé) fournissent assez peu d'azote. Inversement, les boues d'épuration sèches et les lisiers (valeurs fortes de N minéralisé) fournissent rapidement leur azote.

Pour les produits intermédiaires dont le carbone est assez vite minéralisé [C % de l'ordre de 20 à 35 %], la fourniture d'azote est variable : faible pour les fumiers de bovin, forte pour les fientes et fumiers de volailles. Les fientes séchées et les fumiers de volailles sont intéressants pour la nutrition des plantes parce qu'ils libèrent leur azote de façon régulière pendant quelques mois.

Toutefois, pour les matières comme les fumiers frais et les pailles, qui sont pauvres en N et à fort C/N, C est rapidement minéralisé par les microorganismes (40 à 50 % en quelques mois). Cette minéralisation entraîne l'immobilisation d'une partie de l'azote du sol pour la réorganisation microbienne, figurée par des valeurs de N % négatives.



Amendements organiques, engrais organiques, engrais organo-minéraux

Les matières organiques sont classées en trois catégories en fonction de leur action sur le sol ou sur la culture (**tableau 3**) : les amendements organiques, les engrais organiques et organo-minéraux.

Tableau 3. Amendements organiques, engrais organiques et engrais organo-minéraux (MS : matière sèche ; MO : matière organique ; MB : matière brute).

Catégorie	Amendements organiques	Engrais organiques	Engrais organo-minéraux
Définition	Teneur totale en N et P ₂ O ₅ et K ₂ O < 3 % MB MS % ≥ 30 % de MB MO % ≥ 20 % de MB	Teneur en un des 3 éléments (N ou P ₂ O ₅ ou K ₂ O) > 3 % de MB	Teneur totale en N + P ₂ O ₅ + K ₂ O > 7 % de MB et teneur en N ou P ₂ O ₅ ou K ₂ O > 3 % de MB
Référence de la norme NFU dans le cas d'une mise sur le marché du produit	NFU 44-051	NFU 42-001	NFU 42-001
Origine	Origine organique, végétale ou végétale + animale Matières organiques peu dégradables constituées surtout de matières végétales compostées	Origine organique, animale ou végétale, ou en mélange	1 % minimum d'azote organique Une partie des éléments N-P-K est d'origine minérale
Rôles	Elles fournissent de l'humus au sol. Elles améliorent les qualités agronomiques du sol : - amélioration de la structure du sol ; - meilleure rétention en eau ; - meilleure régulation du stockage et de la fourniture des éléments minéraux à la plante ; - stimulation de la flore et de la faune du sol.	Valeur amendante faible : peu d'influence sur les qualités agronomiques du sol du fait d'une rapide minéralisation du carbone. Elles fertilisent la culture : - apport des éléments minéraux N, P, K (selon les concentrations des matières d'origine) ; - pour N et P, l'intérêt est double : libération progressive en quelques mois, au fur et à mesure des besoins de la culture, et sous des formes directement assimilables par les plantes.	

Exemples de matières organiques produites à La Réunion

Issues de l'élevage	Composts et fumiers divers	Fiente séchée de poule pondeuse (riche en N + P ₂ O ₅ + K ₂ O) Compost de lisier de porc sur papier (riche en P ₂ O ₅ + K ₂ O)	Produits fabriqués par l'agriculteur à base de matières organiques enrichies en engrais
Issues de l'industrie	Ecume de sucrerie	Vinasse (riche en K ₂ O)	Produits commerciaux
Origine urbaine	Compost de déchets verts	Boues d'épuration séchées (riche en N + P ₂ O ₅)	-

Effet d'amendement organique

Certaines matières organiques sont de véritables amendements organiques. Il s'agit surtout des fumiers de bovin, de caprin, de cheval, de porc, des composts de ces fumiers, ainsi que de divers composts à base de végétaux. Epanchés régulièrement, ils maintiennent, voire augmentent, le taux de matière organique du sol, et ils améliorent l'état physique du sol.

Les amendements organiques sont fortement conseillés pour les cultures sarclées, comme les cultures maraîchères et le maïs. Ils sont indispensables pour compenser les effets négatifs d'un travail du sol intensif, qui a tendance à accélérer la minéralisation de la matière organique et à dégrader la structure du sol.

En pratique, les composts sont plus faciles à épandre et à manipuler que les fumiers (volume plus faible, granulométrie plus régulière et plus fine...). Ils ne gênent pas le passage des outils (préparation du sol, semoirs). Si le compostage a été réalisé dans de bonnes conditions,

le compost ne contient plus d'organismes pathogènes ni de graines de mauvaises herbes et il n'engendre pas de mauvaises odeurs (matière organique dite « hygiénisée »). Les composts ne créent pas de phénomènes de « terre creuse » ni de « faim d'azote », alors que c'est souvent le cas avec des fumiers pailleux.



Essai fertilisation : enfouissement de boue sur la canne à sucre avec un butoir.
© V. van de Kerchove

! Pratique

Attention, tout est question d'équilibre !

Un apport organique trop riche en carbone et fermentescible (paille, fumier pailleux, restitution des résidus de culture) peut conduire à une activité biologique excessive, provoquant la consommation par les microorganismes d'une partie de l'azote du sol. Il peut alors se passer une compétition entre ce prélèvement d'azote par la microflore et les besoins en N de la plante (par exemple, au moment du démarrage d'une nouvelle culture) : c'est le phénomène de « faim d'azote » de la culture. Ce phénomène est évité en apportant simultanément une fertilisation minérale azotée. La fertilisation organique de la parcelle doit donc toujours être calculée en fonction du type de matière organique apportée et du type de sol.

Conséquence du mode d'enfouissement

La qualité de l'enfouissement de la matière organique est importante car elle influe sur la vitesse de décomposition. Plus la matière est finement incorporée et mélangée à la couche travaillée du sol, plus la décomposition par la microflore est efficace.

Si l'enfouissement est mal réalisé, les matières comme les pailles et fumiers se retrouvent en paquets dans le sol : cela crée des zones creuses (« terre creuse ») dans lesquelles les racines ne peuvent pas se développer. Cela gêne le développement des racines des plantules et retarde la décomposition des matières organiques apportées.

Si les matières organiques sont laissées en surface, la décomposition est plus longue et se fait sous forme d'un compostage de surface qui engendre davantage de pertes (volatilisation d'azote).



Calcul de la valeur amendante : utilisation du coefficient K_1 ou de l'indice ISB

La transformation des matières de type amendement organique contribue à la formation d'humus. L'efficacité de ce processus peut être estimée par le coefficient isohumique K_1 ,

(c'est le rapport entre la quantité de carbone de la matière apportée et la quantité de carbone transformée en humus) ou par l'indice de stabilité biochimique (ISB), qui donne les mêmes informations que K_1 (➔ chapitre 4 - *Analyses agronomiques*) (tableau 4).

Tableau 4.

Coefficient isohumique K_1 et indice ISB de matières organiques produites en métropole (données moyennes, issues de plusieurs sources dont Institut de l'élevage, 2001 ; ATVDA, 1996 ; Djakovith, 1986) et à La Réunion (analyses CIRAD-MVAD, données uniques).

Matière organique apportée à la parcelle	Métropole		La Réunion
	K_1 (%)	ISB (%)	ISB (%)
Compost de fumier de bovin	50 à 60	40 à 60	49
Compost de fumier de bovin sur support cellulosique	-	50 à 80	-
Vieux fumier de bovin	40 à 50	30 à 60	-
Fumier de bovin peu pailleux	30 à 40	15 à 30	13
Fumier de bovin pailleux	20 à 30	15 à 25	-
Lisier de bovin	20 à 30	-	-
Fumier de mouton	-	40 à 60	-
Fumier de porc frais	20 à 30	15 à 25	-
Lisier de porc	5 à 10	-	-
Compost de porc sur bagasse	-	-	95
Compost de lisier de porc + litière de volaille	-	-	35
Composts avicoles	40 à 50	10 à 40	30
Compost de fumier de poulet de chair	-	40 à 60	26 ; 66
Litière de volaille fraîche	10 à 15	10 à 30	6 ; 25
Fiente séchée de poule pondeuse	5 à 10	6 à 10	-
Lisier de volaille	5 à 10	-	-
Paille fraîche	5 à 10	10 à 30	-
Racine de plante	15	-	-
Résidu de récolte	10 à 15	5 à 15	-
Compost d'ordures ménagères	20 à 25	20 à 50	-
Boue d'épuration urbaine	15 à 20	-	-
Boue d'épuration solide-sèche	-	30	-
Compost de déchets verts	-	60 à 90	29 ; 30
Compost de déchets verts + boue d'épuration	-	≥ 60	26
Ecume fraîche	-	-	33
Ecume compostée	-	-	62 ; 100

- : pas de données disponibles.

! Pratique

Exemple de calcul de la valeur amendante

Prenons l'exemple d'un fumier de bovin contenant 250 kg de matière organique par tonne de produit brut et dont le coefficient K_1 est 50 %. Pour 8 t/ha de fumier apporté, la quantité théorique d'humus produite (c'est-à-dire la valeur amendante du fumier épandu) est :

$(8 \times 250) \times 50 \% = 1\ 000$ kg/ha d'humus du sol, soit un peu moins de 1 % du stock organique d'un sol moyen (sur la couche 0-30 cm du sol cultivé).

Ce résultat doit être comparé au résultat du bilan humique de la parcelle : selon le stock organique du sol et le type de culture, un apport annuel de 1 000 kg/ha d'humus peut suffire à compenser les pertes organiques par minéralisation.

Calcul du bilan humique de la parcelle cultivée

Le bilan humique d'un sol (ou bilan organique, schématisé en **figure 6** page 78) est un calcul théorique qui compare la quantité d'humus apportée au sol par les épandages de matières organiques et la quantité de matière organique du sol minéralisée au cours de l'année (→ *partie Minéralisation du chapitre 3 - La fraction biologique du sol*).

Le résultat du bilan humique dépend de la culture en place, des techniques culturales et du type de sol.

Pour calculer ce bilan, on utilise les données expérimentales connues (disponibles dans la documentation technique) et les données dont l'agriculteur dispose. Nous traitons ici deux exemples : une culture de canne à sucre (**tableau 5**) et une rotation de fourrages sur un andosol des Plaines (**tableau 6**).

Tableau 5. Bilan humique d'un sol cultivé en canne à sucre, cycle de 6 ans (MS : matière sèche).

Données sur la parcelle	Etape 1 : perte d'humus du sol	Etape 2 : humus restitué par la canne	Etape 3 : bilan humique
Surface = 10 000 m ² Profondeur de labour = 0,30 m Densité du sol sur l'épaisseur travaillée = 1,2 t/m ³ Taux de matière organique sur l'épaisseur travaillée = 3 % Quantité de matière organique sur l'épaisseur travaillée = 108 t/ha (10 000 × 0,30 × 1,2 × 3 % = 108 t)	Coefficient de minéralisation annuel K_2 du sol = 2 % Perte totale : 108 × 2 % × 6 ans = 12,96 t	Résidus pailleux : 8 t MS/ha/an, $K_1=10$ % Gain humus résidus 8 × 10 % × 6 ans = 4,8 t Racines : 6 t MS/ha/an, $K_1=15$ % Gain humus racines 6 × 10 % × 6 ans = 3,6 t Gain total en humus : 4,8 + 3,6 = 8,4 t	8,4 – 12,96 = – 4,56 t/ha La quantité d'humus de l'épaisseur de sol travaillé a diminué de 4,56 t/ha en 6 ans. En fin de cycle, elle est égale à 103,44 t/ha.
	– 12,96 t/ha	+ 8,4 t/ha	– 4,56 t/ha

Commentaire

La perte théorique est estimée à 4 % du stock organique du sol en 6 ans. Un complément de matière organique exogène est nécessaire à la replantation pour équilibrer le bilan humique, par exemple 15 t/ha de fumier de bovin (K_1 : 30 %).



Tableau 6.

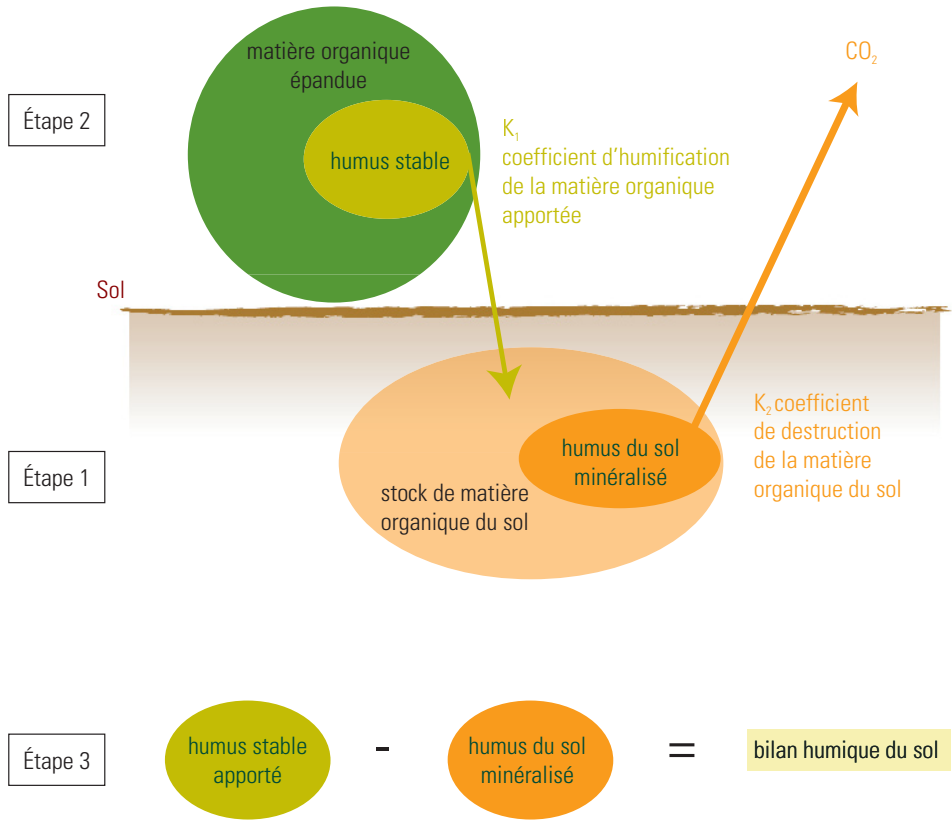
Bilan humique d'une rotation de fourrages sur un andosol des Plaines : 2 ans de maïs ensilage suivi d'un apport de fumier et 2 ans de ray-grass pâturé (MS : matière sèche).

Données sur la parcelle	Etape 1 : perte d'humus du sol	Etape 2 : humus restitué	Etape 3 : bilan humique
<p>Surface = 10 000 m²</p> <p>Profondeur de labour = 0,25 m</p> <p>Densité de l'andosol = 0,9 t/m³</p> <p>Taux de matière organique sur l'épaisseur travaillée = 12 %</p> <p>Quantité de matière organique sur l'épaisseur travaillée = 270 t/ha (10 000 x 0,25 x 0,9 x 12 % = 270 t)</p>	<p>Coefficient de minéralisation annuel K₂ du sol = 1,5 %</p> <p>Perte totale : 270 x 1,5 % x 4 ans = 16,20 t</p>	<p>a/ par les cultures et prairies</p> <p>Racines maïs 1^{re} année : 4 t MS/ha/an, K₁ = 15 %</p> <p>Racines maïs 2^e année : 4 t MS/ha/an, K₁ = 15 %</p> <p>Gain humus racines maïs 4 x 15 % x 2 ans = 1,2 t</p> <p>Ray-grass racines + bouses 1^{re} année : 12 t MS/ha/an, K₁ = 20 %</p> <p>Ray-grass racines + bouses 2^e année : 12 t MS/ha/an, K₁ = 20 %</p> <p>Gain humus racines ray-grass + bouses 12 x 20 % x 2 ans = 4,8 t</p> <p>b/ par le fumier apporté après le maïs ensilage</p> <p>20 t MS/ha, K₁ = 50 %</p> <p>Gain humus fumier 20 x 50 % = 10 t</p> <p>Gain total en humus : 1,2 + 4,8 + 10 = 16 t</p>	<p>16 – 16,20 = – 0,2 t/ha</p> <p>La quantité d'humus de l'épaisseur de sol travaillé a diminuée de 0,2 t/ha en 4 ans. En fin de cycle, elle est égale à 269,8 t/ha.</p>
	– 16,20 t/ha	+ 16 t/ha	– 0,2 t/ha

Commentaire

La perte théorique est inférieure à 1 pour mille du stock organique du sol : aux incertitudes de mesure près, le bilan est équilibré.

Figure 6.
Schéma du bilan humique d'un sol.



Étape 1 : évaluer la quantité de matière organique du sol minéralisée. Elle est calculée en appliquant le coefficient K_2 de destruction annuelle de la matière organique (d'où une diminution du stock organique du sol).

Étape 2 : évaluer la quantité d'humus issue d'un apport de matière organique. Elle est calculée en appliquant le coefficient K_1 ou l'indice ISB. L'humus issu de l'apport organique vient enrichir le stock de matière organique du sol (d'où une augmentation du stock organique du sol).

Étape 3 : calculer la variation du stock organique du sol (étape 2 – étape 1). Le bilan humique peut être négatif : cela signifie qu'il faut modifier les façon culturales pour éviter la baisse de la teneur organique du sol (par exemple, augmenter l'apport de matières organiques amendantes, limiter les travaux culturaux qui accélèrent la minéralisation...). Le bilan peut être positif (le sol s'enrichit en matière organique), ou équilibré (le stock organique du sol est maintenu).



Effet fertilisant des matières organiques sur les cultures

Certaines matières organiques ont une valeur fertilisante importante (en un ou plusieurs des éléments : N, P, K, S, Mg, Ca, oligo-éléments...). Lorsque l'agriculteur veut privilégier le rôle fertilisant de l'apport organique, il choisit des matières riches en éléments nutritifs (types engrais organiques et organo-minéraux). A La Réunion, la vinasse (produit liquide), les fientes séchées de poule pondeuse et les boues d'épuration séchées sont de type engrais organiques. Pour les matières de type engrais organo-minéraux, les agriculteurs fabriquent eux-mêmes des composts enrichis ou peuvent se fournir en produits commerciaux importés.

Valeur fertilisante : coefficients équivalent-engrais (CE)

La valeur fertilisante des matières organiques peut être estimée par les coefficients d'équivalence en engrais minéral. Pour un élément fertilisant contenu dans une matière organique, cette valeur correspond à la fraction de cet élément qui agit comme un engrais minéral, c'est-à-dire directement disponible pour la culture. Cette proportion directement utilisable par

une culture est calculée en % de la teneur totale de l'élément : c'est le coefficient d'équivalence en engrais, ou coefficient équivalent-engrais (CE %).

Les coefficients équivalent-engrais ont été calculés pour les principaux éléments fertilisants (N, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO, S) (**tableaux 7, 8, 9**). Ces coefficients varient cependant avec de nombreux facteurs :

- les cultures et leur capacité à absorber l'élément fertilisant au cours d'une période plus ou moins longue ;
- les dates de l'apport organique, par rapport aux besoins de pointe de la culture ;
- les conditions d'application (matériel, climat).

Les coefficients équivalent-engrais sont déterminés expérimentalement (essais type courbe de réponse). En métropole, ils ont été pour la plupart mesurés dans des conditions de climat et de sol de zone tempérée : climat de l'ouest de la France métropolitaine, cultures de type prairie ou maïs (exemple du CE-N, **tableau 7**). Les données mesurées à La Réunion sont toutefois du même ordre de grandeur que les données obtenues en métropole (**tableaux 8, 9**).

Tableau 7.

Coefficients équivalent-engrais azoté (CE-N) (d'après l'Institut de l'élevage, 2001).

Type de matière organique	CE-N sur prairie installée	CE-N sur maïs
Composts divers de fumier de bovin, porc, etc.	≤ 10 %	≤ 20 %
Fumiers de bovin et porc	5 à 40 %	5 à 30 %
Compost de fumier de volaille	-	40 %
Fumier de volaille	-	60 %
Fiente séchée de poule pondeuse	-	60 %
Lisiers de bovin, porc, volaille (sans volatilisation à l'apport)	40 à 70 %	60 à 70 %

- : pas de données disponibles.

Tableau 8.

Coefficient équivalent engrais azoté (CE-N %) de diverses matières organiques. Les données obtenues en métropole et à La Réunion sont du même ordre de grandeur. Données métropole : d'après ADEME, Chambres d'agriculture de Bretagne. Données La Réunion (valeurs notées ●) : CIRAD, MVAD (Chambre d'Agriculture de La Réunion).

Type de matière organique	CE-N (%) moyen	CE-N (%) moyen minimal	CE-N (%) moyen maximal
Boue d'épuration liquide		35	70
Boue d'épuration pâteuse		35	65
Boue d'épuration solide		45	55
● Compost de déchets verts + boue d'épuration	15		
Compost de déchets verts		0*	10
Compost de fumier de bovin		0*	10
● Compost de lisier porcin + bagasse		15	25
Compost de déchets verts et FFOM	10		
Compost de lisier porcin et de litière de volaille		5	15
Compost de FFOM	10		
● Ecumes de sucrerie compostée		10	15
● Fumier de bovin sur paille de canne		0*	10
Fumier de caprin		10	30
Fumier de cheval		15	20
Fumier de lapin	20		
Fumier de mouton		15	30
● Lisier de poule pondeuse		45	65
● Lisier de porc		20	60
● Lisier de bovin		20	55
● Fumier de volaille		45	65
● Vinasse		10	20

* : la valeur 0 signifie qu'une réorganisation de l'azote du sol peut être observée en début de minéralisation lors de l'apport (cette réorganisation est en général due à un C/N élevé, voir figure 5) : l'azote issu de la matière organique apportée est retrouvé dans le stock d'azote du sol après un certain temps (60 à 200 jours selon les matières).



Essai fertilisation : apport de boue pour épandage manuel sur canne à sucre. © V. van de Kerchove



Tableau 9.

Coefficients d'équivalence engrais CE-N et CE-S, $CE-P_2O_5$, $CE-K_2O$, $CE-MgO$, $CE-CaO$ selon les types de matière organique.

CE	Gamme des valeurs CE	Explication de la variation
CE-N et CE-S (mêmes valeurs)	10 à 60 % 10 % : composts et fumiers 60 % : lisiers	La dynamique du soufre (cycle du soufre dans le sol) suit des processus identiques à celle de l'azote. C'est pourquoi leurs CE sont identiques.
$CE-P_2O_5$	65 à 100 % 100 % : fumiers de bovin, caprin, porc, cheval - Lisier de bovin, purin 85 % : lisier de porc et composts dérivés - Boue d'épuration 65 % : lisier de volailles - Lisier de lapin - Fientes, fumiers, composts de volailles	Dans le cas de certaines matières, les formes organiques sont assez stables et ne libèrent pas complètement P_2O_5 sous des formes directement assimilables par la plante.
$CE-K_2O$ $CE-MgO$ $CE-CaO$	100 % pour toutes les matières organiques	K_2O , MgO et CaO se comportent comme des engrais minéraux quelle que soit la matière organique. Ces éléments sont facilement solubles et se retrouvent rapidement dans la solution du sol.

Fertilisation organique N

Les matières organiques exogènes servant à la fertilisation d'une culture contiennent une certaine quantité d'azote. Une partie de cet azote est disponible immédiatement et procure un **effet direct** sur la culture en place. Une autre partie est libérée plus lentement et procure un **arrière-effet** dont la culture suivante bénéficie.

L'**effet direct** de la fertilisation organique se concrétise par l'azote utile de la matière organique, et correspond à la somme suivante : N minéral contenu dans la matière organique (NH_4 dans les lisiers) + N de la matière organique qui se minéralise rapidement après l'épandage.

L'azote utile est calculé à partir du coefficient équivalent-engrais CE-N (**tableau 10**). C'est la fraction de l'azote qui permet d'obtenir les mêmes résultats sur l'accroissement de rendement d'une culture qu'un engrais de type ammo-

nitrate. L'effet direct dépend donc des fractions azotées contenues dans la matière organique (plus il y a d'azote facilement minéralisable, plus l'effet direct est important) et de facteurs extérieurs : culture, modalité d'apport, milieu (climat, sol), techniques culturales.



Pratique

Exemple d'application du CE-N

Prenons un apport de 10 t/ha de fiente séchée de poule pondeuse dont la teneur en N est 30 kg/t et CE-N 60 %.

L'apport d'azote utile est calculé ainsi :

$30 \times 10 \times 60 \% = 180$ kg/ha d'azote équivalent à un engrais de type ammonitrate.

Le reste de l'azote apporté (soit 40 %, 120 kg/ha N) peut être perdu (surtout par volatilisation), ou stocké dans le sol sous forme organique. Dans ce dernier cas, cette fraction organique peut donc avoir un arrière-effet sur les cultures suivantes.

5 - Les matières organiques produites à La Réunion

Tableau 10.

Calcul de la quantité d'azote utile pour quelques apports organiques.

Type de matière organique	Teneur N total	Matière brute épandue	CE-N	Quantité N utile	Conséquences
Lisier, fiente séchée de volaille	33 kg/t	5 t/ha	60 %	$33 \times 5 \times 60 \% = 99 \text{ kg/ha}$	<p>Un apport de 5 t/ha de fiente séchée équivaut à l'apport d'un engrais azoté dosant 99 kg/ha N.</p> <p>Lisiers et fientes sont riches en N ammoniacal.</p> <p>Ces matières ont un effet direct très fort et peuvent même être toxiques pour la culture si les doses d'apport sont trop élevées.</p>
Fumier de bovin	6 kg/t	30 t/ha	10 %	$6 \times 30 \times 10 \% = 18 \text{ kg/ha}$	<p>Un apport de 30 t/ha de fumier équivaut à l'apport d'un engrais azoté dosant 18 kg/ha N.</p> <p>Composts et fumiers ont un faible effet direct en azote : ce sont des amendements organiques.</p> <p>Cet azote est libéré progressivement après une première phase d'immobilisation dans le sol, pouvant créer une faim d'azote en début de croissance de la culture.</p>

Les arrières-effets sur les cultures suivantes sont toujours difficiles à mesurer. Le calcul de la dose de fertilisant organique en tient compte par le biais de l'utilisation de la teneur du sol en azote (connue par l'analyse standard de sol). La teneur du sol en azote augmente lorsque les apports organiques à

la parcelle sont réguliers. Ces effets d'accumulation sont élevés quand l'agriculteur apporte des amendements organiques (fumiers, composts). Inversement, les arrières-effets sont négligeables pour les matières organiques de type engrais organiques, engrais organo-minéraux, et les lisiers.

En savoir plus

Effet des apports organiques sur les sols de La Réunion

En zone tempérée, des essais de longue durée (5 à 150 ans) ont montré que l'application annuelle de fumier entraîne une augmentation du stock d'azote du sol. Récemment, des essais similaires ont été mis en place à La Réunion par le CIRAD, en culture de canne à sucre, et par la MVAD (Chambre d'agriculture), pour comparer les effets des fertilisations organiques et minérales sur les cultures et sur les sols. Les résultats sont très attendus parce qu'on sait que le climat a une influence forte sur les phénomènes d'humification et de minéralisation.

Fertilisation organique P₂O₅

Le phosphore provient des fèces et des pailles, le plus souvent sous des formes organiques (ATP, ADN, phospholipides, phosphore phytique). Ces formes sont facilement disponibles pour la

culture et équivalentes à une forme soluble de phosphate contenue dans un engrais minéral.

Le phosphore minéralisé par les microorganismes évolue comme celui d'un engrais : prélèvement par la plante, rétrogradation progressive du



phosphore non prélevé vers des formes minérales non assimilables (phosphore rétrogradé et fixé).

Lorsque l'effet est équivalent à celui d'un phosphate soluble, la valeur du coefficient équivalent-engrais CE-P₂O₅ est de 100 %. Dans le cas des lisiers de porc, et surtout des lisiers et fientes de volaille, le phosphore est moins disponible pour les plantes parce qu'il est sous des formes organiques plus stables. CE-P₂O₅ se situe en général entre 60 et 80 % (tableau 9).

Fertilisation organique K₂O

Le potassium provient de la paille et des urines. Il est sous une forme minérale (urée, carbonate, chlorure) totalement soluble et aussi efficace que celui d'un engrais potassique minéral. CE-K₂O est de 100 % pour toutes les matières organiques (tableau 9).

L'eau de pluie ou d'irrigation dilue le potassium contenu dans la matière organique apportée et l'entraîne dans le sol où il est absorbé par la plante avec la solution du sol. L'excédent est adsorbé sur le complexe argilo-humique du sol. Si le complexe est saturé en cations, notamment en K⁺, le potassium provenant de l'apport organique peut être perdu par lixiviation.

Fertilisation organique en S, Ca, Mg, oligo-éléments

Soufre (S), calcium (Ca), magnésium (Mg), oligo-éléments proviennent de deux sources :

- les déjections, dans lesquelles se retrouvent plus de 90 % des oligo-éléments ingérés par les animaux ;
- les litières végétales, nettement moins riches que les déjections.

D'une façon générale, les parcelles recevant régulièrement des apports organiques n'ont pas besoin d'autres formes minérales complémentaires pour Mg, S et les oligo-éléments. Pour Ca, cela dépend des types de matière organique et des besoins en chaulage (amendements calciques).

Le soufre a une dynamique proche de celle de l'azote. Les coefficients équivalent-engrais du

soufre (CE-S) sont analogues à ceux de N, dans les mêmes conditions (tableau 9). Certaines matières organiques ont des teneurs significatives en soufre, comme les composts de fumier de poulet de chair (S : 5 kg/t de produit brut, à La Réunion). Ces composts ont une action fertilisante intéressante et peuvent être appliqués aux cultures dont les besoins sont élevés (crucifères).

Le calcium et le magnésium sont présents dans les matières organiques sous des formes minérales solubles (carbonate, sulfate, chlorure) : un coefficient équivalent-engrais de 100 % est utilisé (tableau 9). Les composts de fumier de poulet de chair en contiennent de grande quantité (MgO, 5 kg/t produit brut, CaO, 23 kg/t produit brut, à La Réunion). Ce sont d'intéressants amendements calco-magnésiens pour les sols acides.

Les oligo-éléments nécessaires aux plantes sont en général présents sous une forme facilement assimilable. Les lisiers de porc, de poule et de lapin sont très riches en cuivre (Cu) et en zinc (Zn), éléments qui sont aussi des ETM. Le cuivre et le zinc sont utilisés comme additifs de croissance dans l'alimentation des élevages industriels et ils se retrouvent donc dans les déjections. Apportés en grande quantité, les lisiers de porc peuvent devenir toxiques pour les plantes et pour les consommateurs des produits agricoles (hommes et animaux). Par conséquent, du point de vue agronomique et réglementaire, il peut être nécessaire de limiter les applications de ces effluents sur une même parcelle.



Essai d'épandage de lisier (à gauche sans lisier, à droite avec lisier), quelques heures après l'épandage, sur un sol andique des hauts (station des Colimaçons).
© H. Saint Macary

Modification du pH du sol par les apports organiques

La minéralisation des matières organiques produit des ions H^+ qui acidifient le sol. Mais les matières organiques contiennent de nombreux cations qui neutralisent cette acidité. Certaines matières organiques permettent même de remonter le pH d'un sol acide. Cet effet sur le pH du sol dépend de la composition chimique de la matière organique apportée et des transformations qui s'opèrent dans le sol. Cet effet est mesuré en « équivalent chaux » (ou équivalent CaO , en kg/ha CaO). Dans la bibliographie, on trouve des valeurs de coefficient d'équivalence en chaux pour les matières organiques et les engrais (**tableau I I**).

Les matières organiques issues de l'élevage sont beaucoup moins acidifiantes qu'un apport d'engrais minéral azoté, pour une dose d'azote comparable (**tableau I I**). Les matières organiques très riches en azote ammoniacal peuvent acidifier légèrement le sol, mais toujours moins qu'un engrais minéral. Le remplacement total ou partiel

des engrais minéraux par certaines matières organiques (fumier d'ovin, fiente séchée de volaille, certains composts et fumiers...) peut remonter le pH du sol.



Epaneur à fumier. © V. van de Kerchove

En savoir plus

pH du sol

L'effet des apports organiques sur le pH du sol dépend de l'équilibre entre deux processus :

- l'acidification, due à l'oxydation de N, P et S organiques en anions simples (NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}) et à l'oxydation de C organique en carbonates (CO_3^{2-}) ;
- l'alcalinisation, due à la neutralisation des ions H^+ liée aux effets des cations métalliques apportés (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , etc.) et au remplacement des ions H^+ sur le complexe argilo-humique par ces cations.

Effet sur le pH du sol : équivalent chaux (CaO)

Les principaux amendements alcalinisants contiennent du calcium (Ca) : c'est pourquoi l'unité de mesure de l'effet sur le pH du sol s'exprime en équivalent chaux ou « équivalent CaO » (kg/ha CaO). Les valeurs de l'équivalent CaO sont positives lorsque l'apport a un effet alcalinisant (équivalent à un apport de CaO). Les valeurs négatives signifient que la matière organique ou l'engrais acidifient le sol (équivalent à une perte de CaO).

Par exemple, pour un apport d'urée de 100 kg/ha , l'équivalent chaux est de -46 kg CaO/ha . Cela veut dire qu'il faudrait apporter 46 kg/ha de chaux pour neutraliser l'acidification provoquée par la nitrification de l'urée.



Tableau 11.

Effets sur le pH du sol d'engrais et de matières organiques : les coefficients d'équivalence en chaux.
Données obtenues en métropole (données sur les matières organiques d'après l'Institut de l'élevage, 2001).

Effet sur le sol		Doses recommandées de produit brut (pour 150 à 200 kg/ha N)	Equivalent chaux (kg/ha CaO) pour les doses recommandées*
Alcalinisant	Fiente de volaille pondreuse	5 t/ha	+ (50 et plus)
	Fumier d'ovin	20 t/ha	+ (70 et plus)
	Compost de fumier de porc	10 t/ha	+ (50 et plus)
Acidifiant	Ammonitrate à 28 % N (pour 196 kg/ha N)	700 kg/ha	- (231 et plus)
	Urée (pour 180 kg/ha N)	400 kg/ha	- (184 et plus)
	Fumier de poulet de chair	5 t/ha	- (130 et plus)
	Fumier de porc	20 t/ha	- (130 et plus)
	Fumier mou de bovin	20 t/ha	- (50 et plus)
Neutre	Fumier de bovin compact, compost de fumier de bovin	10 t/ha	0
	Lisier de porc, lisier de bovin	20 m ³ /ha	0
	Fumier de porc sur litière accumulée	20 t/ha	0

* : en l'absence de volatilisation de l'ammoniac



Chantier d'épandage. © V. van de Kerchove



Tas de compost (déchet vert et FFOM à Sainte-Rose) prêt à l'emploi.
© V. van de Kerchove

Critères de choix des matières organiques

Pour choisir la matière organique à apporter sur les parcelles, l'agriculteur doit associer plusieurs critères. Cette combinaison aboutit à une gamme de plusieurs matières organiques et la décision finale est prise en fonction de la culture et des besoins en éléments nutritifs.

Origine

- Elevage : effluents bruts type lisier; fiente ; effluents peu transformés type fumier; composts de fumier; de lisier.
- Industrie : industries agro-alimentaires, industrie sucrière (vinasse, écume).
- Urbain : boue d'épuration, composts de déchets verts additionnés ou non de FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères) ou de boue d'épuration.

- Importation : terreau, amendements organiques, divers tourbes et supports de culture.

Consistance

Ce facteur est un critère de choix lié au matériel disponible sur l'exploitation pour le transport et l'épandage : solide ou sec ; pâteux (difficile à épandre) ; liquide.

Selon le type de bâtiment d'élevage, les matières organiques produites sont différentes. Leur consistance dépend en définitive de pratiques telles que le raclage, le paillage, le curage, la dilution avec des apports d'eau, le broyage, l'égouttage (**tableau 12**).

Tableau 12.

Schéma de fabrication d'une matière organique épandable issue de ruminants (Institut de l'élevage, 2001).

Effluent		Litière	Etat	Que faire avec les matières intermédiaires ?
Lisier	lisier dilué	0	Liquide, stockable, épandable	-
	lisier pur	1 kg/m ²		
Matières intermédiaires entre les lisiers et les fumiers	lisier pailleux	1 à 3 kg/m ²	Ni stockable, ni épandable	Séparer ce qui peut évoluer vers une forme de lisier (liquide) et ce qui peut devenir un fumier (solide). 1. Pour obtenir un lisier pompable : - diminuer ou supprimer la paille, broyer si nécessaire à cause des débris alimentaires qui obstruent les buses, - ou diluer avec des apports d'eau. 2. Pour obtenir un fumier compact : - augmenter la paille + travailler le produit (remuage) + égoutter.
	fumier mou			
Fumier	fumier compact à très compact	> 3 kg/m ²	Solide, stockable, épandable	-



Coût d'achat (hors frais de transport)

- Gratuit (échange gré à gré).
- Moins de 100 euros/t.
- Entre 100 et 200 euros/t.
- Plus de 200 euros/t = produits commerciaux.

Mode d'action

- Amélioration du sol (amendement organique).
- Nutrition de la plante (engrais organiques et organo-minéraux).
- Action double (fumiers riches).

Vitesse d'action

- Minéralisation rapide de l'azote (boues, lisiers).
- Minéralisation lente et progressive (composts).
- Minéralisation faible et lente (présentant une phase de transformation de quelques mois comme les fumiers pailleux).

Types d'élément fertilisant

- Apport N prioritaire : matière organique à fort coefficient équivalent-engrais N, type lisiers de porc ou de volaille.
- Apport N et P équilibré : lisier, fiente, fumier de poulet de chair.
- Apport équilibré en N-P-K.
A forte teneur : plutôt du type compost de fumier de poulet de chair, fiente séchée de poule pondeuse, compost de fumier de poule pondeuse, fumier de poulet de chair, fumier de poule pondeuse.
- A faible teneur : compost de fumier de bovin.
- Apport K prioritaire : matière riche en potasse (vinasse).
- Action sur le pH du sol (type chaulage) : fiente séchée de volaille, fumier d'ovin, compost de fumier de porc.

Législation

Se reporter ➔ chapitres 7 et 8 -*Réglementation sur l'identification des matières organiques et Réglementation sur les épandages en agriculture.*

Impact sur l'environnement

- Peu de risque de nuisance : composts.
- Nombreux risques : lisiers, fientes, boues.

Emploi en agriculture biologique certifiée AB

Les matières utilisables sont énumérées dans l'annexe II du règlement européen n°2092/91.

Ce sont des fumiers et composts provenant soit d'élevages certifiés en agriculture biologique, soit d'élevages extensifs au sens de l'article 6 du règlement CEE n° 2328/91 (volailles en libre parcours, élevage de ruminants à densité ≤ 2 UGB/ha de surface fourragère).

Les produits doivent être certifiés par l'organisme de contrôle.

Si les produits viennent d'un élevage intensif (ni extensif, ni hors-sol), les matières organiques brutes doivent obligatoirement être compostées.

Tous les produits d'élevage hors-sol sont interdits.

Épandage direct ou compostage en tas sur la parcelle

L'agriculteur peut épandre directement les matières organiques, ou les mettre au préalable en tas sur la parcelle pour une transformation par compostage (une seule matière organique ou un mélange de différentes matières).



Tas de matière organique en bord de champ de maraîchage (Dos d'Ane). © A. Nougadère



Ce qu'il faut retenir du chapitre 5



- ✓ Les résultats des analyses agronomiques de matières organiques produites à La Réunion sont regroupés dans la base de données de la MVAD (Chambre d'agriculture de La Réunion). Ces matières organiques sont issues d'élevages, d'agro-industries, de plates-formes de compostage et de stations d'épuration urbaines. Elles sont caractérisées :
 - par leur teneur en matière sèche, qui leur confère une consistance liquide, pâteuse, ou solide ;
 - par leur composition organique et minérale (N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg, S, oligo-éléments).
- ✓ La teneur en matière sèche influence fortement la richesse en éléments minéraux d'une matière organique. Plus les teneurs en matière sèche et en éléments fertilisants sont élevées, plus cette matière est riche.
- ✓ Les matières organiques riches en N (15 à 52 kg/t produit brut) sont les composts de fumiers de porc et de volaille, les fumiers de poulet de chair, les fientes de poule pondeuse et les boues solides-sèches (très riches en N car leurs teneurs en matière sèche sont très élevées, de 60 à plus de 80 %).
- ✓ Les matières riches en P₂O₅ sont peu nombreuses (15 à 32 kg/t produit brut). Elles sont également riches en N. On y retrouve les composts de fumiers de poulet de chair et de poule pondeuse, les fientes et les fumiers de poule pondeuse, les boues d'épuration solides-sèches.
- ✓ Les matières organiques riches en K₂O (10 à 26 kg/t produit brut) sont surtout des produits solides : fumiers de mouton et de caprin, compost de lisier de porc, compost de fumier de porc, compost de fumier de poulet de chair, les fientes de poule pondeuse étant les plus riches (26 kg/t produit brut). Les vinasses sont les seules matières liquides à être riches en K₂O (16 kg/t produit brut).
- ✓ Certaines matières organiques améliorent le sol. Ce sont des amendements organiques, comme les fumiers et les composts. Elles permettent la formation d'humus stable. La valeur amendante d'une matière organique est calculée à partir du coefficient K₁ ou de l'indice ISB.
- ✓ D'autres matières organiques sont fertilisantes pour les cultures, comme les lisiers, les fientes et les boues. Elles sont classées en deux catégories, les engrais organiques et les engrais organo-minéraux. Elles agissent comme un engrais minéral. Elles apportent peu de matière organique transformable en humus. L'effet fertilisant est calculé à partir des coefficients équivalent-engrais (CE) pour chaque élément fertilisant.
- ✓ Le remplacement total ou partiel des engrais minéraux par certaines matières organiques (fumier d'ovin, fiente séchée de volaille, certains composts et fumiers...) peut remonter le pH du sol (effet de chaulage). Les produits organiques riches en azote ammoniacal peuvent acidifier légèrement le sol (fumier de porc), mais toujours moins qu'un engrais minéral. On peut évaluer l'effet d'une matière organique sur le pH du sol en utilisant le coefficient d'équivalence en chaux.
- ✓ Pour choisir la matière organique à apporter sur les parcelles, l'agriculteur doit associer plusieurs critères : origine, consistance, coût d'achat, mode et vitesse d'action, type d'éléments fertilisants, législation, impact sur l'environnement, utilisation en agriculture biologique, épandage direct ou compostage à la parcelle. La combinaison de ces critères aboutit à un choix de plusieurs matières organiques. La décision finale est prise en fonction de la culture et des besoins en éléments nutritifs.

Risques sanitaires et pollution de l'environnement

L'apport de matières organiques sur les cultures est une pratique de recyclage qui peut être considérée comme durable si elle est réalisée dans le respect des réglementations et du conseil agronomique.

Dans les pratiques agricoles, le « principe de précaution » doit donc être appliqué car il constitue un gage de crédibilité pour la filière de recyclage au sol. Il concerne aussi bien la qualité des matières fertilisantes utilisées que le respect des normes ou l'amélioration des épandages. L'irrespect de ces critères de qualité de la fertilisation organique peut engendrer des risques sanitaires et des risques de pollution de l'environnement.



Etude des risques sur
colonne au laboratoire.
© P.-F. Chabalier

Risques sanitaires	90
<i>Risques pour les populations humaines</i>	90
<i>Risques pour les animaux</i>	91
<i>Les gestes de l'agriculteur pour réduire les risques sanitaires</i>	92
Pollution de l'environnement	93
<i>Qualité des sols et des cultures</i>	94
<i>Qualité de l'eau</i>	96
<i>Qualité de l'air</i>	97
<i>Les gestes de l'agriculteur pour réduire les risques de pollution</i>	100
Ce qu'il faut retenir du chapitre 6	102

Risques sanitaires

Les risques sanitaires sont liés à une éventuelle contamination des populations humaines, des animaux et de l'environnement par des microorganismes pathogènes contenus dans les matières organiques brutes (c'est-à-dire non hygiénisées). Ces matières organiques brutes,

d'origine humaine ou animale (boues d'épuration urbaines, lisiers, fumiers, fientes de volaille...) peuvent héberger quatre types de microorganismes pathogènes : les parasites, les bactéries, les virus et les champignons.



En savoir plus

Parasite, bactérie, virus, champignon

Un parasite est un être vivant unicellulaire (protozoaire) ou pluricellulaire (métazoaire). Il vit la totalité ou une partie de son existence aux dépens d'un ou de plusieurs autres êtres vivants, appelés hôtes (être humain, animal, plante...). Le plus souvent, le parasite ne se multiplie pas en dehors de son hôte (ou de ses hôtes).

Une bactérie est un microorganisme « procaryote » parce que son matériel génétique, c'est-à-dire l'acide désoxyribonucléique ou ADN, n'est pas logé dans un vrai noyau. La bactérie est formée d'une cellule qui assure sa survie et sa multiplication. Dans l'environnement, une bactérie peut se multiplier très rapidement, surtout si elle est placée dans des conditions qui lui sont propices. Certaines bactéries produisent des spores qui leur permettent de résister plus longtemps à des conditions défavorables (température, teneur en oxygène, humidité...).

Un virus est un organisme vivant très simple. Il est constitué d'un acide nucléique (son matériel génétique) inséré dans une enveloppe de protéines. Le virus pénètre dans une cellule hôte qui assure sa multiplication. Cette cellule se remplit de virus puis les libère lors de sa dissolution. Dans l'environnement (matières organiques brutes, eau, air...), le virus ne peut pas se multiplier s'il n'est pas logé dans une cellule hôte : il reste en l'état ou il est dégradé.

Un champignon produit des spores qui peuvent causer des rhinites allergiques et de l'asthme. Il se développe essentiellement sur un tas de matière organique en décomposition, comme un fumier ou un compost.

La survie de ces agents pathogènes dépend donc des conditions de milieu dans lequel ils se trouvent : température, insolation, pH (acide, neutre ou basique), accès aux nutriments...

Risques pour les populations humaines

Une personne est exposée aux microorganismes pathogènes lorsqu'elle ingère des particules de sol, des fruits ou des légumes mal lavés, lorsqu'elle a une mauvaise hygiène (mains sales), ou lorsqu'elle inhale, lors d'activités en plein air, des particules de sol polluées en suspension.

Les risques sanitaires concernent d'abord les personnes qui manipulent les matières organiques brutes (lisiers, fientes, fumiers, boues d'épuration urbaines). Ces personnes doivent porter des gants et se laver les mains régulièrement.

Bactéries et champignons aux effets allergiques peuvent également être présents au cours des phases de fabrication des composts.

Dans une boue d'épuration urbaine, la concentration en microorganismes dépend du climat, de l'état sanitaire de la population humaine raccordée au réseau d'égout, de la composition des eaux usées provenant d'activités industrielles ou agro-alimentaires, ainsi que du procédé de traitement des eaux usées. Les maladies provoquées par les microorganismes pathogènes sont



surtout de nature digestive. Elles peuvent être bénignes (troubles intestinaux, nausées) ou plus graves (dysenteries) (**tableau 1**). Les symptômes peuvent apparaître assez rapidement, quelques heures ou quelques jours après le contact, mais de nombreux facteurs interviennent : la résistance des microorganismes, leur capacité à se multiplier; la dose minimale infectante (DMI : quantité minimale de pathogènes absorbée par une personne pour que les symptômes de la maladie se manifestent), la réponse de la

personne contaminée, qui varie selon l'âge, le sexe et l'état de santé.



Pratique

Epandage de lisier

L'épandage de lisier sous pression augmente les risques de contamination par projection. Il faut donc diminuer la pression de sortie du lisier afin de réduire ce risque (utilisation de cuves avec des pendillards).

Tableau 1.

Exemples de maladies provoquées par des microorganismes pathogènes (toutes ne sont pas actuellement présentes à La Réunion).

Microorganisme pathogène		Pathologie
Parasites	Parasites intestinaux (coccidies, cryptosporidies)	Entérite hémorragique
	Vers parasites, <i>tænia</i> et <i>Ascaris spp</i>	Strongyloses gastro-intestinales, téniasis, ascaridioses, cysticérose
Virus	Entérovirus	Méningite, fièvre, éruption cutanée, poliomyélite
	Hépatovirus	Hépatites
	Rotavirus	Gastro-entérite
Bactéries	<i>Salmonella spp</i>	Salmonellose (fièvre typhoïde ou toxi-infection alimentaire)
	<i>Clostridium botulinum</i>	Botulisme
	<i>Listeria spp</i>	Listériose, méningite, septicémie, méningo-encéphalite
	<i>Campylobacter</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> , <i>Shigella spp...</i>	Entérite (inflammation de la muqueuse intestinale)
	<i>Mycobacterium paratuberculosis</i> et <i>Brucella</i>	Brucelose et paratuberculose

Risques pour les animaux

Le risque de contamination direct concerne les animaux qui pâturent une prairie, juste après l'épandage de matière organique brute et fraîche. L'épandage sur une parcelle en pente et en amont peut aussi entraîner, en cas de ruissellement, la contamination des parcelles en aval.

Une matière organique issue d'un élevage de volailles ne doit pas être épandue sur prairie, notamment en cas de pâturage parce qu'elle peut contenir *Clostridium botulinum* (bactéries et spores) responsable du botulisme, qui peut toucher le bétail et la population humaine.

Les gestes de l'agriculteur pour réduire les risques sanitaires

Des techniques permettent de supprimer les agents pathogènes des matières organiques avant épandage. Ce sont des techniques de traitement ou de stockage (durée et température spécifiques de transformation ou de stockage, adjuvants de traitement, compostage...). Les matières ainsi traitées sont dites « hygiénisées ». L'enfouissement de la matière organique avec du matériel adapté, juste après épandage, limite les risques de contamination.

Le respect de la réglementation sur l'épandage permet de réduire fortement les risques. Les analyses d'agents pathogènes sont obligatoires dans la réglementation sur l'épandage des boues d'épuration urbaines et pour certains produits normalisés (normes NFU 44-051, NFU 44-095...). La réglementation applicable lors d'un épandage agricole de boue d'épuration (arrêté d'application du 08 janvier 1998) impose l'analyse de parasites (œufs d'helminthes), de virus (entérovirus) et de bactéries (salmonelles et coliformes thermotolérants).

La norme NFU 44-095 (arrêté d'application du 18 mars 2004) sur les composts de boues d'épuration ou de déchets verts urbains impose l'analyse d'indicateurs de traitement : *Escherischia coli*, *Clostridium perfringens*, bactéries entérocoques (dont la présence ou l'absence

sert à vérifier l'efficacité du traitement), œufs d'helminthes viables, *Listeria monocytogènes*, salmonelles.



Pratique

Hygiénisation des matières organiques

Lisier de porc. Utilisation de deux fosses de stockage pour un auto-assainissement, pendant deux à trois mois ; traitement à la cyanamide calcique (5 l/m³), trois semaines avant l'épandage.

Fumier. Compostage avec deux retournements de l'andain et une montée en température.

Réduire les risques de contamination de l'eau

Pour réduire les risques de contamination des eaux, la réglementation sur l'épandage agricole prévoit des périmètres de protection autour des captages d'eau et des distances minimales pour l'épandage (➔ chapitre 8 - *Réglementation sur les épandages en agriculture*). Par exemple, le Règlement sanitaire départemental (RSD) de La Réunion précise qu'il est interdit d'épandre des matières organiques à moins de 35 mètres des puits et des forages, des sources, des berges de cours d'eau.



Pomme de terre et réservoir d'eau, Piton Hyacinthe. © V. van de Kerchove



Pollution de l'environnement

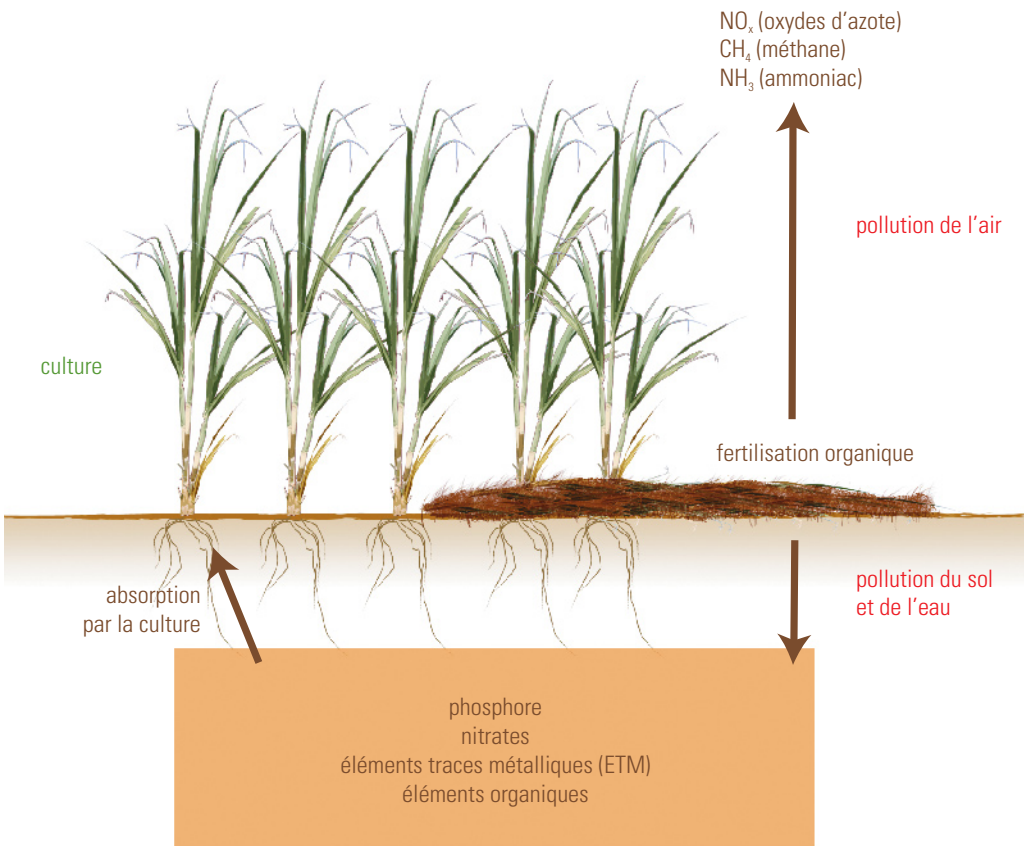
Les risques de pollution de l'environnement sont les risques de contamination par les nitrates, les phosphates, les éléments traces métalliques (ETM), et les composés traces organiques (CTO) éventuellement présents dans les matières organiques utilisées en agriculture. Ces risques apparaissent en cas de mauvaises pratiques de la fertilisation organique : surdosage, répartition irrégulière sur la parcelle, teneur élevée en contaminants des matières épandues. Ces éléments potentiellement dangereux peuvent

polluer l'atmosphère, polluer les sols, être exportés vers la chaîne alimentaire, être transférés vers les nappes d'eau souterraines. Ces pollutions peuvent toucher les trois compartiments de l'environnement : le sol, l'eau et l'air (**figure 1**). Elles peuvent être ponctuelles ou diffuses :

- ponctuelles, ou localisées, comme les fuites d'effluents issus des bâtiments d'élevage ;
- diffuses, provoquées par le ruissellement, le lessivage, ou par des dépôt atmosphériques d'éléments dangereux.

Figure 1.

Pollution de l'air, de l'eau et du sol en cas de surdosage de fertilisation organique.



! Pratique

Risques de pollutions agricoles à La Réunion

Les calculs de fertilisation étant le plus souvent fondés sur les apports en azote, l'excès de phosphore est à craindre lorsque les matières organiques épandues sont riches en cet élément. Des surdosages de lisier peuvent apporter du cuivre et du zinc en excès dans le sol.

En maraîchage, les quantités de matière organique épandues sont parfois considérables : le dosage de l'azote et du phosphore est en général excessif. La superficie des planches cultivées est parfois mal estimée, la valeur fertilisante des matières organiques n'est pas connue avec précision.

Ces pratiques engendrent des risques de pollution de l'environnement qui peuvent avoir des effets sur la qualité du sol, des produits agricoles récoltés, de l'eau et de l'air.

Qualité des sols et des cultures

La Commission européenne a lancé, en avril 2002, une « stratégie pour la protection des sols » qui place la préservation de la qualité de la ressource en sol au centre de sa politique de développement durable, au même titre que l'eau et l'air. La fertilisation organique est un moyen efficace pour lutter contre l'érosion, la perte de matière organique et la perte de biodiversité des sols (→ chapitres 2, 3 et 4). Mais la fertilisation organique peut être source de contamination diffuse des sols et des eaux si elle n'obéit pas à des pratiques rigoureuses.

Certaines matières organiques utilisées pour la fertilisation des cultures contiennent des éléments traces métalliques (ETM) et des composés organiques peu biodégradables. Les produits organiques sont en grande partie décomposés par les microorganismes du sol et ne présentent alors plus de risques. D'autres polluants potentiels, comme les ETM, le phosphore et des molécules organiques complexes non dégradables peuvent s'accumuler dans les sols.

Toxicité azotée

Une sur-fertilisation en azote (surdosage ou mauvaise répartition de la dose sur la parcelle) peut entraîner, pendant de courtes périodes, des concentrations importantes dans le sol.

C'est le cas de l'azote ammoniacal, apporté par des lisiers, qui peut être dangereux pour les cultures en place, particulièrement sensibles en début de cycle (brûlure de feuilles et mort des plantules).

Certains légumes (salades, brèdes) sont capables de stocker de grandes quantités de nitrates dans leurs tissus et peuvent alors devenir toxiques pour le consommateur (→ chapitre 1 - *La culture*).

Toxicité liée à d'autres éléments minéraux

Certaines graminées (canne à sucre, cannes fourragères...) présentent une consommation de luxe en potassium (→ chapitre 1 - *La culture*). L'excès de potassium peut entraîner des troubles digestifs chez les ruminants qui pâturent une prairie de ce type, mais cela a été rarement observé. Lorsqu'une culture de canne à sucre est très riche en potassium, la cristallisation du sucre s'effectue mal à l'usine et le sucre est évacué avec les mélasses.

Toxicité par les éléments traces métalliques (ETM)

L'accumulation d'éléments traces métalliques dans les sols peut entraîner des risques de



toxicité pour la flore, la faune et les populations humaines (→ chapitre 2 - *Le sol* + chapitre 8 *Réglementation sur les épandages en agriculture*). La législation retient le cadmium, le chrome, le cuivre, le nickel, le mercure, le plomb et le zinc comme contaminants potentiels de l'épandage agricole des boues d'épuration urbaines.

Des teneurs élevées en ETM peuvent se produire dans des matières d'origine agricole, comme les fumiers et les lisiers (cuivre et zinc), et dans les matières d'origine urbaine, comme les composts de déchets verts et les boues d'épuration.

Les composts urbains de La Réunion contiennent parfois des quantités élevées de chrome et nickel. La provenance du chrome et du nickel n'est pas encore connue précisément, mais ces éléments sont présents naturellement dans les sols volcaniques de l'île.

Actuellement, à La Réunion, les boues de stations d'épuration urbaines ne présentent pas de risque de pollution en ETM car il y a très peu d'industries et les eaux usées proviennent essentiellement des habitations raccordées au réseau.

Toxicité par les composés traces organiques

Cette toxicité concerne les boues de station d'épuration. Les composés traces organiques (CTO) sont les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les polychlorobiphényles (PCB). Une vingtaine de HAP est présente dans l'environnement, dont les plus cancérigènes sont les pyrènes (ils comportent 4 ou 5 noyaux benzéniques). Ils proviennent essentiellement de la combustion des hydrocarbures, surtout du gazole, et se retrouvent dans les eaux d'égouts et dans les stations d'épuration.

Les PCB (plus de 200 molécules formées avec des molécules de type biphényle chloré qui s'associent) sont issus des industries : peinture, plastique, électrotechnie (transformateurs), métallurgie. Ils pourraient également se former dans les eaux usées à partir de mélange de détergents et d'organochlorés. Ils sont très résistants et leur persistance est considérable dans l'environnement. Ils sont amenés par les eaux d'égouts. Ils sont peu présents dans les boues d'épuration urbaines produites à La Réunion.

La législation sur l'épandage agricole des boues d'épuration urbaines (arrêté du 08 janvier 1998) impose au producteur de boue l'analyse des teneurs en plusieurs composés traces organiques de la boue :

- hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), c'est-à-dire le fluoranthène, le benzo(a)pyrène et le benz(o)fluoranthène (ce sont les seuls HAP qui doivent être recherchés) ;
- polychlorobiphényles (PCB) numéros 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180.

Les boues d'épuration ne peuvent pas être épandues si elles contiennent des composés traces organiques en quantités supérieures aux teneurs maximales fixées par l'arrêté du 08 janvier 1998.



En savoir plus

Inventaire des ETM à La Réunion

À La Réunion, l'inventaire des ETM dans les sols, les déchets et les végétaux, réalisé en 2003, révèle qu'aucune accumulation d'ETM n'est actuellement détectable.

Cependant, afin d'analyser les impacts de la fertilisation organique sur les teneurs en ETM des sols et des végétaux, des expérimentations au champ et des essais en laboratoire sont en cours au CIRAD et à la Mission de valorisation agricole des déchets (MVAD) de la Chambre d'agriculture.

Qualité de l'eau

Lorsque des sols sont pollués ou sur-fertilisés, les éléments solubles dans l'eau sont facilement entraînés par ruissellement, infiltration, drainage et lixiviation et peuvent polluer les eaux de surface ou les nappes phréatiques. Les mesures correctives visent le plus souvent la protection des sols contre l'érosion.

Nitrates

Après une fertilisation azotée inadaptée (sur-fertilisation, mauvaise répartition, forte pluie après l'épandage...), la culture risque de ne pas absorber tout l'azote apporté. Les nitrates présents dans le sol sont alors perdus par lixiviation et se retrouvent en partie dans les nappes phréatiques (→ *partie La matière organique du sol et le cycle de l'azote du chapitre 5 - Les matières organiques produites à la Réunion*). Des teneurs élevées en nitrates s'observent souvent à l'aval ou au cœur des zones maraîchères où la sur-fertilisation des cultures est fréquente. Il est donc indispensable d'ajuster la fertilisation aux besoins de la culture. En revanche, la majorité des surfaces fourragères présente très peu de risques de lessivage des nitrates.

Phosphore

Dans l'ouest de l'île, au cours des fortes précipitations de l'été austral ou des cyclones, les phénomènes érosifs sont importants. Ils ont de graves répercussions sur le lagon qui reçoit les eaux de ruissellement chargées en terre et en éléments fertilisants provenant des bassins versants cultivés en amont. Le taux de phosphore des eaux douces ou salées est un facteur déterminant de la croissance des algues et du plancton. Une eau concentrée en phosphore stimule le processus de fixation de l'azote de l'atmosphère par les algues et accélère leur croissance : c'est l'eutrophisation des cours d'eau. Le lagon est très sensible à l'eutrophisation et aux apports de terre : les algues



En savoir plus

Eau potable à La Réunion

À La Réunion (Atlas de l'environnement, 2002), l'eau est en général de très bonne qualité mais les dépassements temporaires des normes de potabilité des eaux sur quelques captages sont préoccupants. Près de la moitié des unités de distribution délivrent une eau polluée ponctuellement. La population réunionnaise est alimentée en eau par plus de deux cents captages dont au moins la moitié est estimée vulnérable aux risques de pollution. En 2002, il y avait seulement 25 périmètres de protection des eaux de captage, et une dizaine en cours de procédure de classement.

Une eau est considérée comme potable lorsqu'elle contient moins de 50 mg/l d'azote nitrique. L'évolution des taux de nitrates dans l'eau de certaines unités de distribution peut être interprétée localement comme un signe de dégradation de la ressource. Cependant, il est actuellement impossible de déterminer si une pollution azotée est d'origine urbaine ou agricole. Certaines sources peuvent être polluées par des pesticides.

dites gazonnantes se développent au détriment des coraux qui dépérissent rapidement. Les conséquences économiques (tourisme, pisciculture...) s'ajoutent alors aux dommages écologiques.

Des pratiques agricoles permettent de lutter contre l'érosion :

- maintien d'une couverture végétale pendant la période des pluies (décembre à fin mars) sur les sols à forte pente ;
- aménagement des parcelles en terrasses ;
- haies anti-érosives ;
- pas de sur-fertilisation des cultures en phosphore, il faut donc respecter l'équilibre entre les besoins de la culture, les apports fertilisants et la fourniture du sol ;
- pas de travail du sol pendant la période des pluies, surtout les défrichements sur les pentes.



Qualité de l'air

La fabrication et la manipulation de matières organiques peuvent affecter la qualité de l'air à proximité du lieu d'émission ou à une plus grande échelle — on parle dans ce dernier cas de pollution atmosphérique.

Emissions gazeuses à proximité du lieu émetteur

Le lisier stocké dégage de l'ammoniac et, dans une moindre mesure, d'autres gaz. Lorsque la fosse à lisier est vidangée, juste avant l'épandage, les émanations d'ammoniac peuvent intoxiquer la personne qui manipule (évanouissement, chute dans la fosse). Ces émanations dangereuses ont lieu aussi à la manipulation des composts très riches en ammoniac (compost produit à partir de lisier apporté sur litière de volaille), à la mise en andains et à la reprise par un andaineur-mélangeur.

À l'épandage de matières organiques riches en azote ammoniacal (certains lisiers), des molécules malodorantes et du gaz ammoniacal se dégagent. Les aérosols azotés se déplacent sur de courtes distances selon la force du vent et fertilisent les parcelles proches du lieu d'épandage.

Le dégagement de molécules plus ou moins volatiles contenues dans la plupart des matières organiques entraîne des contraintes d'épandage. Les émanations d'odeurs désagréables sont surtout importantes en période sèche et chaude.

Pollution atmosphérique à grande échelle

Pollutions acides

Dans la couche basse de l'atmosphère (**figure 2**), la pollution acide est due aux polluants SO_2 (anhydride sulfureux), NO_x (oxydes d'azote), et aux vapeurs d'acides fluorhydrique et chlorhydrique (HF, HCl) émis par les activités humaines. SO_2 et NO_x se transforment en sulfates (SO_3) et en nitrates (NO_3) lorsque l'atmosphère est sèche, et en acide sulfurique (H_2SO_4) et en

acide nitrique (HNO_3) lorsque l'atmosphère est humide. Tous ces composés sont acides et retombent à proximité des sources émettrices ou beaucoup plus loin, selon les vents. À La Réunion, les nuages de gaz d'anhydride sulfureux émis lors des éruptions volcaniques brûlent parfois légèrement la végétation à moyenne altitude (les agrumes semblent sensibles).

Les retombées acides ont des effets sur les matériaux de construction, les écosystèmes forestiers, les cultures, les écosystèmes d'eau douce et à un moindre degré sur le milieu marin.

Formation d'ozone dans l'air ambiant

Des réactions photochimiques aboutissent à la formation d'ozone (O_3) dans la couche d'air proche du sol et dans la troposphère (**figure 2**). Ces réactions sont induites par le rayonnement solaire ultraviolet et par la présence de polluants primaires précurseurs, comme les oxydes d'azote et des composés organiques volatils non méthaniques (COVNM : aldéhydes, cétones, terpènes, etc., dont une partie est émise par les forêts). L'ozone ainsi formé est appelé « mauvais ozone » parce qu'il a des effets sur la santé humaine (irritant respiratoire) et sur les écosystèmes forestiers et agricoles. La pollution par l'ozone est également liée aux pluies acides.

Les émissions directes d'ozone dues aux activités humaines proviennent surtout de l'utilisation de carburants fossiles (stockage, distribution, mauvaise combustion) et de solvants.

Effet de serre

Une partie du rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre n'atteint pas l'espace mais est absorbée par des composés présents dans l'atmosphère (CO_2 , CH_4 , H_2O , O_3 , N_2O , CFC). Cette absorption aboutit à la production de chaleur qui réchauffe l'atmosphère : c'est l'effet de serre. C'est un phénomène naturel qui contribue au développement et au maintien de

la vie sur Terre. Cependant, depuis l'ère industrielle, la concentration de gaz à effet de serre augmente.

C'est le cas du protoxyde d'azote (N_2O), qui provient naturellement des océans et du sol. L'activité agricole produit aussi ce gaz par la transformation des produits azotés dans les sols agricoles (engrais, fumier, lisier, résidus de récolte). Plus les quantités d'azote apportées aux cultures dépassent leurs besoins, plus les pertes sous forme de gaz sont importantes.

La contribution de chaque gaz à l'effet de serre est spécifique. Dans l'atmosphère terrestre actuelle, c'est l'eau puis le gaz carbonique (CO_2) qui sont les grands contributeurs de l'effet de serre (64 % des apports de gaz à effet de serre). Le méthane (CH_4) provenant de l'élevage et de l'agriculture, représente 19 % des apports, N_2O , 6 %, et les CFC, 11 %. Le réchauffement ou le refroidissement climatique est directement lié à la quantité des gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère, en particulier CO_2 et dans une bien moindre mesure CH_4 , deux gaz appartenant au cycle du carbone.



Tas de fumier en attente d'épandage. © A. Nougadère

En savoir plus

Andosols : producteurs de gaz à effet de serre ?

Dans des andosols très humides et dans certaines conditions d'anaérobiose (sol détrempé, période très pluvieuse), des formes réduites d'azote et de carbone (NO_x et CH_4) sont synthétisées par voie microbienne et se volatilisent dans l'atmosphère. Ces gaz sont à effet de serre. A La Réunion, ce phénomène n'a pas été mesuré, bien qu'il pourrait exister dans les andosols perhydratés des hauts de l'île, dans lesquels de nombreux facteurs semblent favorables à la formation de NO_2 et CH_4 . Il faudrait effectuer des mesures pour savoir s'il est nécessaire de gérer les apports d'intrants dans ces sols.

Emissions de gaz à La Réunion et en métropole

En France, l'Institut français de l'environnement (IFEN, 2004) précise que les émissions de gaz à effet de serre en provenance du secteur agricole représentent 20 % des émissions totales. L'élevage, quant à lui, joue un rôle quasi exclusif pour les émissions de méthane.

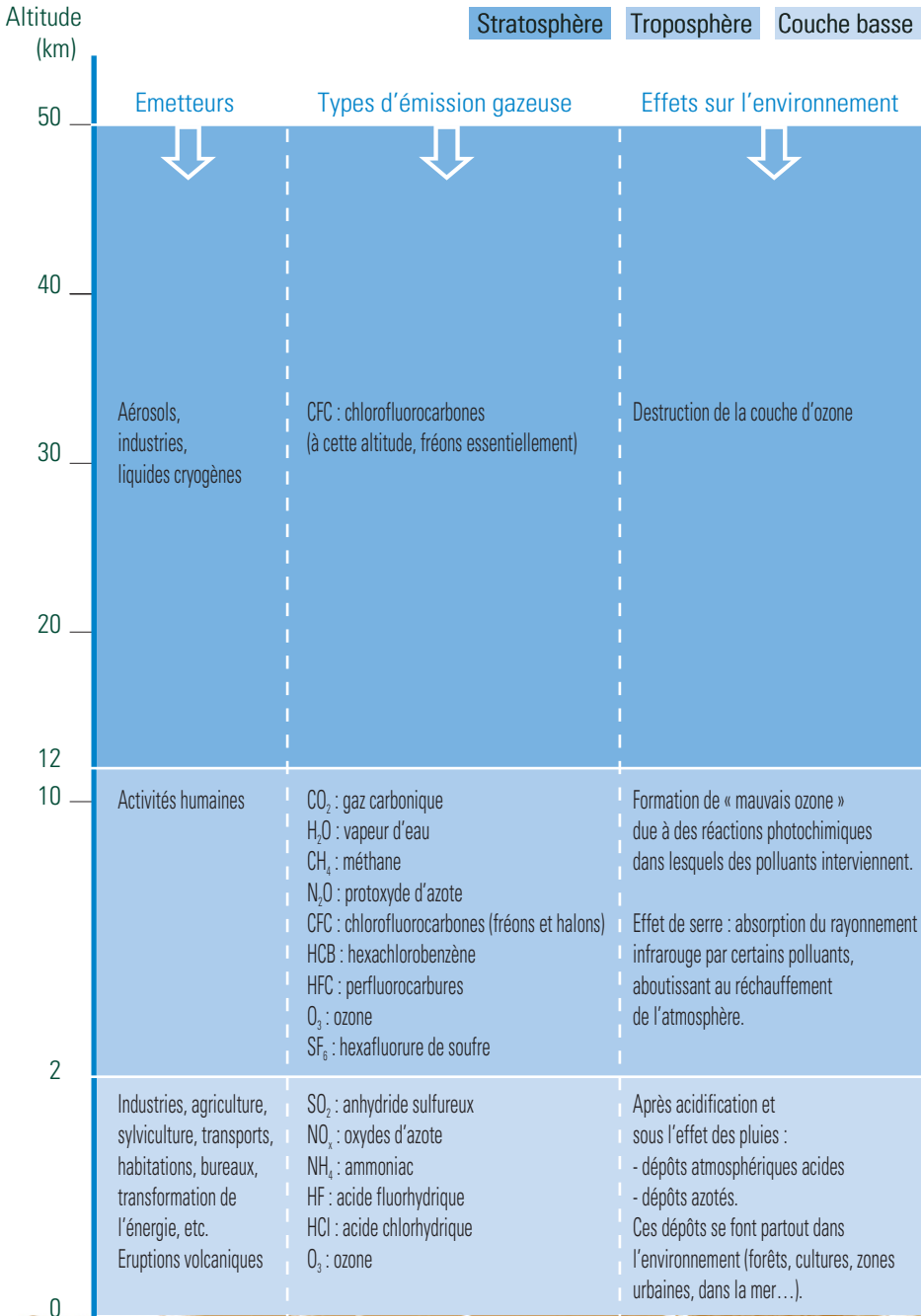
Le Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA) précise que, en 1998 à La Réunion, les émissions provenant du secteur agricole et sylvicole ont eu un impact sur l'acidification et la photochimie (96 % des émissions de NH_3 et 28 % des composés organiques volatiles non méthaniques COVNM) et sur l'effet de serre (21 % des émissions de CH_4 et 74 % de celles de N_2O).

Rapportées au nombre d'habitants, les émissions de gaz à effet de serre à La Réunion sont plus faibles qu'en métropole. D'après le CITEPA, cela s'explique par l'importante production d'électricité d'origine hydraulique, par l'absence d'industrie lourde, l'absence de chauffage dans les bâtiments, l'agriculture moins intensive, etc.



Figure 2.

Les émissions gazeuses et la pollution atmosphérique. La distance parcourue par ces émissions entre l'émetteur et le lieu de pollution peut aller de quelques centaines de mètres à plus de 1 000 kilomètres.



! Pratique

Agir sur l'effet de serre

(D'après INRA, 2003). L'agriculture est directement touchée par les changements climatiques ; elle contribue en même temps fortement à l'émission de gaz à effet de serre. Elle peut donc participer à la réduction de ces émissions par le stockage du carbone (biomasse et sol), par l'évolution des pratiques agricoles (réduction des travaux du sol consommateurs d'énergie, installation de couvertures végétales vivantes et mortes) et par la production et l'utilisation de produits agricoles substituables aux combustibles d'origine fossile (biocarburants...).

Limiter l'augmentation du CO₂ atmosphérique par le stockage du carbone par les forêts et les sols

Il est intéressant d'utiliser des engrais verts entre les cultures ou d'enfouir les résidus de culture qui apportent du carbone au sol. Grâce à l'enfouissement des matières organiques fraîches et des amendements organiques, le sol a la capacité de fixer durablement le carbone en assez grande quantité. L'objectif est alors d'améliorer le bilan de matière organique du sol par l'apport régulier de matières organiques.

Limiter les émissions de CH₄ et N₂O du secteur agricole par l'amélioration de la fertilisation et l'utilisation des matières organiques

Les doses d'azote doivent être adaptées aux besoins de la culture et apportées au bon moment. Le stockage et la transformation des matières organiques d'origine agricole peuvent être améliorés. Au stockage du lisier, par exemple, une aération séquentielle diminue les émissions de N₂O. Le compostage d'un fumier diminue la production de CH₄ et de N₂O avec certaines pratiques (comme la bonne aération des andains). On peut étendre la production de cultures énergétiques pour réduire le recours aux énergies fossiles. En région tropicale, c'est le cas de la canne à sucre qui peut produire de l'éthanol. A La Réunion, cette production pourrait être faite à partir des mélasses (mais la rentabilité industrielle est encore insuffisante face au prix du pétrole). Un autre exemple est le *Jatropha podagrica* (Euphorbiaceae), arbuste succulent peu exigeant et très robuste, qui produit de l'huile pouvant remplacer le gasoil. Ces cultures énergétiques peuvent être fertilisées par des effluents urbains, agro-industriels et agricoles.

Les gestes de l'agriculteur pour réduire les risques de pollution

- 1- L'agriculteur connaît les caractéristiques agronomiques des matières organiques à épandre, par rapport aux besoins des sols et des cultures et aux risques de pollution environnementale et sanitaire. Les analyses standard de matières organiques sont très utiles. C'est particulièrement important pour les lisiers et les matières issues du traitement de lisiers, pour lesquels l'accumulation d'azote, de phosphore et d'autres éléments (notamment cuivre et zinc) existe dans les parcelles destinées à leur épandage (effet à long terme).
 - des besoins en éléments nutritifs des cultures ;
 - du choix des parcelles ;
 - des périodes d'épandage.
- 2- L'agriculteur calcule les doses de matières organiques à apporter sur les cultures en fonction :
 - des caractéristiques agronomiques des sols ;
- 3- L'agriculteur applique le principe de qualité des usages, c'est-à-dire une organisation rigoureuse des activités de manipulation, de stockage (durée réglementaire de stockage des effluents d'élevage), de mise en circulation et d'épandage des produits organiques. Pour l'épandage, ce sont l'apport adapté des fertilisants, le choix des périodes d'épandage de fertilisants organiques, et le respect des restrictions d'épandage à proximité de lieux particuliers (➔ chapitres 8 - *Réglementation sur les épandages en agriculture*).



4- L'agriculteur applique une démarche de traçabilité pour toute matière organique épanchée sur une parcelle, qu'il s'agisse d'un déchet ou d'un produit issu de déchet : cahiers des charges précis, plans de fertilisation et de fumure, moyens d'accompagnement et de contrôle (tenue de cahiers des flux de matière organique et d'épandage).

5- L'agriculteur limite les facteurs de transfert de pollution (lessivage, ruissellement, érosion, compactage, pente...) en ayant une attention particulière aux parcelles à risque (parcelles en pente) et aux périodes d'apport.



Feu de canne. © CEDUS



Tas de fumier de bovin. © J.-M. Médoc



Dos D'Anes. © A. Nougadère



Plaine des Cafres. © V. van de Kerchove



Ce qu'il faut retenir du chapitre 6



✓ Les risques sanitaires

Les risques sanitaires sont les risques de contamination des populations humaines, des animaux et de l'environnement par des microorganismes pathogènes contenus dans les matières organiques brutes (c'est-à-dire non hygiénisées). Ces matières organiques brutes, d'origine humaine ou animale (boues d'épuration urbaines, lisiers, fumiers, fientes de volaille...) peuvent héberger des microorganismes pathogènes : parasites, bactéries, virus et champignons.

✓ Les risques de pollution de l'environnement

Les risques de pollution de l'environnement sont les risques de contamination par les nitrates, les phosphates, les éléments traces métalliques (ETM), les composés traces organiques (CTO) qui peuvent être contenus dans les matières organiques utilisées en agriculture. Ces risques apparaissent en cas de mauvaises pratiques de la fertilisation organique : surdosage, répartition irrégulière sur la parcelle, teneur élevée en polluants des matières épandues.

Ces pollutions peuvent être ponctuelles, comme les fuites d'effluents issus des bâtiments d'élevage, ou diffuses, provoquées par l'épandage, le ruissellement, le lessivage, ou par des dépôts atmosphériques (pluies acides chargées de soufre et d'azote).

✓ Réduire les risques

L'agriculteur qui fabrique ou qui utilise des matières organiques peut diminuer au maximum les risques sanitaires et les risques de pollution de l'environnement. Il doit connaître la composition des produits qu'il fabrique et qu'il emploie pour garantir les meilleures conditions d'utilisation sur le plan réglementaire et agronomique.



Broyeur.
© H. Cailleaux

Réglementation sur l'identification des matières organiques

Pour utiliser une matière organique à des fins agricoles, outre les critères agronomiques, il est nécessaire de connaître les critères réglementaires qui permettent de limiter les risques liés à l'utilisation de ces matières. La réglementation a pour objectif de caractériser les matières organiques et de fixer les règles de leur identification. Mais leur diversité, liée à leur origine agricole, agro-industrielle ou urbaine, fait que le contexte réglementaire est complexe.

Ces aspects réglementaires sont toujours en discussion au niveau européen et sont susceptibles d'évoluer dans les prochaines années.

Deux statuts : déchet et matière transformée	104
Utilisation des déchets	105
<i>Qu'est-ce qu'un déchet ?</i>	<i>105</i>
<i>Le cas particulier des déjections animales</i>	<i>105</i>
<i>Les boues de station d'épuration</i>	<i>106</i>
Valorisation de déchets en matières fertilisantes ou en supports de culture	107
<i>Matières fertilisantes (MF)</i>	<i>107</i>
<i>Supports de culture (SC)</i>	<i>108</i>
Normalisation, homologation, autorisation provisoire de vente APV ou d'importation API	109
<i>Normalisation</i>	<i>109</i>
<i>Homologation</i>	<i>109</i>
<i>APV et API</i>	<i>109</i>
Ce qu'il faut retenir du chapitre 7	110

Deux statuts : déchet et matière transformée

Du point de vue de la réglementation, une matière organique utilisable en agriculture a l'un des deux statuts suivants :

- soit un statut de déchet si la matière est brute, c'est-à-dire qu'elle ne subit pas de traitement particulier ;
- soit un statut de matière transformée en matière fertilisante ou en support de culture, si le déchet a subi une transformation améliorante.

Si les matières organiques sont brutes, la réglementation sur l'épandage relève du Ministère de l'écologie et du développement durable selon plusieurs dispositifs (cadre ICPE, RSD...). C'est seulement lorsqu'un déchet organique ne présente pas de danger pour un sol et une culture qu'il peut être valorisé directement en agriculture : c'est notamment le cas des sous-produits d'une exploitation agricole. Dans ce cadre de gestion, la responsabilité du producteur

de déchet organique est engagée jusqu'à l'épandage et aussi pour les atteintes éventuelles à la qualité du sol récepteur et à l'environnement.

Si les déchets ont subi une transformation, ils peuvent être valorisés en matière fertilisante ou en support de culture, selon le cas. Les normes NFU définissent et caractérisent les produits transformés pour en faciliter la distinction et le choix (par arrêté interministériel). L'utilisation des normes impose au producteur de suivre un cahier des charges pour leur traitement et leur mise sur le marché. Des contrôles assurent que la matière organique répond bien aux normes. Mais le produit peut aussi être simplement homologué par une commission d'homologation des matières fertilisantes (CMFSC). Le producteur de produits ainsi transformés en est responsable seulement jusqu'à leur mise sur le marché.



Tas de compost. © H. Cailleaux



Tas de compost de déchets verts. © H. Cailleaux



Utilisation des déchets

Qu'est-ce qu'un déchet ?

Selon la loi du 15 juillet 1975, est considéré comme constituant un déchet « *tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau ou produit, ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon* ».

Le producteur du déchet reste responsable des conditions d'utilisation finale jusque dans sa destination, y compris les modalités et les lieux d'épandage.

Sur la base de la définition donnée par la loi du 15 juillet 1975, le décret n° 2002-540 du 18 avril 2002 précise la classification de ces déchets. Vingt catégories ont été créées en fonction de l'origine de ces déchets, parmi lesquelles :

– la catégorie 02. Déchets provenant de l'agriculture, de l'horticulture, de l'aquaculture, de la

sylviculture, de la chasse et de la pêche ainsi que de la préparation et de la transformation des aliments. Cette catégorie regroupe donc des déchets de types lisier et fumier (020106), vinasse (020499), etc. ;

– la catégorie 19. Déchets provenant des installations de gestion des déchets, des stations d'épuration des eaux usées hors site et de la préparation d'eau destinée à la consommation humaine et de l'eau à usage industriel. Dans cette catégorie, on trouve les boues de station d'épuration (STEP, 190805) ;

– la catégorie 20 : déchets municipaux (déchets ménagers et déchets assimilés provenant des commerces, des industries et des administrations) y compris les fractions collectées séparément. La fraction biodégradable de ces déchets (200108) peut être compostée.



Pratique

Qu'est ce qu'un déchet organique ?

Un déchet organique est un résidu ou un sous-produit organique engendré par l'agriculture, les industries agro-alimentaires ou les collectivités, composé de matière organique non synthétique et caractérisée par la présence d'atomes de carbone issus d'organismes vivants, végétaux ou animaux.

Quelques exemples de déchets organiques :

- issus de collectivités : déchets verts, boues et graisses de station d'épuration, déchets alimentaires... ;
- issus des industries agro-alimentaires : boues et vinasses agro-alimentaires, déchets de transformation des industries végétales, animales et du bois, résidus organiques des industries de la pêche et de l'aquaculture... ;
- issus de l'agriculture : déjections animales excédentaires, invendus de fruits et légumes...

Le cas particulier des déjections animales

Lorsque les déjections animales font partie intégrante du fonctionnement de l'exploitation agricole (rejets directs lors de la mise au pâturage des animaux, épandage en fonction des cultures produites sur l'exploitation), il s'agit de sous-produits qui ne constituent pas des déchets.

Mais elles deviennent des déchets quand elles sont mal gérées ou lorsqu'il en existe des excédents. Le détenteur cherche alors à les évacuer de l'exploitation ou à les transformer pour qu'elles puissent être valorisées par un tiers.

Les boues de station d'épuration

Les boues de station d'épuration sont largement valorisées en agriculture sur le plan national. Elles sont classées suivant leur état physique. Elles doivent cependant répondre à certains critères. Un arrêté du 8 janvier 1998 définit les

valeurs limites de concentration en éléments traces métalliques (ETM). Huit éléments doivent être dosés : cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc, sélénium (**tableau 1**).

Tableau 1.

Valeurs limites de concentration en ETM dans les boues et flux cumulé maximum apporté par les boues en 10 ans (arrêté du 8 janvier 1998).

Élément	Valeur limite dans les boues (mg par kilo de matière sèche)	Flux maximum cumulé apporté par les boues en 10 ans (g/m ²)	Flux maximum cumulé apporté par les boues en 10 ans (g/m ²) pour les sols à pH < 6 ou pour les pâturages
Cd (cadmium)	10*	0,015	0,015
Cr (chrome)	1 000	1,5	1,2
Cu (cuivre)	1 000	1,5	1,2
Hg (mercure)	10	0,015	0,012
Ni (nickel)	200	0,3	0,3
Pb (plomb)	800	1,5	0,9
Zn (zinc)	3 000	4,5	3
Se (sélénium)	Pas de limite réglementaire	Pas de limite réglementaire	0,12 pâturage uniquement
Cr + Cu + Ni + Zn	4 000	6	4

* : c'était 15 mg/kg avant le 01 avril 2004.



Différentes formes de boues sortant de la station de Saint-Pierre. © V. van de Kerchove



Valorisation de déchets en matières fertilisantes ou en supports de culture

Quand ils sont transformés, les déchets organiques peuvent alors changer de statut et devenir des matières fertilisantes ou des supports de culture. Il faut cependant qu'ils répondent à plusieurs critères qui font l'objet de contrôles et de normes.

Le cadre réglementaire pour ces transformations de déchets en produits valorisables en agriculture est donné par la loi n° 79-595 du 13 juillet 1979 (suivi du décret n° 80-477 du 10 juin 1980) du Ministère de l'agriculture et de la pêche / Direction générale de l'alimentation (DGAL).

Ce texte définit quatre conditions pour les produits transformés :

- 1- Les produits mis sur le marché doivent être efficaces pour l'usage prévu.
- 2- Les produits doivent être inoffensifs pour l'homme, les animaux et l'environnement.
- 3- Les produits doivent être stables (constance dans leur composition par rapport aux teneurs annoncées).
- 4- Les produits doivent faire référence à un document technique officiel.



En savoir plus

Les bureaux de normalisation

Les normes sont élaborées et mises à jour par deux bureaux de normalisation gérés par les professionnels des secteurs concernés, sous l'égide de l'Association française de normalisation (AFNOR) :

- le BNAME, bureau de normalisation pour les amendements minéraux et engrais. Référence NFU 42-001 pour les engrais. Référence NFU 44-001 pour les amendements minéraux basiques ;
- le BNSCAO, bureau de normalisation pour les supports de culture et les amendements organiques, remplacé depuis janvier 2003 par la Commission U44A de l'AFNOR. Référence NFU 44-051 pour les amendements organiques. Référence NFU 44-071 pour les amendements organiques avec engrais. Référence NFU 44-551 pour les supports de culture.

Matières fertilisantes (MF)

« Les matières fertilisantes comprennent les engrais, les amendements et, d'une manière générale, tous les produits dont l'emploi est destiné à assurer ou améliorer la nutrition des végétaux ainsi que les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols » (Loi n° 79-595 du 13 juillet 1979, codifiée aux articles L 255-1 à L 255-11 du Code rural).

Dans les matières fertilisantes, on distingue trois types de catégorie de matière organique : les amendements organiques, les engrais organiques, les engrais organo-minéraux (→ voir [tableau 3](#)

du chapitre 5 - *Les matières organiques produites à La Réunion*).

Les amendements organiques

Les amendements organiques (AO) sont régis par la norme NFU 44-051. La norme NFU a été révisée en 2005. Son nouveau champ d'action inclut les fumiers, les déjections animales sans litière séchées et certains composts issus de traitement des déchets ménagers et alimentaires. Des valeurs limites de teneurs en

alimentaires. Des valeurs limites de teneurs en métaux lourds, notamment en cuivre et zinc, en agents pathogènes, en composés traces organiques (CTO) et en impuretés sont spécifiées. « *Matières fertilisantes composées principalement de combinaisons carbonées d'origine végétale, fermentées ou fermentescibles, destinées à l'entretien ou à la reconstitution du stock de matière organique (MO) du sol.* »

Les teneurs en N, P₂O₅ et K₂O ne doivent pas dépasser chacune 3 % de la matière brute et leur somme doit être inférieure à 7 % de la matière brute. De plus, la teneur en matière organique (% MO) doit être supérieure à 20 % de la matière brute et la matière sèche supérieure à 30 % de la matière brute.

Les engrais organiques

Les engrais organiques (EO) sont régis par la norme NFU 42-001. « *Matières fertilisantes dont*

Supports de culture (SC)

Si les matières organiques traitées sont pauvres en éléments minéraux et qu'elles ont riches en matières inertes difficilement dégradables, elles sont considérées comme des supports de culture pouvant être utilisés dans des pots ou des serres. Elles sont régies par la norme NFU 44-551. « *Les supports de culture sont des produits destinés à servir de milieu de culture à certains végétaux. Leur mise en œuvre aboutit à la formation de milieux possédant une porosité telle qu'ils sont capables à la fois d'ancrer les organes absorbants des plantes et de leur permettre d'être en contact avec les solutions nécessaires à la croissance.* » Leurs teneurs en N, P₂O₅ et K₂O ne doivent pas dépasser chacune 2 % de la matière brute.

« *Ils se différencient des amendements organiques par une teneur plus élevée en matières inertes. Mais ils contiennent aussi des matières d'origine végétale, fermentées ou susceptibles de fermenter, fréquemment dénommées humigènes.* »

La norme définit six dénominations en fonction du

la fonction principale est d'apporter aux plantes des éléments directement utiles à la nutrition (éléments fertilisants majeurs, éléments fertilisants secondaires, oligo-éléments). » Selon la législation, tout produit dont une des teneurs en N, P₂O₅ ou K₂O dépasse 3 % de la matière brute doit être considéré comme engrais.

Les engrais organo-minéraux

Les engrais organo-minéraux sont régis également par la norme NFU 42-001. Les teneurs en N, P₂O₅ et K₂O peuvent être chacune supérieure à 3 % de la matière brute et leur somme doit être supérieure à 7 % de la matière brute, avec au minimum 1 % de N organique. Les engrais organo-minéraux ne peuvent pas contenir des formes d'urée retard (urée formaldéhyde, crotonylidène diurée, isobutylidène diurée).

pH, de la teneur en matière organique et du rapport entre teneur en matière organique et teneur en azote (MO/N). Il s'agit de terreau, de terre de bruyère, de tourbière, de tourbe et de substrat végétal non fermenté (paille fraîche, sphagnum, racines, écorces). Cependant, certains supports de culture n'apportent pas de matière organique : laine de verre, laine de roche, vermiculite...



En savoir plus

Autres normes NFU concernant des matières organiques

La norme NFU 44-071 concerne les amendements organiques avec engrais. Cette norme devrait être prochainement supprimée pour être intégrée dans la norme NFU 44-051. La norme NFU 44-095 de mai 2002 concerne la mise sur le marché des composts avec boues de station : « *composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux (MIATE).* » Le texte précise le mode d'obtention des composts, dénomme et spécifie les amendements organiques finaux.



Normalisation, homologation, autorisation provisoire de vente APV ou d'importation API

Dans tous les cas décrits ci-après, la responsabilité du producteur de matière transformée s'arrête au moment de la mise sur le marché du produit. Le producteur n'est pas responsable des usages qui en sont faits.

Normalisation

La normalisation est le cas le plus fréquent. C'est une démarche volontaire des professionnels d'une filière qui envisagent de mettre un produit sur le marché. C'est dans l'intérêt de certains producteurs de transformer ainsi un déchet en produit pour écouler une production importante de matière organique (par exemple les compostages industriels de lisier à La Réunion, les déchets verts compostés).

Un produit répondant à une norme est conforme à des textes NFU qui décrivent de façon très précise les noms (dénominations) qui doivent être employés à l'exclusion de tout autre, les composants autorisés, les contraintes concernant la composition des produits (spécifications), le marquage à apposer, les contrôles à effectuer.

Homologation

Un produit ne peut être homologué par une commission spéciale (CMFCS) que s'il a fait l'objet d'un examen destiné à vérifier son efficacité et son innocuité à l'égard de l'homme, des animaux et de son environnement, dans les

conditions d'emploi prescrites et normales (arrêté du 21 décembre 1998 paru au *Journal Officiel* du 12 février 1999). Ce classement est attribué pour une durée de 10 ans.

APV et API

Un produit bénéficiant d'une autorisation provisoire de vente APV ou d'une autorisation provisoire d'importation API est un produit ne correspondant pas strictement aux règles générales mais dont l'innocuité est prouvée

dans les conditions d'emploi prescrites. L'efficacité doit être confirmée par d'autres essais. Ces classements sont attribués pour une durée de 4 ans.



Ce qu'il faut retenir du chapitre 7



- ✓ **La réglementation distingue deux grands statuts** pour les matières organiques utilisables en agriculture :
 - le statut de déchet si la matière est brute, c'est-à-dire qu'elle ne subit pas de traitement particulier ;
 - le statut de matière transformée en matière fertilisante ou en support de culture, si le déchet a subi une transformation améliorante.

- ✓ **Si les matières organiques sont brutes**, la réglementation sur l'épandage relève du Ministère de l'écologie et du développement durable selon plusieurs dispositifs (cadre ICPE, RSD...). C'est seulement lorsqu'un déchet organique ne présente pas de danger pour un sol et une culture qu'il peut être valorisé directement en agriculture : c'est notamment le cas des sous-produits d'une exploitation agricole.

- ✓ **Si les déchets ont subi une transformation**, ils peuvent être valorisés en matière fertilisante ou en support de culture. Les normes NFU définissent les produits transformés pour en faciliter la distinction et le choix (par arrêté interministériel). L'utilisation des normes impose au producteur de suivre un cahier des charges pour leur traitement et leur mise sur le marché.

- ✓ **Les matières fertilisantes** sont les amendements organiques (AO) régis par la norme NFU 44-051, les engrais organiques (EO) et les engrais organo-minéraux régis par la norme NFU 42-001.

- ✓ **Les supports de culture** (SC) sont régis par la norme NFU 44-551.

Réglementation sur les épandages en agriculture

L'agriculteur qui utilise une matière organique au champ est responsable des conditions de son utilisation au champ et il doit respecter les textes réglementaires.

Lorsque l'agriculteur applique une matière organique ayant le statut de déchet, c'est le producteur de ce déchet qui reste théoriquement responsable des conditions d'utilisation, y compris des conditions d'épandage, qui doivent répondre alors à des plans d'épandage autorisés ou déclarés.

Lorsque l'agriculteur applique une matière organique qui a le statut de produit, là aussi, il obéit à des réglementations. Le producteur de ce produit en est alors responsable seulement jusqu'à sa mise sur le marché. L'agriculteur, lui, est responsable des conditions de son utilisation.

Épandage
près des maisons.
© J.-M. Médoc

Grands principes	112
Réglementation des élevages et plans d'épandage	114
Distances minimales à respecter pour les épandages	116
Apports azotés maximaux autorisés	118
Stockage de matières organiques sur la parcelle	118
Contraintes pour l'épandage sur les sols en pente	119
Réglementation sur les ETM pour les sols aptes à recevoir un épandage de boue	120
Contraintes liées aux périodes d'épandage	120
Réglementation pour la fertilisation en agriculture biologique	122
Principaux textes législatifs cités dans les chapitres 7 et 8	122
Ce qu'il faut retenir du chapitre 8	124

Grands principes

Selon les deux grands statuts de matières détaillées dans le chapitre 7 (*Réglementation sur l'identification des matières organiques*), les règles qui s'appliquent sont schématisées dans la **figure 1** :

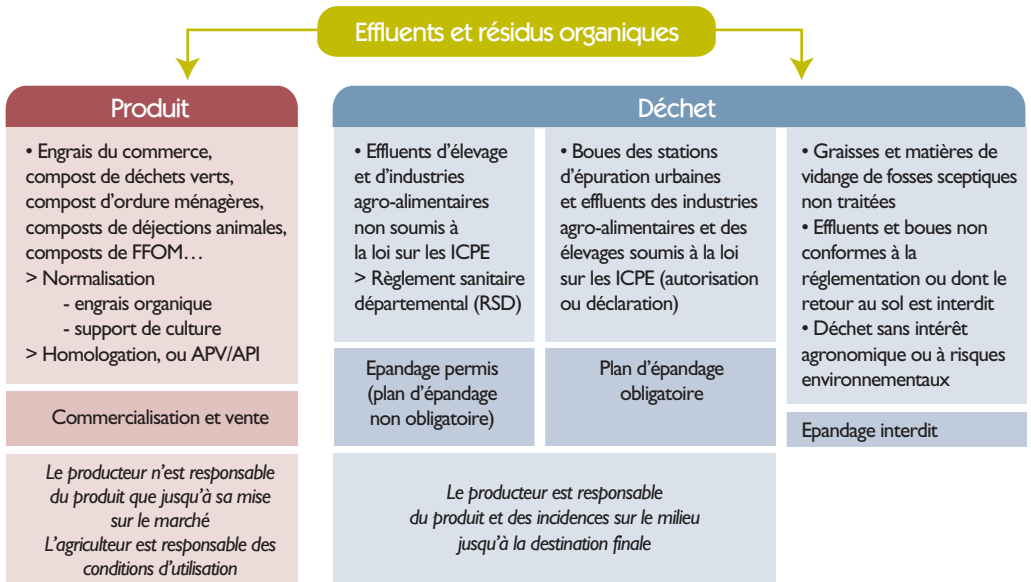
– lorsqu'il y a conservation du statut de déchet, c'est l'application des réglementations sur

l'épandage contrôlé ;

– lorsqu'il y a eu transformation du déchet en matière fertilisante, c'est l'application des réglementations sur la Production de matière fertilisante dérivée de déchet dont l'épandage n'est pas contrôlé.

Figure 1.

Procédures de retour au sol des matières organiques (d'après D. Plumail et S. Ducotet, 2001. Recyclage agronomique des matières organiques. Biomasse Normandie, Environnement et Technique n° 205, avril 2001, ADEME Bretagne-Normandie).



ICPE : Réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement
 APV, API : Autorisation provisoire de vente, autorisation provisoire d'importation

Premier cas : valorisation des déchets

La réglementation sur l'épandage des matières organiques conservant le statut de déchets relève du Ministère de l'écologie et du développement durable selon plusieurs dispositifs :

– déjections animales des gros élevages et déchets issus des ICPE (Installations classées pour la protection de l'environnement) : cadre législatif ICPE géré par la DPPR (Direction de

la prévention des pollutions et des risques) instruit localement par la DSV (Direction des services vétérinaires) ;

– déchets issus des installations non ICPE (petits élevages et boues de station d'épuration) : cadre législatif relevant des lois sur l'eau de 1964 et 1992 géré par la Direction de l'eau et instruit localement par la DRASS (Direction



régionale des affaires sanitaires et sociales) selon les prescriptions du Règlement sanitaire départemental (RSD).

Au delà des dispositifs visant aux responsabilités des uns et des autres et des seuils limitant l'accès à l'épandage, ces réglementations comprennent un volet technique à respecter pour la mise en œuvre des épandages : études préalables sur les surfaces d'épandage, quantités d'azote produites, suivis agronomiques, dimensionnement des équipements...

Dans le cadre de gestion de matières organiques ayant conservé le statut de déchet, la responsabilité du producteur de déchet organique est engagée jusqu'à l'épandage et aussi sur les atteintes éventuelles à la qualité du sol récepteur et à l'environnement.

La seule référence législative qui tienne compte pour l'instant de la qualité des sols dans le cadre du recyclage des déchets est le décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997, complété par l'arrêté du 8 janvier 1998. Ce dernier fixe

les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues de station d'épuration (STEP) sur les sols agricoles. La seule propriété physico-chimique des sols retenue est le pH du sol puisqu'il est prévu que « *les boues ne doivent pas être épandues sur des sols dont le pH avant épandage est inférieur à 6* » (sauf dans le cas de boues chaulées, pour lesquelles la limite est de 5). Les boues ne peuvent pas être épandues si les teneurs en éléments traces métalliques (ETM) dans les sols dépassent l'une des valeurs limites (se reporter au **tableau 5**). Il faut donc connaître les teneurs du sol, ce qui nécessite des analyses de sol coûteuses réalisées par un laboratoire habilité.

Pour les produits ne relevant pas de la réglementation sur les installations classées ICPE, ce sont les prescriptions du Règlement sanitaire départemental (RDS) qui s'appliquent. Elles fixent les conditions de stockage et d'épandage, notamment les distances minimales à respecter vis-à-vis des habitations, des cours d'eau, des points de prélèvement d'eau, etc.

Second cas : valorisation des produits transformés en matières fertilisantes ou en supports de culture

Pour les produits normalisés et homologués, il y a un suivi et un autocontrôle par le producteur tout au long du procédé de fabrication selon un cahier des charges donné par la norme. Après le contrôle par la commission du bureau de normalisation (BNAME ou BNSCAO) et la

commercialisation du produit, le producteur du produit n'est plus responsable de son utilisation au champ. Les doses d'utilisation relèvent de la recommandation et non plus du contrôle, comme pour les engrais minéraux.



Pratique

L'intérêt de la traçabilité

Face aux problèmes environnementaux liés aux épandages d'engrais minéraux, de matières organiques et de produits phytosanitaires, il est nécessaire de s'interroger sur le manque de suivi des fertilisations et des apports organiques, lorsqu'il n'y a pas de plan d'épandage.

Les plans de fertilisation et de fumure, étendus à tous les fertilisants et amendements utilisés, devraient être mis en œuvre pour conserver la traçabilité. Cela permettrait de suivre les effets bénéfiques ou négatifs de ces apports pour les sols et pour l'environnement, et de réagir en conséquence.

Réglementation des élevages et plans d'épandage

Le dispositif réglementaire relatif à la gestion des effluents dans les exploitations d'élevage varie selon le régime dont relève l'élevage (ou l'atelier). La loi prévoit deux régimes qui déterminent le niveau de risque de l'élevage sur la simple base d'effectifs d'animaux présents simultanément dans l'atelier (**tableau 1**) : le Règlement sanitaire départemental (RSD) et les Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Les régimes RSD et ICPE sont indépendants, mais les prescriptions du RSD en matière d'élevage ont vocation à converger à terme vers celles des ICPE. Quels

que soient le régime auquel est soumis l'élevage et sa taille, l'exploitant agricole est responsable des déchets qu'il produit et des incidences qu'ils peuvent engendrer sur le milieu jusqu'à leur destination finale.



Pratique

Elevages familiaux : peu ou pas concernés

Les élevages familiaux de petite dimension ne sont pas soumis à déclaration en mairie. Mais ils restent soumis aux prescriptions du RSD.

Tableau 1.

Régime administratif des principaux élevages (basé sur le nombre d'animaux en animal-équivalent = AE), arrêté du 07 février 2005.

Effectifs des élevages (nombre d'animaux en AE)			Régime administratif	Service de l'Etat concerné
Porcs	Bovins	Volailles		
≤ 6	≤ 6	≤ 100	RSD sans déclaration	DRASS (Direction régionale des affaires sanitaires et sociales)
6 < effectif ≤ 50	6 < effectif ≤ 50	100 < effectif ≤ 5 000	RSD déclaration en mairie	DRASS
50 < effectif ≤ 450	50 < effectif ≤ 100	5 000 < effectif ≤ 30 000	ICPE déclaration en préfecture	DSV (Direction des services vétérinaires)
> 450	> 100	> 30 000	ICPE autorisation	DSV



1. Le Règlement sanitaire départemental (RSD).

Conformément au Code de la santé publique, le RSD prévoit des prescriptions techniques en matière d'hygiène et de salubrité. Les élevages caprins, ovins et équinés et les petits élevages porcins, volailles, bovins, lapins relèvent du RSD. L'application de la réglementation est faite par la police de la mairie. Le titre VIII de l'arrêté n° 798 DASS/SAN.I du 28 mars 1985 (mise à jour 1992) précise les règles pour les élevages relevant du RSD, notamment :

- l'évacuation et le stockage des fumiers et autres déjections solides, des purins, lisiers, jus d'ensilage et eaux de lavage des logements animaux et de leurs annexes ;
- le dépôt de matières fermentescibles destinées à la fertilisation des sols ;
- l'épandage ;
- l'utilisation des matières fertilisantes, supports de cultures et produits antiparasitaires.

2. Les Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Les ICPE ont des

prescriptions qui visent à éviter toute pollution des eaux superficielles, des nappes phréatiques et toutes les nuisances occasionnées par l'élevage. Les élevages classés ICPE et soumis à autorisation d'exploiter sont peu nombreux (ce sont de gros élevages), c'est-à-dire environ 60 élevages à La Réunion.



Cuve de lisier débordant (Salazie).
© J.-M. Médac



Pratique

Plans d'épandage des lisiers issus d'élevages RSD

Existence du plan d'épandage. La majorité des élevages récents disposent d'un plan d'épandage qui est demandé par le RSD, en appui au permis de construire ou d'agrandir. Lorsqu'un plan d'épandage est établi, basé sur les quantités d'azote épandues par unité de surface, qu'il indique précisément les parcelles retenues pour recevoir les effluents, et qu'il a reçu l'approbation de l'autorité sanitaire, les dispositions prévues et définies en fonction des caractéristiques locales (qualités et quantités d'effluents, modalités et périodicité de l'épandage, délai de remise à l'herbe des animaux) sont seules applicables. L'approbation du Directeur régional des affaires sanitaires et sociales sera considérée comme acquise, dès lors qu'aucune observation n'aura été adressée au pétitionnaire dans un délai d'un mois après réception du dossier.

Absence de plan d'épandage. Seuls quelques élevages anciens relèvent encore du RSD sans plan d'épandage. Les dispositions suivantes sont applicables :

- l'épandage est interdit dans deux cas : (1) sur les terrains affectés (ou qui seront affectés dans un délai de 1 an) à des cultures maraîchères - (2) à moins de 200 m des cours d'eau si la pente du terrain est supérieure à 7 % ;
- sur les pâturages, les lisiers épandus devront avoir subi soit un stockage répondant aux prescriptions de l'article 156 d'une durée minimale de 30 jours en saison chaude et de 60 jours en saison froide, soit un traitement approprié (digestion anaérobie, traitement par aération d'une durée minimale de 3 semaines). La remise à l'herbe des animaux se fera au plus tôt 30 jours après l'épandage ;
- l'épandage par aéro-aspersion est interdit en l'absence de plan d'épandage approuvé par l'autorité sanitaire. Seul l'emploi d'aspersion basse (tonne à lisier) est autorisé, sous réserve que le pétitionnaire s'engage par écrit à ne pas mettre en œuvre cette pratique lorsque les conditions atmosphériques (vent) provoquent l'entraînement des aérosols.

Distances minimales à respecter pour les épandages

Contraintes par rapport aux habitations, zones de loisirs, établissements recevant du public

Il s'agit d'éviter des nuisances d'odeur envers des tiers. Les distances sont fixées en fonction de la mise en œuvre ou non d'un traitement atténuant les odeur et de la durée des stockages avant épandage (**tableau 2**).

Tableau 2. Délais d'enfouissement après épandage des produits et distances minimales des habitations à respecter.

Modalités d'épandage	Délai maximal d'enfouissement après l'épandage (heures)	Distance minimale des habitations, zones de loisirs, établissements recevant du public (m)
Dispositif d'injection directe dans le sol	immédiat	15
Réalisation d'un traitement anti-odeurs	24	50
Fumiers après stockage minimal de 4 mois	24	50
Composts	Enfouissement non imposé	10
Fumiers de volailles, fientes sèches, lisiers et purins épandus avec des pendillards, autres effluents	12	50
Autres cas	24	100

Distances à respecter pour les épandages d'effluents issus d'élevages ICPE

Les distances d'épandage par rapport aux habitations de tiers sont les plus restrictives en installations classées ICPE (arrêté du 7 février 2005).

Nous présentons, ci-après, les principales prescriptions techniques d'épandage applicables aux élevages soumis à déclaration ou autorisation. Ces dernières sont issues des arrêtés types existants (déclaration) et des arrêtés ministériels en vigueur (autorisation). Concernant les installations soumises à autorisation, il s'agit de

prescriptions minimales à respecter, étant entendu que les règles sont précisées, au cas par cas, par l'arrêté d'autorisation.

Les distances minimales entre parcelles d'épandage des effluents et tout aménagement accueillant des tiers, fournissant de l'eau ou des produits de consommation aquatiques, sont données dans le **tableau 3** et schématisées dans la **figure 2** page 119.



Tableau 3.

Distances d'épandage (en mètre) des effluents d'élevages ICPE sur prairies et terres en culture par rapport aux aménagements accueillant des tiers, aux aménagements fournissant de l'eau, aux berges et aux aménagements produisant des produits de consommation aquatiques.

Aménagement	Fumiers	Fientes à plus de 65 % de matière sèche	Effluents, déjections solides [5]	Lisiers et purins
Habitations de tiers et (ou) local habituellement occupé par des tiers	≥ 100 m [6] ≥ 50 m [7] ≥ 10 m [9]	≥ 50 m [7]	100 m [1] ≥ 100 m [6] 50 m [2] ≥ 50 m [7] 10 m [4]	100 m [1] ≥ 100 m [6] 50 m [2] ≥ 50 m [7] 10 m [4] ≥ 10 m et ≤ 100 m [8] [10] ≥ 10 m [11]
Stades, terrains de camping agréés à l'exception des terrains de camping à la ferme	≥ 100 m [6] ≥ 50 m [7] ≥ 10 m [9]	≥ 50 m [7]	100 m [1] ≥ 100 m [6] 50 m [2] ≥ 50 m [7] 10 m [4]	100 m [1] ≥ 100 m [6] 50 m [2] ≥ 50 m [7] 10 m [4] ≥ 10 m et ≤ 100 m [8] [10] ≥ 10 m [11]
Points de prélèvement d'eau destinée à la consommation	≥ 50 m	≥ 50 m	≥ 50 m	≥ 50 m
Lieux de baignade et plages	≥ 200 m	≥ 200 m	≥ 200 m	≥ 200 m
Piscicultures et zones conchylicoles	≥ 500 m	≥ 500 m	≥ 500 m	≥ 500 m
Berges des cours d'eau	≥ 35 m	≥ 35 m	≥ 35 m	≥ 35 m

[1] Absence de traitement ou de procédé atténuant les odeurs.

[2] Traitement ou procédé atténuant les odeurs.

[3] Fumiers et fientes stabilisés par un procédé reconnu par le préfet. Fumiers ayant subi un compostage (appliqué uniquement pour l'épandage sur terres nues).

[4] Utilisation d'un dispositif permettant l'injection directe dans le sol.

[5] Elevages de volailles.

[6] Elevages soumis à autorisation, de vaches laitières et (ou) mixtes, de veaux de boucherie et (ou) de bovins à l'engraissement, de volailles et (ou) de gibiers à plume, de porcs.

[7] Elevages soumis à autorisation, de vaches laitières et (ou) mixtes, de veaux de boucherie et (ou) de bovins à l'engraissement, de volailles et (ou) de gibiers à plume, de porcs : réalisation d'un traitement ou mise en œuvre d'un procédé atténuant les odeurs (par exemple, fumiers après stockage minimal de 2 mois dans l'installation et fientes à plus de 65 % de matière sèche).

[8] Elevages soumis à autorisation, de volailles ou de gibiers à plume, de porcs, dans les zones d'excédent structurel définies dans l'arrêté du 02 novembre 1993 et sur autorisation préfectorale lorsque la justification de l'utilisation d'un dispositif permettant l'injection directe dans le sol est apportée par l'exploitant.

[9] Elevages soumis à autorisation, de vaches laitières et (ou) mixtes, de veaux de boucherie et (ou) de bovins à l'engraissement : compostage ou utilisation d'un dispositif permettant l'injection directe dans le sol des lisiers et purins.

[10] Elevages soumis à autorisation, de vaches laitières et (ou) mixtes, de veaux de boucherie et (ou) de bovins à l'engraissement : utilisation d'un dispositif permettant l'injection directe dans le sol.

[11] Elevages soumis à autorisation, de vaches laitières et (ou) mixtes, de veaux de boucherie et (ou) de bovins à l'engraissement : compostage.

Apports azotés maximaux autorisés

Pour l'épandage et la fertilisation avec des engrais de ferme, l'article 18 de l'arrêté ICPE du 07 février 2005 stipule : « Les effluents d'élevage de l'exploitation (déclarée ou autorisée) peuvent être soumis à une épuration naturelle par le sol et son couvert végétal. » Ainsi, « les apports azotés, toutes origines confondues (effluents d'élevage, effluents d'origine agro-alimentaire, engrais chimique ou autres apports azotés d'origine organique ou minérale), sur les terres faisant l'objet d'un épandage, tiennent compte de la nature particulière des terrains

et de la rotation des cultures. La fertilisation doit être équilibrée et correspondre aux capacités exportatrices réelles de la culture ou de la prairie concernée. »

Dans le cas des zones vulnérables, les épandages d'azote sont limités. Un code des bonnes pratiques agricoles (CBPA) préconise les doses à utiliser dont les maxima tolérés sont de 170 kg/ha/an. Mais ce cas ne s'est pas encore présenté à La Réunion.

Stockage de matières organiques sur la parcelle

Le RSD définit des stockages de matières fermentescibles destinées à la fertilisation des sols (à l'exception des composts conformes aux normes) pour éviter des nuisances et des pollutions :

- si le volume est inférieur ou égal à 5 m³, aucune prescription ;
- si le volume est supérieur à 5 m³ et inférieur ou égal à 50 m³, aucune procédure spécifique mais il faut respecter les prescriptions du RSD ;
- si le volume est supérieur à 50 et inférieur ou égal à 2 000 m³, il faut une déclaration en mairie et respecter les prescriptions du RSD ;
- si le volume est supérieur à 2 000 m³, il faut une autorisation préfectorale et respecter les prescriptions du RSD.

Le RSD donne les distances à respecter par rapport aux habitations (200 m pour les effluents d'élevage), aux voies de communication (5 m) et aux sources d'eau, rivières et zones aquicoles (35 m). Les matières stockées doivent être

exploitées dans un délai maximal d'un an.

Les fumiers pailleux issus d'élevages ICPE peuvent être directement stockés sur la parcelle d'épandage au terme d'une période d'accumulation de 2 mois dans le bâtiment d'élevage (circulaire du Ministère de l'environnement du 24 mai 1996). Le lieu de stockage sur la parcelle doit être changé tous les ans. Des exigences sur la qualité du produit sont demandées. Si la fréquence de curage est inférieure à 2 mois, il y a obligation de prévoir une plate-forme de stockage avant le dépôt au champ pour respecter une maturation de 2 mois. Cette plate-forme doit respecter des règles de distance de 35 m des points d'eau et de 100 m des habitations. Pour les fumiers et fientes de volailles à plus de 65 % de matière sèche, le stockage est autorisé sur le sol nu si le tas est couvert par une bâche imperméable à l'eau (sur une parcelle destinée à l'épandage, par exemple).



Contraintes pour l'épandage sur les sols en pente

Quatre classes de pente sont définies par les prescriptions relatives à la nature de la matière organique épandue (liquide, pâteuse, solide) (**tableau 4**). Par exemple, le code de bonnes pratiques agricoles CBPA interdit l'épandage des fertilisants dans des conditions qui entraîneraient leur ruissellement en dehors du champ d'épandage. Cette contrainte peut être levée lors de l'élaboration d'un plan d'épandage. La possibilité d'épandage sur les parcelles à pente

importante demeure alors de l'appréciation des services instructeurs des dossiers.

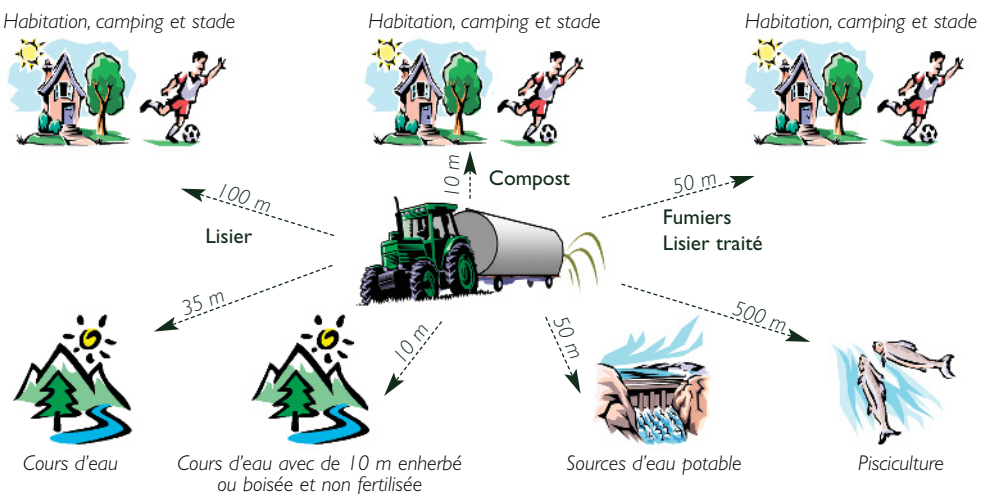
Attention ! On observe que l'épandage de doses de lisiers supérieures à 40 m³/ha entraîne des ruissellements de lisier sur certains sols nus avec des pentes faibles (moins de 7 %). Ces ruissellements dépendant de l'état de surface du sol, il est conseillé de rester prudent dans le choix des doses.

Tableau 4. Épandage des matières organiques en fonction des pentes.

Classe de pente (p)	Matières organiques pouvant être épandues
$p \leq 7\%$	Tous types
$7 < p \leq 20\%$	Produits solides *
$20 < p \leq 40\%$	Produits normalisés homologués
$p > 40\%$	Aucun

* : Fumiers et composts.

Figure 2. Les distances (en m) à respecter pour le lieu d'épandage d'effluents issus d'élevages ICPE (Source: CCPR/FRCA).



Réglementation sur les ETM pour les sols aptes à recevoir un épandage de boue

Le **tableau 5** donne les valeurs limites de concentration en ETM des sols, au delà desquelles l'épandage de boues de station d'épuration (STEP) est interdit.

A noter que plusieurs spécialistes ont souligné les inconvénients de ces valeurs limites qui ne tiennent pas compte des contextes géologiques, pédologiques et climatologiques locaux et le caractère « autoritaire » des formulations.

Par exemple, à La Réunion, les fortes teneurs en nickel et chrome dans les sols volcaniques qui se sont formés sur des coulées de roches basiques interdisent à ce jour les épandages de boue sur beaucoup de sols. Cette situation pourrait évoluer par arrêté préfectoral après analyse d'un rapport étayé sur le comportement local des ETM dans les sols et les plantes (étude en cours par la MVAD et le CIRAD).

Tableau 5.

Valeurs limites de concentration en ETM dans les sols destinés à l'épandage des boues de STEP (arrêté du 8 janvier 1998) : les épandages sont interdits pour des teneurs supérieures à ces valeurs seuils.

ETM	Cadmium (Cd)	Chrome (Cr)	Cuivre (Cu)	Mercure (Hg)	Nickel (Ni)	Plomb (Pb)	Zinc (Zn)
Valeur seuil de concentration (mg/kg de sol sec)	2	150	100	1	50	100	300

Note : ces valeurs sont en discussion au niveau européen en vue de l'établissement de la directive 86/278/CEE.

Contraintes liées aux périodes d'épandage

Les prescriptions des périodes conseillées ou déconseillées pour la métropole ne sont pas utilisables à La Réunion (par exemple : pas ou très peu de période de gel, même à la Plaine des Cafres).

Pour La Réunion, il est difficile de donner des conseils de dates précises d'épandage étant donné la grande variabilité des climats et des

cultures. Nous proposons une adaptation du conseil des périodes en utilisant la même logique que celle de la métropole, qui se base sur le classement des matières fertilisantes en fonction de leur rapport C/N (**tableau 6**).

D'une façon générale, à La Réunion, les conditions d'apport suivantes sont fortement déconseillées sur les cultures (bien qu'elles



soient techniquement possibles) :

– en période très sèche (sauf si la culture est irriguée), c'est-à-dire pendant les mois de septembre et d'octobre pour toute l'île, car la pluviosité et l'humidité du sol ne permettent pas une bonne valorisation de l'azote des matières organiques apportées, qui subit plutôt des pertes gazeuses lors des applications qu'une absorption par la culture en place ;

– en hiver (de juin à septembre) pour les fumiers et les composts dans les zones très fraîches d'altitude. Pendant cette période, la vie microbienne est au ralenti et ne permet pas une biodégradation rapide des produits apportés

(risque de perte) ni une valorisation par la plante dont la pousse est ralentie ;

– en période très pluvieuse (janvier à mars) pour les lisiers et l'engrais azoté minéral. Les apports réalisés pendant cette période présentent un risque élevé de perte rapide de l'azote par lixiviation. Si des pluies importantes surviennent à moins de 20 jours après l'épandage, l'apport n'a pas le temps d'être utilisé par la culture.

Ces préconisations sont indicatives et peuvent être nuancées localement selon le milieu et les systèmes de culture (irrigation sur la parcelle, par exemple).



En savoir plus

Classement CBPA

Le classement utilisé en métropole s'appuie sur le rapport C/N des produits, selon la classification des fertilisants organiques utilisée par le CBPA (Code des bonnes pratiques agricoles) selon la directive nitrates (arrêté 22 novembre 1993, Code de bonnes pratiques agricoles) :

- **Type I (type fumier)**. Fertilisants organiques à C/N élevé (> à 8) tels que les déjections avec litière.
- **Type II (type lisier)**. Fertilisants organiques à C/N bas (\leq à 8) : toutes les déjections sans litière ;
- **Type III (type engrais azoté)**. Fertilisants minéraux et uréiques de synthèse.

Le type conditionne le calendrier et les lieux d'épandage

Tableau 6.

Périodes conseillées à La Réunion pour les épandages de matières organiques fertilisantes.

Culture	Type I : fumier et composts	Type II : lisier et fientes	Type III : engrais azotés
Friches pérennes	Interdit par la législation		
Canne à sucre	A la plantation Avant travail du sol	Après la coupe (juillet à décembre)	Après la coupe (juillet à décembre)
Prairies	À la plantation, avant travail du sol Après une coupe, sans enfouissement	Après une coupe	Après une coupe
Maraîchage	A préciser localement	Emploi limité pour raisons sanitaires	A préciser localement
Arboriculture	A la plantation : dans les trous ou en plein avant travail du sol	Selon les espèces : à la floraison, nouaison et après récolte	Selon les espèces : à la floraison, nouaison et après récolte

Réglementation pour la fertilisation en agriculture biologique

En agriculture biologique, différentes techniques permettent de maintenir ou d'augmenter la fertilité et l'activité biologique du sol :

- la culture de légumineuses, des engrais verts et des plantes à enracinement profond qui s'intègrent dans une rotation ;
- l'incorporation de matières organiques compostées (ou non) provenant d'élevages biologiques et de composts provenant de déchets végétaux (déchets verts) ;
- des préparations dites biodynamiques de poudre de roches, de fumier de ferme et de végétaux.

Une liste de produits autorisés figurent dans l'annexe 2 du règlement CEE n° 2092/91 (produits utilisables en AB) : fumiers, composts, produits d'origine animale (sang, corne, os farine, etc.) et végétale (bois, sciures, cendres, vinasses, etc.).

Le *Guide des matières organiques* de l'Institut technique de l'agriculture biologique (B. Leclerc, 2001, deuxième édition, ITAB) fait le point sur l'ensemble des matières organiques utilisables en agriculture biologique.

Principaux textes législatifs cités dans les chapitres 7 et 8

Textes de base

La loi sur l'eau n° 92-3 du 3 janvier 1992 et ses arrêtés qui définissent le régime d'autorisation ou de déclaration pour l'épandage d'effluents et de boues issus des ouvrages d'assainissements (code de l'environnement).

La loi relative aux installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) (désormais Livre V du code environnement) qui définit les deux régimes : déclaration pour les installations importantes (élevages, industries agro-alimentaires, stations d'épuration), autorisation pour les installations moins importantes (cela concerne la majorité des élevages à La Réunion).

Le règlement sanitaire départemental (RSD) qui s'intéresse au stockage des matières organiques et à leur épandage d'une façon générale (hors ICPE). Le RSD est disponible auprès de la DRASS.

La directive nitrate (91/676/CEE de décembre 1991) et son décret d'application n° 93-1038 du 27 août 1993 qui proposent la définition de zones vulnérables dans lesquelles doivent être mis en place des programmes d'actions et la rédaction d'un code de bonnes pratiques agricoles (CBPA) concernant le raisonnement de la fertilisation azotée. Toutefois, à ce jour, aucune zone vulnérable n'a été délimitée à La Réunion.



La réglementation sur les caractéristiques du sol (métaux lourds) uniquement pour les épandages de boues de station pour l'instant (décret 97-1133 du 8 décembre 1997, arrêté du 8 janvier 1998).

La réglementation relative à la fertilisation en agriculture biologique : CEE n° 2092/91 modifiée du 24 juin 1991.

ICPE, désormais codifiées dans les parties législatives (Livre V) et réglementaires du code de l'environnement.

Loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux Installations classées pour la protection de l'environnement, Décret n° 77-1133 du 21 septembre 1977 modifié, portant application de la loi du 19 juillet 1976.

Décret n° 92-185 du 25 février 1992 modifiant la nomenclature des ICPE.

Décret n° 99-1220 du 28 décembre 1999 modifiant la nomenclature des ICPE.

Décret n° 2005-989 du 10 août 2005 modifiant la nomenclature des installations classées.

Déclaration

Les cinq arrêtés ci-dessous sont abrogés au 1^{er} janvier 2011 pour les élevages existants (pour les nouveaux élevages, c'est l'arrêté du 07 février 2005 qui s'applique désormais) :

– bovins à l'engraissement : arrêté type n° 2101-1 ;

– vaches allaitantes : arrêté type n° 2101-3 ;

– vaches laitières : arrêté type n° 2101-2 ;

– porcs : arrêté type n° 2102 ;

– volailles : arrêté type n° 2111.

Autorisation

Les trois premiers arrêtés ci-dessous sont abrogés au 1^{er} janvier 2009 pour les élevages existants (pour les nouveaux élevages, c'est l'arrêté du 07 février 2005 qui s'applique désormais) :

– arrêté du 29 février 1992 modifié par arrêté du 1^{er} juillet 1999.

– arrêté du 13 juin 1994 modifié par l'arrêté du 1^{er} juillet 1999.

– arrêté du 24 décembre 2002 fixant les règles techniques auxquelles doivent satisfaire les élevages bovins soumis à autorisation au titre du Livre V du code de l'environnement.

pour la protection de l'environnement soumises à autorisation ;

– arrêté du 07 février 2005 fixant les règles techniques auxquelles doivent satisfaire les élevages bovins, de volailles et (ou) gibiers à plume et de porcs soumis à déclaration au titre du Livre V du code de l'environnement ;

– arrêté RSD n° 798 DASS/SAN.I du 28 mars 1985, titre VIII relatif aux prescriptions applicables aux activités d'élevage et autres activités agricoles du Règlement sanitaire départemental, DRASS de La Réunion, 1992.

Arrêtés concernant les règles techniques sur les élevages pour la protection de l'environnement :

– arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées



Ce qu'il faut retenir du chapitre 8



✓ **Épandage de matières organiques au champ**

1- Effluents et résidus organiques gardant le statut de déchets

La réglementation des épandages de matières organiques gardant le statut de déchet est la plus contraignante. Le producteur est responsable de son « déchet » jusqu'à son application au champ ainsi que des éventuelles atteintes à l'environnement.

Les déjections issues des gros élevages et les produits issus d'industries agro-alimentaires déclarées ICPE doivent être épandues seulement lorsqu'une autorisation est donnée par la Direction des services vétérinaires, faisant suite à une demande et à une enquête.

Ces plans d'épandage doivent respecter certaines contraintes : délais d'enfouissement après épandage, distances à respecter des habitations et points d'eau.

Le plan d'épandage indique précisément les parcelles retenues pour recevoir l'effluent et les modalités (qualité et quantité, modalité et périodicité de l'épandage, délai de remise à l'herbe des animaux...).

La réglementation sur l'épandage des boues de station est la plus contraignante puisque que l'autorisation de la DRASS n'est donnée qu'après avoir pris connaissance des teneurs en ETM des boues ainsi que celles des sols où doit avoir lieu l'épandage (ainsi que son pH).

Pour les effluents d'élevages plus petits, le Règlement sanitaire départemental (RSD) définit les prescriptions techniques des plans d'épandage, qu'ils soient non déclarés en mairie pour les petits élevages ou déclarés pour les plus importants.

2- Produits normalisés ou homologués (composts, engrais organiques...)

Le producteur n'est plus responsable des conditions d'utilisation.

L'agriculteur applique les matières organiques dans ses champs selon les recommandations, en fonction du milieu et des besoins de sa culture.

✓ **Stockage des matières organiques**

Aussi bien dans les bâtiments que sur la parcelle destinée à l'épandage, les stockages de matières fermentescibles destinées à la fertilisation de sols sont réglementés.

✓ **Apports azotés maximaux**

Les apports azotés maximaux doivent correspondre aux besoins de la culture et doivent donc être raisonnés.

✓ **Autres contraintes à prendre en compte pour les épandages**

Citons les sols en pente, les périodes d'apports d'épandage.

✓ **Agriculture biologique**

Une réglementation spécifique s'applique pour le choix des matières organiques autorisées en agriculture biologique.

Le matériel d'épandage et d'enfouissement

Le choix du type de matériel d'épandage dépend en premier lieu de la consistance de la matière organique (liquide, pâteuse ou solide). Ce matériel doit permettre de respecter la dose, de réaliser un épandage homogène sur la parcelle, tout en évitant de compacter le sol.



Jauge de niveau de remplissage d'une tonne à lisier.

© V. van de Kerchove

Qualité d'épandage des matières organiques	126
Contraintes en fonction des possibilités d'épandage du matériel	128
Epandage des matières organiques liquides	129
Epandage des matières organiques pâteuses	135
Epandage des matières organiques solides	136
Autres types de matériel	142
Ce qu'il faut retenir du chapitre 9	144

Qualité d'épandage des matières organiques

L'exploitant réalise l'épandage après avoir calculé la dose de fertilisant organique à apporter. Cette dose correspond à la quantité de matière organique épandue sur une surface donnée :

La qualité de l'épandage dépend du respect :
 – de la dose moyenne à apporter sur la parcelle ;
 – de la régularité d'épandage.

$$\text{Dose (kg/m}^2\text{)*} = \frac{\text{débit (kg/s ou m}^3\text{/s)}}{\text{largeur d'épandage (m) x vitesse d'épandage (m/s)}}$$

* : 1 kg/m² = 10 t/ha



Tracteur et buttoir © V. van de Kerchove

Respect de la dose en épandage de matières liquides

Il est fortement conseillé de contrôler la capacité de l'épandeur en vérifiant le niveau de remplissage de la citerne (60 à 100 %).

Il existe des systèmes plus sophistiqués de contrôle en continu de l'épandage, de type

DPA (débit proportionnel à la vitesse d'avancement), dans lequel un débitmètre mesure en temps réel le débit de l'appareil. Ce type de matériel est utilisé dans des chantiers d'épandage de grande dimension, car il est coûteux.

Respect de la dose en épandage de matières solides ou pâteuses

Afin de régler l'épandeur de fumier, le CEMAGREF (Thirion et Chabot, 2003) conseille à l'exploitant de procéder de la manière suivante :

- mesurer le volume utile de l'épandeur ;
- mesurer la densité du fumier ;
- déduire la quantité transportée ;
- calculer la longueur de trajet nécessaire pour épandre la dose préconisée ;
- mesurer la longueur effective du trajet pour vider l'épandeur ;

– corriger le réglage préalable (vitesse de tapis, ouverture de la porte, vitesse d'avancement) jusqu'à l'obtention de la dose souhaitée.

Pour l'épandage des boues d'épuration, l'opération est simplifiée car une quantité mesurée de boue est à épandre sur une parcelle de superficie connue (plan d'épandage).



Régularité d'épandage

La dose de matière organique apportée à la parcelle doit être épanchée de manière régulière dans le sens longitudinal et dans le sens transversal à l'avancement de l'épandeur.

La régularité longitudinale nécessite un avancement de l'épandeur à vitesse constante. Or, en pente par exemple, elle peut varier. Lorsque l'épandeur gravit la pente, il décélère ; sa vitesse d'avancement et la largeur d'épandage diminuent alors que la dose apportée augmente. Le phénomène inverse se produit en descendant la pente. De plus, en fin d'épandage, lorsque l'épandeur est presque vide, le débit d'épandage

diminue fortement. L'utilisation d'une porte fixée à l'arrière de l'épandeur à fumier permet de limiter le débit de sortie et donc de réduire les variations.

La régularité transversale nécessite :

- de travailler avec la largeur optimale (à déterminer), et il faut jalonner la parcelle afin de respecter cette distance entre passages ;
- de bien répartir le chargement dans la caisse ;
- de veiller au bon état des organes d'épandage ;
- de maintenir un régime d'entraînement stable ;
- d'épandre en l'absence de vent latéral fort ou irrégulier.



Rampe d'épandage multi-buses. © V. van de Kerchove



Enfouisseur sur prairie. © V. van de Kerchove



Cuve avec déflecteur. © V. van de Kerchove

Contraintes en fonction des possibilités d'épandage du matériel

Dans le choix des doses, le matériel impose également des seuils minima et maxima qui sont résumés dans le **tableau 1** (d'après Bassez et *al.* (CORPEN), 1997).

! Pratique

Les outils les plus utilisés à La Réunion

A La Réunion, les produits organiques sont essentiellement épandus par les agriculteurs eux-mêmes, qu'ils soient éleveurs ou cultivateurs. Les coûts d'investissement en matériel d'épandage sont donc pris en charge par un seul exploitant qui achète souvent le matériel le moins cher. Les deux types d'outil les plus utilisés actuellement sont la tonne à lisier avec une buse palette pour les matières liquides et l'épandeur à fumier (hérissons horizontaux ou verticaux, sans table d'épandage) pour les produits solides.

Tableau 1.

Exemples de contraintes d'épandage liées au matériel.

Produits à épandre	Matériel d'épandage	Quantités maximales à épandre (t/ha ou m ³ /ha)	Quantités minimale à épandre (t/ha ou m ³ /ha)
Fumiers frais	Epandeurs à hérissons horizontaux	50	40
	Epandeurs à hérissons verticaux	50	30
Fumiers évolués	Epandeurs à hérissons horizontaux	50	30
	Epandeurs à hérissons verticaux	50	20
Fumiers compostés de volaille	Epandeurs à hérissons horizontaux + porte hydraulique + table d'épandage Epandeurs à hérissons verticaux + porte hydraulique	20	5
Lisiers de porc, de bovin, de volaille	Tonne à buse palette	60	20
	Tonne + rampe d'épandage (buses ou pendillards)	50	15
Boues liquides	Tonne + rampe à enfouisseurs ou à injecteurs	25	15

Epandage des matières organiques liquides



À La Réunion, l'épandage des lisiers se fait généralement à l'aide d'une tonne à lisier et d'une buse palette, ce qui induit des odeurs désagréables et la volatilisation de l'ammoniac

(d'où une perte de fertilisant). L'enfouissement permet de résoudre ces deux problèmes mais occasionne un surcoût lié à l'effort de traction et au temps de travail supplémentaire.

Matières organiques liquides

La consistance et la fluidité des lisiers varient avec l'espèce animale, la conduite de l'élevage et la dilution. Le lisier de bovin est assez visqueux. Ses fibres peuvent provoquer le bouchage des rampes ou des enfouisseurs et rendent le pompage difficile.

Les lisiers de volailles peuvent être assez épais (canard). Il faut absolument les brasser dans la fosse de stockage afin d'éliminer la croûte formée à la surface. Cette opération évite le bouchage des tuyaux lors de l'épandage.

Le lisier de porc, contenant une teneur en matière sèche jusqu'à 8 %, se pompe facilement. Comme il se décante très rapidement, il est

indispensable de l'agiter en cours d'épandage afin d'apporter un produit homogène sur l'ensemble de la parcelle.

Les boues d'épuration urbaine liquides ont une teneur en matière sèche inférieure à 14 % de la matière brute. Elles peuvent donc s'épandre avec des tonnes à lisier multi-buses.

La vinasse a une teneur moyenne en matière sèche d'environ 11 %. Si la vinasse est prélevée à plus de 50 °C dans la cuve de distillerie, la tonne à lisier utilisée pour l'épandage doit résister à la chaleur et à l'acidité. Il vaut mieux se servir d'une tonne en acier inoxydable. La rampe multi-buses convient bien à l'épandage des vinasses.

Brassage et homogénéisation des lisiers stockés

Le lisier contient des matières en suspension qui se déposent progressivement dans le fond de la fosse, lors du stockage. Ce dépôt est difficile à pomper. Pour épandre un produit homogène, il faut donc mélanger les différentes phases de la fosse à lisier avec un brasseur indépendant (mixeur ou pompe hacheuse). Il est nécessaire de brasser le lisier épais (canard, bovin) deux ou trois fois par mois, chaque fois pendant deux heures, pour homogénéiser l'effluent et favoriser sa décomposition.



Retourneur d'andain (Intragi, Saint-Pierre). © V. van de Kerchove

Matériel d'épandage des lisiers et autres matières liquides

L'épandeur de lisier se compose généralement d'une citerne, d'un compresseur d'air qui permet de remplir et de vider celle-ci et d'un dispositif d'épandage (figures 1, 2). L'épandeur permet donc le remplissage de la citerne, le transport et l'épandage du produit liquide au champ. Le compresseur d'air (ou pompe à vide)

permet le remplissage ou la vidange de la cuve par une diminution ou une augmentation de la pression de l'air qui s'y trouve.

L'épandage de lisier peut également être réalisé à l'aide d'un automateur ou d'un système ombilical sans tonne à lisier.

Figure 1.

Les épandeurs à lisiers. © CEMAGREF.

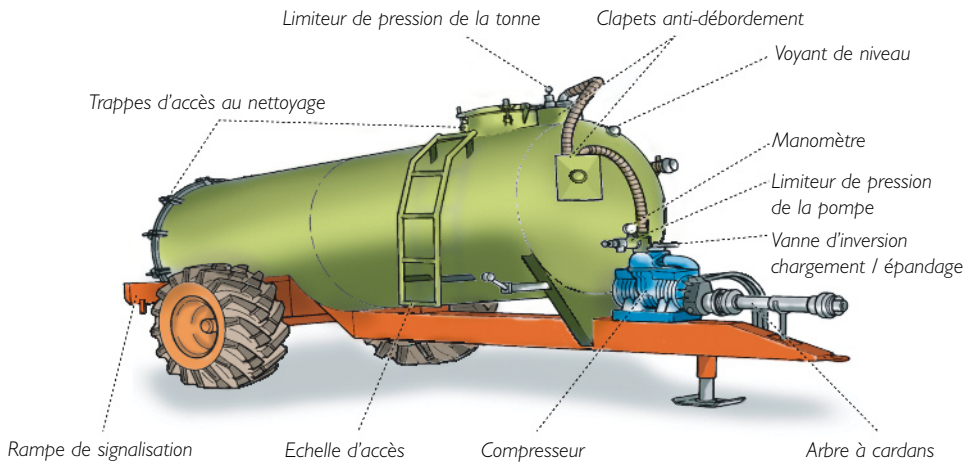
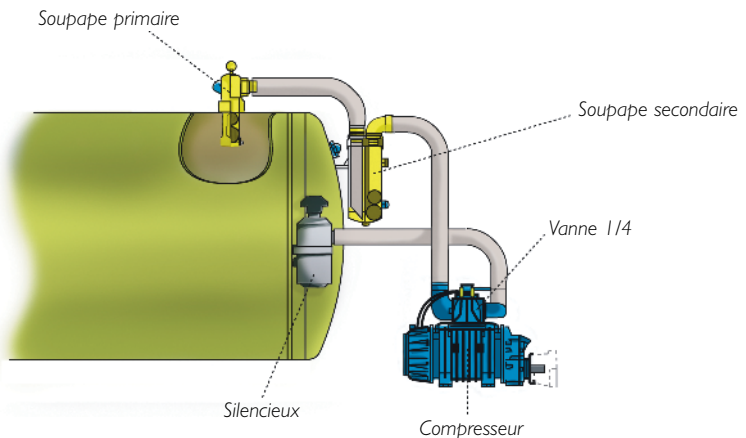


Figure 2.

Le circuit complet (d'après Debroize et al., 2004).





La citerne doit être équipée d'un dispositif de suivi de la manœuvre de remplissage pour s'assurer du niveau atteint par le liquide : regard ou hublot, tube extérieur, indicateur de niveau à aiguille... Les jauges de remplissage à tube transparent sur toute la hauteur de la tonne permettent de distinguer le liquide et l'écume formée ; ce dispositif permet d'arrêter le remplissage au bon moment.

Si le transport de lisier a lieu sur une grande distance, un dispositif de brassage doit être intégré dans la citerne pour éviter un dépôt dans le fond de la cuve, qui compromettrait le bon déroulement de l'épandage. Ce brasseur est pneumatique (par insufflation d'air) ou mécanique (par un rotor longitudinal à pâles). Les lisiers chargés doivent être brassés à chaque phase : stockage, transport et épandage. Pour éviter que les roues de l'épandeur abîment les plantes et que la structure du sol soit altérée, l'épandage se fait sur sol ressuyé et portant (donc surtout pas après une forte période pluvieuse). De même, il faut absolument éviter de repasser deux fois dans le même passage.

Pour éviter de compacter le sol, l'épandeur sera équipé de pneumatiques à basse pression (2,5 à 3 bars, voire inférieure à 2,5 bars). Grâce à une grande surface de contact avec le sol, ils s'y enfoncent moins profondément. Ils sont plus chers que les autres pneumatiques.

Les épandeurs à dépression

Au remplissage de la citerne, le débit du compresseur crée puis maintient le niveau de vide dans la citerne. La dépression (0,6 à 0,8 bar) permet d'aspirer le liquide à l'aide d'un tuyau de remplissage. L'épandage, quant à lui, demande une mise sous pression de la citerne (0,6 à 1,2 bar).

Le débit d'épandage est lié à la pression de l'air dans la citerne et à la viscosité du produit. Pour une même pression de réglage, le débit de la tonne diminue quand la viscosité du produit augmente. Le débit dépend également du diamètre des orifices de sortie et des pertes de charges éventuelles dans le circuit.

Les épandeurs à pompe volumétrique

La cylindrée d'une pompe volumétrique (litres) est constante. Le débit (l/minute) varie en fonction de la vitesse de rotation de la pompe (tour/minute). La pression d'utilisation dépend du diamètre des buses d'épandage et de la viscosité du produit. Lorsque la vitesse d'avancement et la largeur d'épandage sont stables, il est facile d'épandre la dose recherchée car le débit est facile à contrôler.

L'équipement d'épandage

L'équipement d'épandage assure l'apport de la dose de matière organique recommandée par le plan de fumure ainsi qu'une bonne répartition transversale et longitudinale du produit sur la parcelle. Il permet de limiter les pertes d'azote et donc la pollution atmosphérique, ainsi que les nuisances.

La buse-palette (dite « queue de paon »).

C'est le dispositif le moins cher et le plus courant à La Réunion. Le jet liquide sortant de la buse est éclaté par la palette. La largeur de travail dépend de la pression de réglage et du bon positionnement initial de la buse : elle est souvent de 12 mètres. La fixation de la buse ne permet pas un calage précis dans les plans horizontal et vertical.

La rampe d'épandage. Après la vanne de sortie de la citerne, le lisier est envoyé dans des tuyaux qui l'amènent à la rampe. Celle-ci est plus souvent équipée d'une série de buses-palettes (multi-buses) que de pendillards. Pour une largeur d'épandage de 12 mètres, il faut compter 8 buses ou 40 pendillards. Par rapport à la buse unique, les rampes réduisent les émanations d'ammoniac et assurent une répartition homogène du lisier au sol sur une largeur fixe. Le système multi-buses coûtant beaucoup moins cher que la rampe à pendillards, il est souvent préféré par les agriculteurs.

Dans le cas de la rampe à pendillards, il est indispensable de disposer, entre la sortie de la tonne à lisier et la rampe, d'un ou deux broyeurs répartiteurs pour répartir le lisier et

éviter le bouchage des tuyaux par des matières solides (coquilles d'œuf, plumes, paille, etc.).

Les rampes d'épandage demandent un entretien très régulier du système d'épandage (rampe et circuits hydrauliques).

L'enfouisseur. Par la mise en terre du lisier, l'enfouissement diminue les pertes d'azote ammoniacal, ce qui améliore la valorisation agronomique du lisier par la plante et supprime les nuisances olfactives. Sur le plan réglementaire, la distance d'épandage est de 10 mètres par rapport aux habitations.

Après la vanne de sortie de la cuve, le lisier est entraîné par des tuyaux flexibles vers des sorties disposées derrière des coutres circulaires, des disques, des socs ou des patins. Comme pour la rampe à pendillards, la présence de broyeurs répartiteurs en amont des tuyaux est indispensable pour éviter leur bouchage.

Le prix d'achat élevé d'un enfouisseur limite son utilisation par les agriculteurs. C'est pourquoi son achat serait plutôt à envisager par une société d'épandage ou une CUMA.

! Pratique

Enfouisseurs

L'enfouisseur pour prairie demande peu de traction. Il y a deux types d'enfouisseur pour prairie :

- l'injecteur à patins, ou injecteur superficiel, dépose le lisier au pied du végétal. Le sol est griffé par un petit coutre et le lisier est déposé. Une goulotte traînante suit pour aligner et protéger l'herbe des éclaboussures ;
- l'enfouisseur à coutres circulaires (disques plats) cisaille verticalement le sol, sans détériorer la prairie.

L'enfouisseur pour sol cultivé nécessite un tracteur plus puissant. Il peut être :

- à dents rigides pour un bon mélange terre-lisier; ou à dents flexibles vibrantes pour un meilleur affinement de la terre ;
- à disques, il optimise le recouvrement (préférable à La Réunion).

L'enfouisseur polyvalent est muni de disques plats (coutres circulaires) de grand diamètre. Il permet un travail sur culture et prairie.

L'épandage sans tonne à lisier

L'épandage sans tonne à lisier est appelé « sans tonne » ou « à tuyau ombilical ». Une rampe à pendillards est portée par un tracteur tout en étant accrochée au tuyau d'alimentation. Ce tuyau est relié à un réseau de canalisations enterrées, à une citerne ou à un container placé en bordure de parcelle. L'équipement se compose d'une pompe, d'un tuyau, d'un enrouleur et d'un système d'épandage (pendillard ou enfouisseur).

La rampe d'épandage, accrochée au tracteur, est alimentée par un tuyau souple. Le fait de ne pas transporter de citerne sur la parcelle limite les risques de dégradation du sol. Il faut cependant repenser l'organisation des chantiers.



Rampe d'épandage à pendillards.
© V. van de Kerchove

Le choix du matériel adapté pour les épandages de produits liquides

La tonne à lisier peut être équipée de dispositifs divers :

- la buse palette, très simple, mais présentant de nombreux défauts (mauvaise répartition, largeur d'épandage réduite à 12 mètres, fort dégagement d'ammoniac). Elle devrait être gardée pour des cas de dépannage ;
- la rampe à buses garantit la régularité de la largeur d'épandage (12 mètres pour 8 buses), réduit les émanations d'ammoniac et le produit est mieux réparti ;
- la rampe à pendillards limite la volatilisation de l'ammoniac et les mauvaises odeurs. Elle permet de ne pas salir la culture, mais demande un entretien régulier: Il faut vérifier que le produit ne contienne pas des éléments pouvant boucher les pendillards, et équiper le dispositif d'un broyeur répartiteur ;
- l'enfouisseur garantit l'absence de volatilisation et d'odeur. L'enfouisseur de cultures demande de la puissance et procure un bon mélange terre-lisier. L'enfouisseur de prairie demande peu de puissance, n'abîme pas la prairie et fournit une protection sanitaire en prairies pâturées.

L'épandeur à lisier sans tonne est un équipement moins lourd, utilisable en cas de faible portance des sols. Le coût d'investissement est élevé, à réaliser par des structures importantes.



Cuve avec déflecteur. © V. van de Kerchove



Enfouissement de matières organiques avec un buttoir.
© V. van de Kerchove

9 - Le matériel d'épandage et d'enfouissement

Comparaison des matériels d'épandage de matières liquides

Les appréciations résumées dans le **tableau 2** – la dose à épandre ;
 ont été établies par le CORPEN (Bassez et *al.*, – la qualité de la répartition ;
 1997) et basées sur trois critères : – le comportement de la matière avec le matériel.

Tableau 2.

Comparaison de matériels d'épandage de matières liquides (d'après CORPEN : Bassez et *al.*, 1997).

Origine de la matière liquide	Type de matière à épandre	Qualification de la matière à épandre le jour de l'épandage et après brassage dans la fosse (MS : matière sèche)	Choix* du dispositif d'épandage, équipant une tonne à lisier avec compresseur	
			Conseillé	Possible mais difficile
bovin	lisier	dilué MS < 8 %	buse-palette	
			rampe buse-palette	
			rampe à pendillards	
		si répartiteur hacheur : enfouisseur à socs ou à disques		
				si répartiteur hacheur : buse-palette
				si répartiteur hacheur : rampe buse-palette
porcin	lisier	MS < 8 %		
			buse-palette	
			rampe buse-palette	
			rampe à pendillards	
			si répartiteur hacheur : enfouisseur à socs ou à disques	
volaille	lisier	MS < 12 %	si répartiteur hacheur : rampe buse-palette	
			si répartiteur hacheur : rampe à pendillard	
			si répartiteur hacheur : enfouisseur à socs ou à disques	

* : Choix « conseillé » : la probabilité d'obtenir un résultat satisfaisant est forte.

Choix « difficile » : le résultat peut être insatisfaisant pour au moins un des trois critères d'appréciation.

Epandage des matières organiques pâteuses

Les matières pâteuses sont trop épaisses pour être pompées et trop fluides pour être transportées avec un épandeur à fumier non équipé de porte. Cette catégorie regroupe le fumier mou, le lisier épais, la fiente humide de volaille et la boue d'épuration pâteuse.

Pour les boues de stations d'épuration urbaines pâteuses, le CEMAGREF (Thirion et *al.*, 2003) conseille un choix du matériel d'épandage en fonction de la fluidité du produit :

- fluide (le produit s'affaisse lorsqu'il est disposé en cylindre). Le diluer et l'épandre comme un produit liquide (tonne à lisier) ;
- moyenne (le cylindre de produit peut être constitué mais il s'affaisse partiellement). Utiliser un épandeur à vis et table d'épandage ou bien un épandeur spécifique aux boues pâteuses ;
- plastique. Choisir un épandeur à tapis et table d'épandage.

Le CORPEN (Bassez et *al.*, 1997) présente deux dispositifs d'épandage latéral de produits pâteux : le dispositif à turbine avant et le dispositif de rotor à chaînes et fléaux. Les doses épandues

avec ces deux dispositifs sont très irrégulières et ne procurent pas un résultat satisfaisant.

Le dispositif à turbine avant. La caisse étanche comporte un fond mouvant se déplaçant de l'arrière vers l'avant ou une vis qui alimente une turbine placée à l'avant, dans l'axe du caisson. La turbine de grand diamètre projette latéralement le produit au travers d'une goulotte à sortie orientable. La largeur d'épandage peut atteindre 8 mètres.

Le dispositif de rotor à chaînes et fléaux. Un caisson étanche supporte un rotor longitudinal, entraîné par la prise de force du tracteur et muni de chaînes et de fléaux. Le rotor se déplace verticalement au-dessus de la caisse, ce qui permet l'attaque progressive des fléaux qui projettent le produit sur le côté grâce à un déflecteur supérieur.



Lisier de lapin ressuyé. © V. van de Kerchove



Taureau à l'étable : fumier pâteux. © V. van de Kerchove

Epandage des matières organiques solides

Types de matière organique solide

Fiente sèche de poule pondeuse

La fiente sèche doit être épandue à l'aide de matériel équipé pour apporter des doses de 2 à 4 t/ha. Ces doses sont très faibles et nettement inférieures à celles apportées par les épandeurs de matière organique utilisés habituellement. L'utilisation d'un distributeur d'engrais (si le produit est sec et pulvérulent) ou d'un épandeur à table d'épandage est conseillée.

Fumiers

Le fumier de bovin a des densités variables selon le type d'élevage et la proportion de paille ou de copeaux de bois le constituant. Cette matière peut être assez hétérogène et difficile à déchiqeter. Il est donc conseillé de laisser « mûrir » le fumier en tas durant deux mois afin de pouvoir plus facilement l'émietter et le charger.

Le fumier de mouton étant compact et difficile à émietter, il vaut mieux le composter pour en faciliter l'épandage.

Le fumier de volailles de chair (poulets, dindes et pintades) est à mélanger avant épandage car sa composition dans l'étable varie en fonction du lieu de production.

Composts

Le compost de déchets verts urbains (avec ou sans boue d'épuration urbaine) subit plusieurs retournements et il est broyé et criblé. Le mélange est homogène et hygiénisé. Une bonne qualité du tri en amont permet

l'obtention d'un produit contenant peu d'inertes (plastiques, verres, cailloux...).

Le compost de fumier est réalisé par l'agriculteur. Il ne comprend souvent que deux retournements et il n'est pas criblé. Pour l'émiettement à l'épandage, le compost de fumier est homogène et bien divisé. Mais un compost non protégé de la pluie devient mou et collant, ce qui réduit la régularité et la largeur d'épandage.

Pour l'écume sèche de sucrerie, l'épandage est fait avec un épandeur à hérissons muni de tables d'épandage.

Pour les boues d'épuration urbaines sèches, le CEMAGREF (Thirion et *al.*, 2003) a réalisé des essais d'épandage de boue d'épuration sèche granulée à l'aide d'un distributeur d'engrais centrifugé porté. Comme ce produit présente une qualité granulométrique similaire à celle des engrais, il s'écoule régulièrement, même si la poussière est abondante.



Epandeur à fumier. © V. van de Kerchove

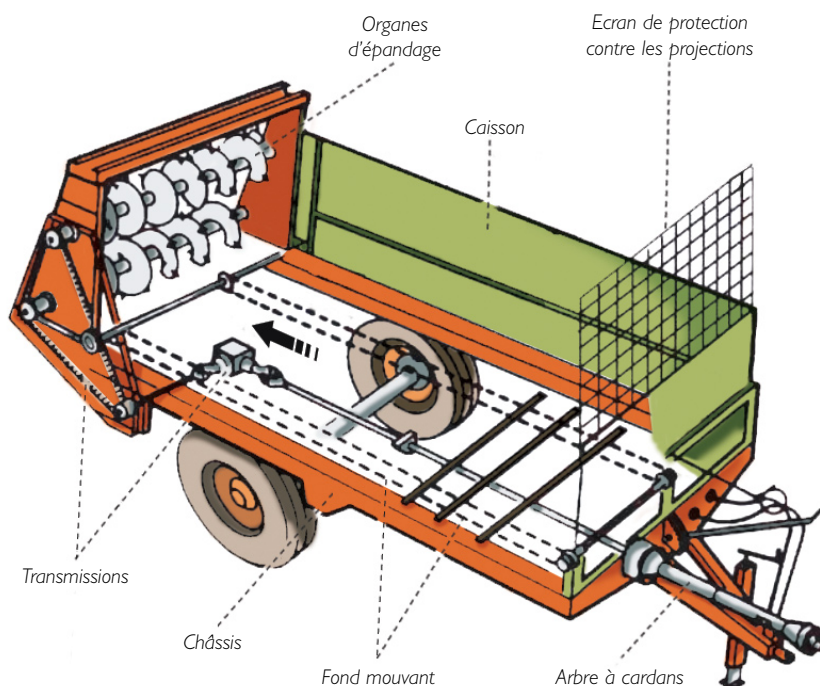
Matériel d'épandage des fumiers et autres matières solides

L'épandeur à fumier permet d'épandre des matières dont le taux de matière sèche dépasse 20 %. L'épandeur est constitué d'une caisse montée sur châssis (équipée d'un fond mouvant

et d'un système de déchiquetage et de projection), d'essieux et de pneumatiques (figure 3).

Figure 3.

Vue générale d'un épandeur de fumier à ridelles. © CEMAGREF



Caisse

La caisse peut être normale ou étroite et surbaissée (5 à 20 m³). Théoriquement, le volume de produit chargé multiplié par sa masse volumique permet de déterminer la quantité de produit qui sera épandue. Mais la masse volumique des fumiers peut varier du simple au triple.

Le chargement régulier de la caisse assure

une alimentation régulière des hérissons. La hauteur de chargement ne doit en aucun cas dépasser la hauteur atteinte par les hérissons.

Afin d'éviter les pertes en produits pâteux ou en fientes de volaille séchées, il est indispensable d'équiper la caisse d'une porte à lisier. Cette porte est utile au transport et à l'épandage pour limiter le débit de vidange de la caisse.

Fond mouvant

Le fond mouvant amène le fumier au contact du système de déchiquetage et de répartition (dispositif d'épandage) (**figure 4**).

La vitesse d'avancement du fond mouvant conditionne le débit de vidange de l'épandeur. Les doses épandues à l'hectare varient selon la formule suivante :

$$D = \frac{d \times 600}{l \times v}$$

avec :

D, dose (t/ha)

d, débit de vidange de l'épandeur (t/minute)

l, largeur utile d'épandage (m) (c'est la distance entre deux axes de passage consécutifs)

v, vitesse d'avancement du tracteur (km/h)

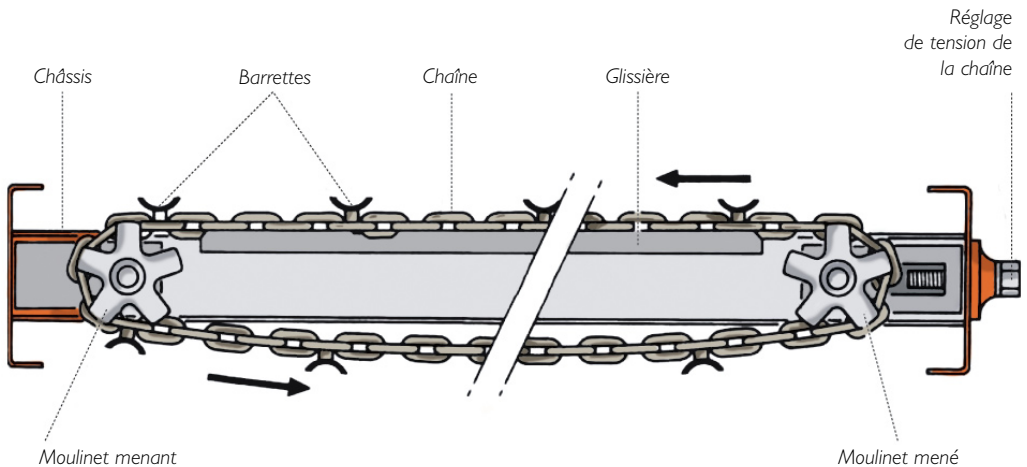
600, facteur d'échelle permettant d'exprimer le débit en t/ha.

Le poids du produit (en tonne, t) chargé dans l'épandeur étant connu, la mesure du temps de vidange (en minute) lors du premier passage permet de calculer le débit de vidange (t/minute) de l'épandeur :

$$\text{Débit} = \frac{\text{poids}}{\text{temps}}$$

Figure 4.

Appareil à fond mouvant. © CEMAGREF





Dispositif d'épandage

Le dispositif d'épandage permet le déchiquetage, la projection et la répartition de la matière solide sur le sol. Deux types de dispositif existent sur le marché : les épandeurs à hérissons horizontaux (équipés ou non d'une table d'épandage) et les épandeurs à hérissons verticaux.

Epandeur traditionnel à hérissons horizontaux.

Un, deux ou trois hérissons tournent dans le même sens à des vitesses variant en fonction de leur diamètre. La largeur utile d'épandage ne dépasse en général pas celle de la caisse (soit 2,5 m), ce qui implique des passages rapprochés et donc un tassement du sol. Ce matériel permet difficilement d'apporter des doses inférieures à 40 t/ha et ne fournit pas une bonne qualité de répartition latérale. Même s'il est obsolète, ce matériel est parfois retenu par les agriculteurs parce que ses coûts d'investissement et d'entretien sont faibles. Ce type de dispositif est à proscrire dans le cas de

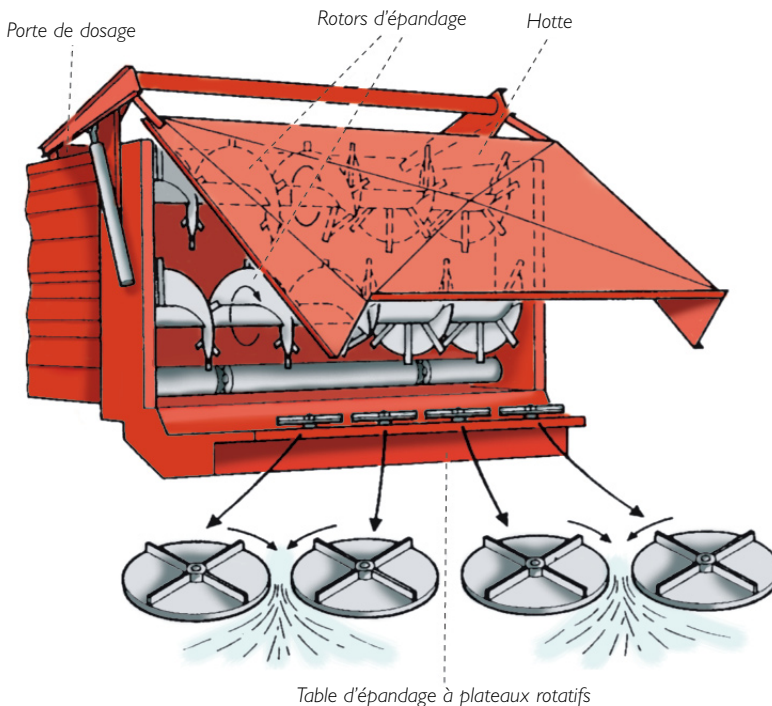
l'épandage de fumier de volaille ou de fientes de poule séchées, qui sont riches en éléments fertilisants et ne nécessitent que de faibles apports au champ.

Epandeur à deux hérissons horizontaux et table d'épandage (figure 5).

Ce dispositif est une version améliorée de l'épandeur traditionnel. Il comprend une hotte et une table à disques d'épandage. Les disques ont un diamètre de 0,50 à 1 mètre selon qu'ils sont par deux ou par quatre sur la table. L'augmentation de la largeur utile d'épandage de 6 à 12 mètres en fonction de la matière épandue permet d'apporter des faibles doses (à partir de 10 t/ha). La matière est régulièrement répartie. Ce dispositif convient bien à la fertilisation avec des fumiers et fientes de volaille, des composts et des boues d'épuration. Pour régulariser le flux de matière arrivant sur la table d'épandage et obtenir une meilleure répartition longitudinale, il peut être intéressant d'équiper la caisse avec une porte hydraulique.

Figure 5.

Table d'épandage. © CEMAGREF



Épandeur à quatre hérissons verticaux.

La caisse classique est équipée de quatre hérissons verticaux de diamètre identique. La largeur d'épandage atteint 5 à 6 m, ce qui permet de réduire les doses épandues. La qualité d'émiettement est moins bonne qu'avec deux hérissons.

Épandeur à deux hérissons verticaux.

Ces épandeurs conviennent bien à l'épandage de fumier frais pailleux. La largeur d'épandage atteint environ 5 à 6 mètres, ce qui permet d'épandre des doses faibles (à partir de 10 t/ha). L'axe de rotation des hérissons est vertical ou légèrement incliné vers l'avant de l'appareil.

! Pratique**Le choix du matériel adapté**

Un broyeur peut être utilisé pour l'épandage de fumiers compacts.

L'épandeur traditionnel à deux hérissons horizontaux est dépassé. La largeur d'épandage est faible car elle correspond à celle de la caisse. Ce matériel épand irrégulièrement et ne convient pas à l'apport de faibles doses.

L'épandeur à deux hérissons et table d'épandage permet d'apporter des doses inférieures à 10 t/ha, sur une largeur d'épandage de 12 m. Il est bien adapté à l'épandage de compost, de boue d'épuration urbaine et de fumier de volaille.

L'épandeur à deux hérissons verticaux permet un apport de doses d'au moins 10 t/ha sur une largeur d'épandage de 6 m. Une caisse étroite, à roues de grand diamètre, est plus maniable qu'une caisse large.

L'épandeur à quatre hérissons verticaux permet une largeur d'épandage de 5 m et nécessite un entretien régulier du matériel.

Généralement, les épandeurs à hérissons verticaux sont moins coûteux à l'achat et à l'entretien que les dispositifs à table d'épandage. Il serait intéressant de voir arriver sur le marché des épandeurs spécialisés qui permettraient un apport régulier des fientes et autres produits légers.



Enfouisseur à dents (détails). © V. van de Kerchove



Chargement de fumier. © V. van de Kerchove



Comparaison des matériels d'épandage de matières solides

Les appréciations résumées dans le **tableau 3** ont été établies par le CORPEN (Bassez et al., 1997) et basées sur trois critères :

- la dose à épandre ;
- la qualité de la répartition ;
- le comportement du produit avec le matériel.

Tableau 3.

comparaison des matériels d'épandage de matières solides (d'après CORPEN : Bassez et al., 1997).

Origine de la matière	Type de matière à épandre	Qualification de la matière à épandre le jour de l'épandage	Choix* du dispositif d'épandage, équipant un épandeur de fumier	
			Conseillé	Possible mais difficile
bovin et porcin	fumier	compact pailleux frais		deux hérissons horizontaux avec ou sans hotte + table d'épandage
				quatre hérissons verticaux
			deux hérissons verticaux avec ou sans plateau à la base des hérissons	
	stocké	deux hérissons horizontaux + hotte + table d'épandage	deux hérissons horizontaux	
		quatre hérissons verticaux		
		deux hérissons verticaux avec ou sans plateau à la base des hérissons		
mou	porte + deux hérissons horizontaux + hotte + table d'épandage	deux hérissons verticaux + plateau à la base des hérissons		
compost	produit émiétté		deux hérissons horizontaux	
volaille	fumier	fumier compact	deux hérissons horizontaux + hotte + table d'épandage	quatre hérissons verticaux
				deux hérissons verticaux avec ou sans plateau à la base des hérissons
	compost	produit émiétté	deux hérissons horizontaux + hotte + table d'épandage	quatre hérissons verticaux
			deux hérissons verticaux avec ou sans plateau à la base des hérissons	

* : Choix « conseillé » : forte probabilité d'obtenir un résultat satisfaisant.

Choix « difficile » : le résultat peut être insatisfaisant pour au moins un des trois critères d'appréciation.

Autres types de matériel

Matériel d'enfouissement des matières organiques

L'enfouissement des matières organiques liquides peut avoir lieu en même temps que leur épandage. Ces enfouisseurs ont déjà été décrits dans les matériels d'équipement d'épandage des lisiers.

Lorsque la matière organique, quelle que soit sa consistance, est épandue au champ, il peut être intéressant de l'enfouir avec des disques ou des dents, sur sols cultivés. C'est le cas des boues d'épuration non hygiénisées apportées sur sol nu (contrainte législative), ou lorsque l'on veut une meilleure valorisation de l'azote.

A La Réunion, sur les parcelles cultivées en canne à sucre, l'enfouissement des matières organiques pourrait être réalisé avec deux types d'appareils :

– la rotobèche, qui est une rampe munie d'une série de bèches, accrochée au

tracteur. L'écartement des bèches peut être adapté à l'écartement des rangs de canne à sucre ;

– la déchaumeuse inter-rang, qui travaille également entre les rangs de canne à sucre. Elle mélange les chaumes à la terre après la récolte de la canne et pourrait être utilisée dans l'enfouissement de matières organiques.



Type de pulvérisateur semi lourd (cover-crop) utilisé en général à La Réunion pour enfouir la matière organique. © P.-F. Chablier



Utilisation de la rotobèche pour enfouir de la matière organique dans une culture de canne à sucre. © V. van de Kerchove

Matériel de compostage

Trois types de matériel permettent de retourner des tas mis à composter : la fourche du tracteur, l'épandeur classique utilisé en poste fixe (avec l'aide d'une fourche) et le retourneur d'andain.

Le retournement avec la fourche du tracteur et l'épandeur classique utilisé en poste fixe est contraignant, revient cher et convient à des petits tas pour des exploitations individuelles. La performance est de 10 à 15 t/h. Avec de gros équipements, la performance peut atteindre 90 à 100 t/h.

L'emploi d'un retourneur d'andain réduit le temps consacré au retournement et effectue

un travail de qualité. La moyenne des performances est de 500 t/h. Ce matériel est destiné à traiter des quantités importantes réparties sur des andains assez longs (largeur de 3 à 4 m et hauteur de 1,8 m environ). L'utilisation d'un retourneur d'andain pour le compostage de fumier permet de réduire de 50 % le volume initial de la matière organique. Le compost, à cause de son homogénéité et sa granulométrie plus fine, permet une meilleure qualité d'épandage.

Ce type d'investissement est réalisable par une CUMA ou une entreprise de compostage, mais plus difficilement pour une petite exploitation d'élevage, vu le coût de ce matériel.



Retourneur d'andains. © V. van de Kerchove



Ce qu'il faut retenir du chapitre 9



- ✓ Il existe une grande gamme de matériel d'épandage fabriqués par plusieurs constructeurs. En premier lieu, l'épandeur doit correspondre au type de matière organique que l'on veut utiliser : liquide, pâteux ou solide.
- ✓ A chaque type de matière organique, correspond un type de matériel qui donne un résultat satisfaisant quant à la qualité de l'épandage réalisé : largeur, dose, répartition.
- ✓ Il est conseillé de se munir, en plus du dispositif d'épandage, d'un appareil permettant d'enfouir cette matière organique dans le sol après l'épandage, de façon à limiter les odeurs et permettre une bonne valorisation de la matière organique apportée.
- ✓ Le prix d'achat va bien sûr conditionner le choix de l'agriculteur, mais plusieurs agriculteurs peuvent se grouper pour l'acquisition de tels matériels.

Fiches techniques



Marâchage à Piton Hyacinthe.
© V. van de Kerchove

Calcul de la fertilisation organique	147
Cultures	157
Prélèvements sur le terrain	191
Matières organiques	199

Calcul de la fertilisation organique



Pesée d'une tonne à lisier en vue d'un épandage précis.
© H. Saint Macary

Principe du calcul de la fertilisation organique des cultures	148
Mode de calcul pour satisfaire les besoins de la culture en un élément (N ou P ou K)	149
Cahiers de fertilisation par parcelle	151
Exemple 1 : épandage d'un lisier dont l'apport est limité par le matériel	154
Exemple 2 : ajustement d'une fertilisation sur la canne	155
Exemple 3 : apport de fientes séchées de poule pondeuse sur canne à sucre	156

Principe du calcul de la fertilisation organique des cultures

La fertilisation organique doit être intégrée au raisonnement général de la fertilisation (organique et minérale). Le but est d'apporter à chaque culture une fertilisation suffisante pour sa nutrition, en adaptant la période d'épandage à ses besoins et en évitant tout excès (la bonne dose au bon moment).

Principe de base

Les besoins nutritifs de la culture sont satisfaits par l'apport d'un ou plusieurs éléments calculé en deux temps :

- dans un premier temps, des apports organiques plus ou moins riches en N-P-K, dont les doses épandues résultent d'un compromis entre les contraintes techniques d'épandage et les contraintes environnementales. Il faut tenir compte de la partie efficace des éléments (N-P-K) apportés, c'est-à-dire directement assimilable par la culture. Cela permet de calculer les compléments minéraux ;
- dans un second temps, des engrais minéraux de complément pour atteindre les besoins calculés en fonction des objectifs de rendement de la culture.

Démarche

Les instituts techniques (Chambre d'agriculture, Institut de l'élevage, ITCF, CTIFL, CIRAD...) fournissent des préconisations de fertilisation par type de culture. Ce sont ces conseils que nous utilisons pour définir les besoins de la culture, en fonction des objectifs de rendement. Nous utiliserons donc une démarche très simplifiée par rapport à la démarche complète telle que la présente le COMIFER (Comité français d'étude et de développement de la fertilisation raisonnée, [voir les publications sur le site < http://www.comifer.asso.fr/ >](http://www.comifer.asso.fr/)).

A partir des besoins de la culture en chacun des trois éléments (N, P, K), il faut choisir :

- soit une dose de fertilisant organique apportant un compromis acceptable qui comble les besoins en N-P-K de la culture, sachant qu'il peut y avoir un léger excès ou déficience en un des éléments apportés ;
- soit une dose axée sur l'apport complet d'un ou deux éléments par la matière organique qui est riche en ces éléments. Cette fertilisation sera alors complétée par un apport minéral pour le ou les éléments apportés en quantité insuffisante. Cette deuxième possibilité est la plus fréquente. Il est en effet rare de disposer d'une matière organique couvrant entièrement les besoins d'une culture. C'est donc ce cas qui servira de base aux exemples qui suivent.

Utilisation de l'équation du bilan de masse simplifié des éléments minéraux

En fertilisation, des données comme les reliquats, la minéralisation par le sol et les pertes, si on dispose d'une bonne connaissance agronomique de la parcelle, peuvent être intégrées pour faire le calcul avec l'équation du bilan de masse prévisionnel complet (COMIFER, 1996).

$$\begin{array}{c}
 \text{Besoins de la culture} = \\
 \text{[toutes les fournitures (sol, reliquats d'engrais, engrais minéraux N-P-K apportés, restitutions,} \\
 \text{équivalent N-P-K apporté par la matière organique)]} \\
 - \\
 \text{[ensemble de pertes]}
 \end{array}$$

Mode de calcul pour satisfaire les besoins de la culture en un élément (N ou P ou K)

(↳ Se reporter aussi aux trois exemples d'application, en fin de fiche)

La démarche comporte 5 étapes

1. Calculer la dose totale Q_E (kg/ha) d'un élément fertilisant « E » (N ou P_2O_5 ou $K_2O...$) qui devra être fournie à la culture pour satisfaire ses besoins.
2. Rechercher q_E (kg/ha) la fraction maximale de cette dose pouvant provenir de l'apport de la matière organique considérée : q_E est la quantité « efficace » de l'élément fertilisant (directement disponible pour la plante).
3. Calculer q_{MO} , la quantité ayant le même effet qu'un engrais minéral de matière brute de cette matière organique à apporter :

$$q_{MO} \text{ (t/ha ou m}^3\text{/ha)} = \frac{q_E \text{ (kg/ha)}}{\text{coefficient équivalent-engrais (\%)} \times \text{teneur de l'élément E de la matière considérée (kg/t ou kg/m}^3\text{)}}$$

4. Vérifier la compatibilité de cette dose q_{MO} (t/ha ou m^3/ha) à épandre avec les limites imposées par le matériel et les contraintes réglementaires et environnementales.
5. Calculer la dose de la fumure minérale complémentaire, afin de satisfaire l'ensemble des besoins nutritifs (N, P, K) de la culture.

Etape 1 - Déterminer la quantité d'éléments fertilisants à fournir à la culture

La méthode employée pour le raisonnement de la fertilisation est celle du bilan prévisionnel. Elle permet de calculer la quantité d'engrais qu'il convient d'apporter pour satisfaire les besoins de la culture, en fonction des rendements visés.

Par exemple, dans le cas de l'azote, les guides de fertilisation mentionnent, pour chaque culture, un apport d'azote qui tient compte à la fois des besoins de la plante, de la fourniture par le sol et de l'utilisation réelle par la plante de l'apport d'engrais minéral (coefficient d'utilisation réel). Ces doses sont établies expérimentalement par des courbes de réponse à l'azote par grand type de milieu, ou par d'autres méthodes plus complexes. Pour les grandes cultures, elles sont fournies en fonction d'objectifs de rendement.

A La Réunion, les fiches de la Chambre d'agriculture (SUAD) fournissent ces renseignements. Pour la canne à sucre, des préconisations sont établies selon le rendement visé qui dépend de la variété et du système de culture.

Etape 2 - Choisir la fraction maximale de cette dose pouvant provenir de la matière organique considérée

Dans certains cas, la totalité de l'élément (N, P ou K) apporté à la culture pourra venir d'une ou deux matières organiques.

Dans d'autres cas, les besoins ne peuvent être totalement assurés par la minéralisation de la matière organique exogène apportée. Des compléments d'engrais minéraux sont nécessaires.

C'est donc le type de matière organique disponible qui oriente la décision.

Par exemple, des besoins précoces en azote par une culture ne peuvent être comblés par des produits organiques compostés qui mettent plusieurs mois à se minéraliser.

Etape 3 - Calculer la quantité de cette matière organique ayant le même effet qu'un engrais minéral

Ce calcul nécessite l'utilisation du coefficient équivalent-engrais de la matière organique pour l'élément considéré. Ce calcul est particulièrement intéressant pour les engrais organiques très riches en un élément, par exemple en azote (fiente de poule), et pour des produits plus dilués (lisiers) dans lesquels l'azote est disponible très rapidement.

Dans ce guide, les coefficients équivalent-engrais sont fournis :

- pour plusieurs types standard de matières organiques au [chapitre 5 - Les matières organiques produits à La Réunion](#), et dans les [fiches Matières organiques](#) ;
- par culture et selon les dates d'épandage, pour quelques matières organiques dans les [fiches Cultures](#).

Exemple de calculs avec le coefficient équivalent-engrais azoté (CE-N)

Combien d'unités fertilisantes « efficaces » N (q_N) ai-je apporté lors de l'épandage d'une certaine quantité (q_{MO}) de matière organique brute ?

L'application d'une matière organique contenant 1 kg N total et dont le coefficient équivalent-engrais est 70 % équivaut à un apport de 0,7 kg d'engrais azoté type ammonitrate.

$$q_N \text{ (kg/ha)} = q_{MO} \text{ (t/ha)} \times \text{teneur N total (kg/t)} \times \text{CE-N (\%)}$$

Quelle quantité de matière organique brute q_{MO} dois je épandre pour apporter une certaine dose q_N d'élément fertilisant N ?

$$q_{MO} \text{ (t/ha)} = \frac{q_N \text{ (kg/ha)}}{\text{CE-N (\%)} \times \text{teneur en N de la MO (kg/t)}}$$

Etape 4 - Vérifier la compatibilité de cet épandage avec certaines limites imposées

Il existe des contraintes de matériel d'épandage, par exemple les doses d'apport, qui sont plus ou moins fixées selon le type de matériel (➔ [chapitre 9 - Le matériel d'épandage et d'enfouissement](#)). Selon les catégories de matière organique, la situation des parcelles et le statut des élevages, les apports peuvent être limités (➔ [chapitre 7 - Réglementation sur l'identification des matières organiques](#) et [chapitre 8 - Réglementation sur les épandages en agriculture](#)).

Etape 5 - Apporter la dose d'engrais minéral complémentaire

Une fois la dose de matière organique calculée, on peut calculer la quantité apportée en chacun des éléments fertilisants. Il ne reste alors plus qu'à apporter un engrais minéral complétant les apports de la matière organique.

Cahiers de fertilisation par parcelle

Ces cahiers sont une aide à la gestion des matières organiques et des fertilisations, particulièrement en azote. Ils permettent d'établir le plan de fumure prévisionnel, notamment pour l'azote qui est réglementé dans le cadre des directives nitrates. D'après les directives nitrates, lorsqu'elles s'appliquent, ces cahiers sont obligatoires sur chaque exploitation et doivent être conservés 5 ans.

Un exemple de cahier utilisé en Bretagne est donné sous la forme de résumé de tableaux à créer (**cas de N : tableaux 1, 2, 3, 4**). Les enregistrements des apports de fertilisants sur une parcelle se font de la manière suivante :

- quantités de matières organiques disponibles sur l'exploitation ;
- prévision d'utilisation des fertilisants sur les cultures de l'exploitation ;
- enregistrement des apports de fertilisants sur les parcelles de l'année ;
- récapitulatif des apports réels de l'année sur l'exploitation.



Essai d'application de matières organiques sur salade. © V. van de Kerchove

Tableau 1.

Nature et quantité de fertilisants organiques disponibles sur l'exploitation.

Origine	Nature	Produit sur l'exploitation (t ou m ³)	Sortant vers un tiers (t ou m ³)	Entrant sur l'exploitation (t ou m ³)	Quantité à épandre sur l'exploitation		
					t ou m ³	Teneur en N (%)	Quantité N (kg/t ou kg/m ³)
Bovin	Fumier						
	Lisier						
	...						
Porc	Lisier						
	...						
...							
Autre	Boue d'épuration						
	...						

Tableau 2.

Prévisionnel : dose N nécessaire et projet de fertilisation organique et minérale par parcelle et pour l'année.

Parcelle	Surface (ha)	Culture prévue	Rendement prévu	Dose N à apporter (kg/ha)	Fumure organique prévue					Complément minéral N à prévoir
					N (kg/t)	Quantité matière brute (t ou m ³)	N total apporté (kg/ha)	CE-N	N efficace (kg/ha)	N (kg/ha)
1										
2										
3										
...										

Total des surfaces des parcelles (ha) :

Total des fertilisants organiques (t) :

Tableau 3.

Réalisé : enregistrement des apports de fertilisants par parcelle dans l'année.

Culture et surface par parcelle (ha)	Fertilisants organiques épandus						Engrais minéraux azotés épandus	Total N épandu (kg) Et par ha (kg/ha)	Rendement moyen obtenu
	Date	Surface (ha)	Modalité d'apport et délai d'enfouissement	Type de matière organique et teneur en N total (kg)	Quantité matière brute (t ou m ³)	N total (kg)			
1 : ...									
2 : ...									
3 : ...									
4 : ...									
...									

Total fertilisants organiques (t ou m³) :

N organique (kg/ha) :

Total N engrais (kg/ha) :

Tableau 4.

Récapitulatif des apports de fertilisants azotés sur l'exploitation dans l'année.

Type de Culture par parcelle	Surface	Quantité de fertilisant organique (m ³ ou t), par type				Quantité d'azote total apporté (kg N)			
		Fumier de ...	Lisier de ...	Boue d'épuration	...	Origine organique	Origine minérale	Cumul	Moyenne (kg/ha)
1 : ...									
2 : ...									
3 : ...									
...									
Total de l'exploitation									

Exemple 1 : épandage d'un lisier dont l'apport est limité par le matériel

L'agriculteur est souvent confronté à des contraintes matérielles. Par exemple, l'épandeur est pré-réglé pour un type de matière organique. Selon la qualité des matières à épandre, il calcule les apports de N-P-K réalisés. En fonction des besoins de sa culture, il lui faudra calculer les apports complémentaires à réaliser sous forme d'engrais minéral.

1. Choix de la dose de lisier

La dose d'apport au champ est imposée par le type d'épandeur. Par exemple, une cuve équipée d'une buse est réglée pour apporter 30 m³/ha de lisier.

2. Calcul du nombre d'unités équivalentes en N, P, et K fournies par la dose de lisier de l'étape 1

Composition du lisier et coefficients équivalent-engrais

$$4 \text{ kg/m}^3 \text{ N} - 4 \text{ kg/m}^3 \text{ P}_2\text{O}_5 - 3 \text{ kg/m}^3 \text{ K}_2\text{O}$$

Lisier épandu sur fourrages, en mai, par temps frais et sans vent :

$$\text{CE-N} = 0,6 ; \text{CE-P}_2\text{O}_5 = 0,85 ; \text{CE-K}_2\text{O} = 1 \quad (\rightarrow \text{fiche Cultures fourragères}) ;$$

Unités équivalentes apportées N

$$\text{N efficace (directement disponible pour les plantes)} = \text{volume de lisier (m}^3\text{)} \times \text{teneur N (kg/m}^3\text{)} \times \text{CE-N}$$

soit

$$30 \text{ m}^3 \times 4 \text{ kg/m}^3 \times 0,6 = 72 \text{ kg N}$$

Unités équivalentes apportées P₂O₅

$$\text{P}_2\text{O}_5 \text{ efficace} = \text{volume de lisier (m}^3\text{)} \times \text{teneur P}_2\text{O}_5 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times \text{CE-P}_2\text{O}_5$$

soit

$$30 \text{ m}^3 \times 4 \text{ kg/m}^3 \times 0,85 = 102 \text{ kg P}_2\text{O}_5$$

Unités équivalentes apportées K₂O

$$\text{K}_2\text{O efficace} = \text{volume de lisier (m}^3\text{)} \times \text{teneur K}_2\text{O (kg/m}^3\text{)} \times \text{CE-K}_2\text{O}$$

soit

$$30 \text{ m}^3 \times 3 \text{ kg/m}^3 \times 1 = 90 \text{ kg K}_2\text{O}$$

Apports fertilisants du lisier et compléments en engrais minéraux

Les 30 m³ de lisier apportent la fertilisation « efficace » (directement disponible pour la culture) suivante : 72 N - 102 P₂O₅ - 90 K₂O soit 264 unités fertilisantes N-P-K. Cette somme d'unités fertilisantes est équivalent aux unités contenus dans 500 kilos d'engrais complet de formule NPK 15-20-18.

L'agriculteur doit alors calculer les compléments minéraux à apporter en fonction des besoins de sa culture (voir exemple 2 qui suit).

Exemple 2 : ajustement d'une fertilisation sur la canne

Le même agriculteur dispose de parcelles de canne à sucre et utilise le même matériel pour y épandre le même lisier.

Le rendement commercial visé est 80 à 100 t/ha de canne à sucre. La récolte est en coupe manuelle et chargement mécanique. Le conseil du CIRAD donné sur le bulletin d'analyse du sol de la parcelle correspond à une fertilisation normale : 120 N - 70 P₂O₅ - 200 K₂O (→ fiche *Canne à sucre*).

Les apports du lisier sur la canne doivent être recalculés avec les coefficients équivalent-engrais adéquats. L'épandage ayant été fait en octobre sur un mulch, on prendra :
CE-N = 0,3 ; CE-P₂O₅ = 0,85 ; CE-K₂O = 1 (→ fiche *Canne à sucre*).

Unités équivalentes apportées N

N efficace (directement disponible pour les plantes) =
volume de lisier (m³) × teneur N (kg/m³) × CE-N

soit

$$30 \text{ m}^3 \times 4 \text{ kg/m}^3 \times 0,3 = 36 \text{ kg N}$$

Unités équivalentes apportées P₂O₅

P₂O₅ efficace = volume de lisier (m³) × teneur P₂O₅ (kg/m³) × CE-P₂O₅

soit

$$30 \text{ m}^3 \times 4 \text{ kg/m}^3 \times 0,85 = 102 \text{ kg P}_2\text{O}_5$$

Unités équivalentes apportées K₂O

K₂O efficace = volume de lisier (m³) × teneur K₂O (kg/m³) × CE-K₂O

soit

$$30 \text{ m}^3 \times 3 \text{ kg/m}^3 \times 1 = 90 \text{ kg K}_2\text{O}$$

Apports fertilisants du lisier et compléments en engrais minéraux

Les 30 m³ de lisier apportent sur la canne à sucre 36 N - 102 P₂O₅ - 90 K₂O.

Complément minéral à apporter = [besoin de la culture – fertilisation organique], soit :

N : 120 – 36 = + 84 N à apporter par un engrais minéral

P₂O₅ : 70 – 102 = – 32 P₂O₅ (la fertilisation organique apporte un léger excédent de 32 kg/ha de P₂O₅)

K₂O : 200 – 90 = + 110 K₂O à apporter par un engrais minéral.

Conclusion : il faut compléter en N et K, sachant qu'il existe un petit excédent sur P₂O₅ de 32 unités. L'apport d'un mélange de 185 kg/ha d'urée + 200 kg/ha de KCl convient parfaitement.

Exemple 3 : apport de fientes séchées de poule pondeuse sur canne à sucre

Dans cet exemple, le matériel de type épandeur d'engrais détermine la dose de fientes séchées apportée : 6 t/ha.

La fiente est issue de l'élevage de l'agriculteur.

Composition : 33 kg/t N ; 25 kg/t P₂O₅ ; 19 kg/t K₂O ; 60 kg/t CaO.

CE-N = 0,65 ; CE-P₂O₅ = 0,65 ; CE- K₂O = 1 ; CE-CAO = 1.

Les conseils en fertilisation de la canne, compte tenu de l'analyse de sol et du rendement commercial visé (100 t/ha), sont : 120 N - 70 P₂O₅ - 200 K₂O.

Unités équivalentes apportées N

N efficace (directement disponible pour les plantes) =
quantité de fientes épandues (t) × teneur N (kg/t) × CE-N

soit

$$6 \text{ t} \times 33 \text{ kg/t} \times 0,65 = 128,7 \text{ kg N}$$

Unités équivalentes apportées P₂O₅

P₂O₅ efficace = quantité de fientes épandues (t) × teneur P₂O₅ (kg/t) × CE-P₂O₅

soit

$$6 \text{ t} \times 25 \text{ kg/t} \times 0,65 = 97,5 \text{ kg P}_2\text{O}_5$$

Unités équivalentes apportées K₂O

K₂O efficace = quantité de fientes épandues (t) × teneur K₂O (kg/t) × CE- K₂O

$$6 \text{ t} \times 19 \text{ kg/t} \times 1 = 114 \text{ kg K}_2\text{O}$$

Unités équivalentes apportées CaO

$$6 \text{ t} \times 60 \text{ kg/t} \times 1 = 360 \text{ kg CaO}$$

Apports fertilisants des fientes séchées et compléments en engrais minéraux

Les 6 t de fientes apportent sur la canne à sucre 128 N - 97 P₂O₅ - 114 K₂O, soit 399 unités fertilisantes. Cette somme est l'équivalent d'un apport de 700 kilos d'engrais complet de formule NPK proche de 18-14-16. On apporte également l'équivalent de 360 kg/ha de chaux, ce qui est intéressant pour la maintien du pH du sol.

Complément minéral à apporter = [besoin de la culture – fertilisation organique], soit :

N : 120 – 128 = – 8 N (la fertilisation organique apporte un léger excédent de 8 kg/ha N)

P₂O₅ : 70 – 97 = – 27 P₂O₅ (la fertilisation organique apporte un léger excédent de 27 kg/ha P₂O₅)

K₂O : 200 – 114 = + 86 K₂O de déficit à combler par un apport d'engrais minéral de type KCl.

Conclusion : il faut compléter en K, l'apport de 130 kg/ha de KCl complète bien la fertilisation organique. Il existe un petit excédent en N et P₂O₅. L'apport a un effet chaulant sur le sol.

Cultures



Replantation de la canne.
© CEDUS - F.L. Athenas

Canne à sucre	158
Cultures fruitières et espaces verts	170
Cultures maraîchères	177
Cultures fourragères	183

Canne à sucre



Coupe manuelle de la canne. © V. van de Kerchove

Culture, cycle, rendements commerciaux

A La Réunion, la surface cultivée en canne est de l'ordre de 26 000 hectares, pour un rendement commercial moyen de 75 t/ha.

La canne à sucre est une culture pluriannuelle qui se récolte chaque année (**tableau 1**). A La Réunion, la culture reste en moyenne en place 10 ans, alors que les instituts techniques préconisent une replantation tous les 5 ou 6 ans.

Plusieurs itinéraires techniques existent. Le travail du sol et l'enfouissement de matières organiques sont généralement réalisés avant la plantation. Entre chaque coupe, il est rare de réaliser des travaux du sol (sarclage mécanique, buttage, décompaction...). Les résidus de coupe (feuilles et sommités) restent sur le sol en mulch et les épandages de matières organiques se limitent aux matières liquides (lisiers) effectués sur ces résidus après la coupe.

Tableau 1.

Cycles culturaux de la canne à sucre et rendements commerciaux à La Réunion.

Conditions de culture	Rendement commercial (t/ha) (équivalent matière sèche, t MS/ha)
12 mois entre chaque coupe, en conditions sèches de l'Ouest	50-70 t/ha (40 t MS/ha)
12 à 18 mois entre chaque coupe, dans les hauts	
12 mois entre chaque coupe, bonnes conditions de culture (pluviales de l'Est et irriguées de l'Ouest)	100 à 120 t/ha (50 t MS/ha)
Cannes vierges, 14 à 18 mois avant la première coupe	100 à 160 t/ha (50 à 70 t MS/ha)
12 mois entre chaque coupe, en très bonnes conditions de culture (pour approcher le potentiel de rendement) : irrigation en goutte à goutte et fertirrigation	160 à 200 t/ha (> 70 t MS/ha)

Besoins en éléments nutritifs

Estimation des besoins

La canne a des besoins élevés en éléments minéraux parce que la quantité de végétation aérienne est élevée, de l'ordre de 40 à 70 t MS/ha en 12 mois (➔ se reporter aux **tableaux 3, 4, 5** du paragraphe *Fertilisation recommandée en N P K en coupe classique*).

Pour un rendement commercial de 80 à 100 t/ha, les besoins de la culture sont de 220 N – 65 P₂O₅ – 800 K₂O. Attention ! Les besoins (mobilisations maximales de la culture) sont différents de la fertilisation conseillée (qui tient compte du rendement et de la fertilité du sol).

L'azote détermine le niveau de rendement si les conditions d'alimentation en eau sont suffisantes. La phase intense d'absorption en N se situe entre 3 et 6 mois après la coupe, à raison de 4 à 6 kg N/ha/jour.

L'azote issu de la fertilisation minérale et organique doit être rapidement disponible : les apports en N soluble (engrais minéral ou lisier) sont efficaces. Les matières organiques solides (fumier, composts) doivent être épandues précocement (après la coupe ou à la plantation) car elles libèrent l'azote progressivement, pendant plusieurs mois ; leur fourniture en N est faible et un complément minéral est nécessaire.

Outils de diagnostic

Analyses de sol

L'analyse agronomique de sol permet d'orienter la fertilisation en tenant compte de la fertilité chimique du sol. Les analyses de sol effectuées avant replantation sont subventionnées dans le cadre de l'amélioration foncière des exploitations.

Le laboratoire d'agronomie du CIRAD, chargé d'effectuer les analyses de sol aux replantations, fournit le conseil en fertilisation. La fertilisation raisonnée en N, P, K est donnée pour un rendement commercial moyen de 80-100 t/ha. Si le sol est carencé en P et en K ou s'il est acide (pH bas), des doses de correction en P, K et en amendement calcique sont proposées. Les apports de matière organique sont conseillés pour des sols très pauvres en humus. Pour un taux en matière organique un peu bas, le conseil propose simplement de renforcer la fertilisation azotée.

Diagnostic foliaire (DF)

Le diagnostic foliaire permet de contrôler la nutrition de la canne pendant sa croissance : on prélève un échantillon des feuilles n° 3, n° 4, n° 5, vers 5 mois après la coupe et on analyse les teneurs en N, P, K, Ca, Mg (en %). A La Réunion, le laboratoire du CIRAD est habilité à faire ces analyses.

Le diagnostic foliaire est effectué dans des champs où des accidents de croissance sont observés et dans les essais agronomiques. En utilisant les analyses de référence de la variété R570, il est possible de calculer un indice qui donne plus de souplesse pour la date de prélèvement des feuilles (5 à 7 mois) et qui permet de hiérarchiser les carences (c'est l'indice de nutrition DRIS, Diagnosis and Recommendation Integrated System).

La fertilisation peut alors être corrigée en fonction des carences et des déséquilibres observés pendant la phase de croissance rapide de la canne. Ces corrections sont généralement appliquées à la repousse suivante. Mais elles peuvent être appliquées sur la canne en place si le diagnostic a été précoce (avant 5 mois). Si la canne est en goutte à goutte, la fertirrigation permet des apports de correction en cours de culture.

Une méthode de DF en test

Une nouvelle méthode de diagnostic de la nutrition azotée est actuellement à l'étude au CIRAD. Elle consiste à mesurer la couleur des feuilles avec un appareil à lecture directe utilisable sur le terrain (mesure de la couleur qui dépend de la teneur en chlorophylle). Le but est double : diagnostiquer de façon précoce les carences en N et évaluer la production future des parcelles. Les essais de calage ont débuté en 2002 et devraient s'achever en 2006.

Restitutions au sol : résidus de coupe et mulch

Plus les rendements commerciaux sont élevés, plus les restitutions sont élevées. Les pailles laissées au sol après la récolte sont une source d'humus et d'éléments minéraux. Les pailles restituent bien K, P, Ca, Mg. Mais elles n'apportent que 10 à 20 % de l'azote total contenu à l'origine dans les tiges et feuilles, à cause des pertes lors de leur décomposition à la surface du sol. La quantité et la qualité des restitutions au sol dépendent des techniques de récolte et de ramassage (**tableau 2**).

Tableau 2.

Quantité et qualité des résidus après la coupe pour un rendement commercial de 100 t/ha de canne. Données moyennes, en matière sèche (t/ha) et en éléments fertilisants (kg/ha) pour 3 modes de coupe et pour 2 variétés de canne à sucre.

Type de coupe	Variété	MS* (t/ha)	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	CaO (kg/ha)	MgO (kg/ha)
Mécanique tronçonnée	R570	17,8	99,1	30,6	168,7	73,6	48,2
	R579	13,2	80,0	24,0	125,2	62,1	35,9
Mécanique entière	R570	7,4	49,3	15,6	86,3	27,0	23,8
	R579	9,1	60,4	20,6	74,4	30,3	23,5
Manuelle dépaillée	R570	11,0	74,7	19,8	178,6	44,9	27,8
	R579	11,5	82,2	21,3	147,3	38,8	36,8

* : Matière sèche

Les restitutions au sol peuvent être faibles si les cannes livrées à l'usine sont sales, c'est-à-dire mal épaillées (feuilles mortes et sommités dans les tas ramassés).

Actuellement, sur certaines parcelles entièrement mécanisées, les pailles sont mises en balles pour l'alimentation du bétail.

Le brûlage des pailles est interdit avant la récolte. S'il y a incendie, les restitutions sont partielles : azote et soufre sont volatilisés et une partie des éléments minéraux s'envole avec les charbons de canne hors de la parcelle.

Après la coupe, les résidus de paille forment un mulch de surface plus ou moins épais. Dans les terres des bas de La Réunion, ce mulch limite l'échauffement et le dessèchement du sol ainsi que le développement des mauvaises herbes. Dans les sols des hauts, il empêche le réchauffement du sol et retarde la levée des jeunes pousses.

Dans l'Ouest, en culture irriguée au goutte à goutte, les rendements sont élevés et le mulch est épais. Il reste sec et s'accumule au fil des coupes. Les jeunes pousses ont des difficultés à lever et l'agriculteur est obligé d'enlever la paille régulièrement.

Le mulch de résidus est toujours bénéfique à l'activité biologique du sol. Il disparaît plus ou moins vite par un processus de compostage de surface. La paille est ingérée par des insectes et sert de substrat à des pourritures et à des bactéries. Lors de ces transformations, une grande partie du carbone est perdue par respiration sous forme de CO₂. La matière organique issue de ces transformations est une matière évoluée de type compost à C/N faible qui recouvre la surface du sol, et qui contribue au maintien du stock organique du sol.

Les pailles de la dernière coupe peuvent être enfouies au moment du travail du sol. Leur transformation biologique vers des formes stables de matière organique (humus à C/N faible) demande une source supplémentaire d'azote, qui est en général fourni par les minéralisations induites par le travail du sol.

Fertilisation recommandée en N, P, K, en coupe classique

L'analyse de sol faite avant la plantation par le laboratoire du CIRAD donne à l'agriculteur le plan de fumure. Il couvre tout le cycle, depuis la replantation jusqu'aux repousses. La fertilisation de la canne vierge peut inclure des renforcements et des corrections de sol en P, Ca, Mg, par chaulage du sol. Il reste à l'agriculteur le soin de calculer les apports de matières organiques.

Pertes et absorption des éléments N, P, K

Les doses de fertilisants à apporter à la culture sont estimées par calcul en fonction des niveaux de rendement ou à partir d'essais au champ du type courbe de réponse (parcelles en conditions contrôlées, où l'on apporte les éléments fertilisants à des doses progressives, comparées à une parcelle témoin qui ne reçoit aucune fertilisation).

Dans le calcul de la fertilisation, les pertes en éléments nutritifs sont toujours difficiles à estimer. Les pertes en azote par lixiviation sont très limitées pour les doses préconisées. Des pertes par volatilisation sont possibles à l'application d'azote ammoniacal, surtout avec de l'urée pure ou du lisier apporté sur les résidus pailleux.

Le phosphore, une fois libéré de sa forme initiale, est bloqué au niveau du sol. La plante n'absorbe pas directement le phosphore de l'engrais minéral : P passe par un cycle complexe de fixation sur la matière organique, d'où l'intérêt des apports organiques pour maintenir un bon niveau de P assimilable dans le sol.

Le potassium est très mobile et il est libéré rapidement de son support minéral ou organique. Il se fixe bien sur le complexe argilo-humique avant d'être absorbé par la plante, au fur et à mesure des besoins.

Doses à appliquer

Dose de fertilisants (fertilisation organique + minérale) à apporter =
besoins de la canne + pertes – [apports par le sol + restitutions par les pailles]

Les doses à appliquer sont estimées en fonction des rendements prévisionnels et des techniques de récolte, qui influent beaucoup sur la quantité de restitutions. Des exemples de conseils

donnés par le laboratoire agronomique du CIRAD sont présentés dans les **tableaux 3, 4, 5**. En pratique, la fertilisation des repousses peut évoluer selon les années, en fonction des rendements ou de l'observation de déséquilibres nutritionnels qui peuvent apparaître avec l'âge des repousses.

Tableau 3.

Besoins et fertilisation en azote (N) en fonction des rendements commerciaux. Restitutions complètes des pailles (feuilles et sommets laissés au champ). Rendement commercial en tiges à 32 % de matière sèche.

Rendement commercial (t/ha)	60	80	100	120	140	160	180
Matière sèche aérienne totale (t/ha)	37	45	54	63	71	80	90
Besoins N totaux (kg/ha)	173	198	221	242	264	284	303
Conseil actuel en fertilisation (N, kg/ha), dose proportionnelle aux classes de rendement	72	96	120	144	168	192	216
Conseil à l'étude*	94	107	120	132	143	154	164

* Conseil à l'étude : nouvelle méthode testée par le CIRAD, basée sur une dose d'apport moins que proportionnelle au rendement. Ce calcul prend en compte la dilution de l'azote dans la matière sèche produite (dose corrigée, calculée pour un apport en N de 120 kg/ha pour un rendement commercial espéré de 100 t/ha).

Tableau 4.

Besoins et fertilisation en phosphore (P_2O_5) en fonction des rendements commerciaux. Restitutions complètes des pailles (feuilles et sommets laissés au champ). Rendement commercial en tiges à 32 % de matière sèche.

Rendement commercial (t/ha)	60	80	100	120	140	160	180
Matière sèche aérienne totale (t/ha)	37	45	54	63	71	80	90
Besoins P_2O_5 totaux (kg/ha)	47	55	64	72	80	86	94
Conseil actuel en fertilisation (P_2O_5 , kg/ha), dose proportionnelle aux classes de rendement	42	56	72	84	98	112	126
Conseil à l'étude*	57	64	70	75	79	83	86

* Conseil à l'étude : nouvelle méthode testée par le CIRAD, basée sur une dose d'apport moins que proportionnelle au rendement. Ce calcul prend en compte la dilution du phosphore dans la matière sèche produite (dose corrigée, calculée pour un apport en P_2O_5 de 70 kg/ha pour un rendement commercial espéré de 100 t/ha).

Tableau 5.

Besoins et fertilisation en potassium (K_2O) en fonction des rendements commerciaux. Restitutions complètes des pailles (feuilles et sommités laissées au champ). Rendement commercial en tiges à 32 % de matière sèche.

Rendement commercial (t/ha)	60	80	100	120	140	160	180
Matière sèche aérienne totale (t/ha)	37	45	54	63	71	80	90
Besoins K_2O totaux (kg/ha)	662	749	829	904	974	1 040	1 105
Conseil actuel en fertilisation (K_2O , kg/ha), dose proportionnelle aux classes de rendement	120	160	200	240	280	320	360
Conseil à l'étude*	150	177	200	220	238	255	270

* Conseil à l'étude : nouvelle méthode testée par le CIRAD, basée sur une dose d'apport moins que proportionnelle au rendement. Ce calcul prend en compte la dilution du potassium dans la matière sèche produite (dose corrigée, calculée sur la base d'un apport en K_2O de 200 kg/ha pour un rendement commercial espéré de 100 t/ha).

Rappel sur l'apport des engrais minéraux

Tous les engrais doivent être apportés rapidement après la coupe de la canne. Les apports sont décidés en fonction des zones de culture et des techniques d'irrigation.

Pour N, l'efficacité est meilleure lorsque la canne couvre bien le sol, quand la repousse a environ 3 mois. La canne a des racines bien développées, capables d'intercepter l'eau et les éléments minéraux solubles apportés. Le fractionnement n'est en général pas nécessaire pour un rendement commercial moyen (80 à 100 t/ha).

Le fractionnement est conseillé dans les cas suivants :

- si l'exploitant dispose de l'irrigation au goutte à goutte ou s'il a un tracteur enjambeur, faire un premier apport entre septembre et décembre selon la date de coupe, et un second en février-mars selon les conditions climatiques ;
- sur les cannes vierges et les cannes en cycle long (16-18 mois), ainsi que pour des rendements très élevés, le fractionnement des apports N procure une meilleure efficacité de l'azote apporté (moins de pertes).

Attention : pour les cannes vierges, l'installation des racines et le départ de la pousse des tiges sont décalés de 3 mois par rapport aux repousses. Selon les conditions climatiques, les risques de lixiviation de l'azote apporté en début de cycle sont donc plus élevés.

Epannage de matières organiques

Choix des matières organiques

Les matières solides sont apportées à la plantation, en tant qu'amendement. Ce sont en général des fumiers ou des composts mélangés au sol par un labour ou localisés dans les sillons. Ils permettent de reconstituer les propriétés physiques et le stock organique du sol.

Les matières liquides, type lisiers, ou pâteuses, comme les fientes, sont plutôt apportées sur les repousses pour des raisons de matériel et de facilité d'épandage. Elles ont surtout un rôle de fertilisant minéral pour la culture en place.

Les boues de station d'épuration sont liquides, solides ou pâteuses. En fonction de leur consistance, l'épandage se fait avant la plantation ou sur les repousses. Attention : l'épandage des boues est strictement réglementé (➔ chapitre 8 - *Réglementation sur les épandages en agriculture*).

Les critères de choix des matières sont (➔ chapitre 5 - *Les matières organiques produites à La Réunion*) :

- le coût de la matière (dont le coût du transport jusqu'à la parcelle, le travail de manipulation) ;
- l'irrigation par aspersion, qui améliore l'efficacité de l'apport ;
- les contraintes réglementaires (boues de station d'épuration) ;
- la consistance de la matière (**tableau 6**).

Tableau 6.

Choix de matières organiques solides ou liquides sur la canne à sucre.

Consistance	Période d'apport	Matériel d'épandage adapté	Effet
Solides composts, fumiers, boues d'épuration séchées	A la plantation : mélangées au sol lors du retournement ou localisées dans les sillons En repousse : entre les rangs de canne sur les repousses et sur les résidus de feuilles (moins efficace qu'à la plantation)	Epandeur à fumier	Amélioration du sol : reconstitution du stock de matière organique, meilleures propriétés physiques
Liquides lisiers, boues (pour N et P), vinsasse (pour K)	En vierge et en repousse	Tonne à lisier	Fertilisation minérale de la culture

L'apport de lisier de porc

L'apport de lisier de porc (50 à 60 m³/ha pour 200 kg/ha d'azote total) sur des résidus de culture améliore leur vitesse de dégradation et diminue leur temps de séjour sur le sol. Le compostage de surface est favorisé et, de ce fait, l'effet fertilisant de l'azote du lisier est plus limité. Cette technique est intéressante dans les zones sèches où l'accumulation de paille est gênante. Il a également été observé que l'apport de lisier diminue les attaques de foreurs sur les cannes, sans doute à cause des vapeurs ammoniacales dégagées après l'épandage.

Calcul des doses des apports organiques

Pour tout type d'apport organique, il faut calculer les doses avant l'épandage. Les matières organiques permettent de réduire la fertilisation minérale, mais l'engrais N-P-K standard canne (15-12-24 ou 18-7-27) ne convient pas pour compléter ces apports. Il faut donc avoir recours à des mélanges d'engrais simples. Certains engrais de complément existent déjà sur le marché (engrais de complément pour vinasse).

Attention : il faut toujours ajuster la quantité calculée aux contraintes du matériel d'épandage.

Convertir l'apport organique en équivalent engrais

En fonction du niveau de rendement recherché et des besoins de la canne en éléments nutritifs, on calcule la quantité de matière organique brute à apporter à l'hectare en tenant compte de ses teneurs en N, P, et K et des coefficients équivalent-engrais (CE-N, CE-P₂O₅, CE-K₂O, **tableaux 7, 8** - ➔ [chapitre 5 - Les matières organiques produites à La Réunion](#)). Les apports organiques sont toujours convertis en équivalents engrais parce qu'une partie seulement des éléments est disponible pour la plante.

Tableau 7.

Coefficients équivalent-engrais (CE, en % de l'élément total apporté) selon le type de matière organique.

Élément nutritif	Valeur de CE	Explication de la variation
N	10 à 60 % 10 % : composts et fumiers 60 % : lisiers	CE-N dépend du type de matière et de la date d'épandage. CE-N est faible pour les composts et fumiers : N n'a pas d'effet direct important sur la culture la première année d'apport. Mais des apports répétés augmentent le stock organique du sol, donc la quantité de N minéralisée les années suivantes. Des apports complémentaires en N minéral sont souvent nécessaires pour satisfaire les besoins de la culture.
P ₂ O ₅	65 à 100 % 65 % : lisier de porc, fiente et fumier de poule pondeuse, fumier de poulet de chair, composts 100 % : fumier et lisier de bovin	Dans le cas de certaines matières, les formes organiques sont assez stables et ne libèrent pas complètement P ₂ O ₅ sous des formes directement assimilables par la plante.
K ₂ O	100 % pour tout type de matière organique	K ₂ O se comporte comme un engrais minéral quelle que soit la matière organique. Il est facilement soluble et se retrouve rapidement dans la solution du sol.

Tableau 8.

Doses de matière organique, pour un apport annuel d'azote total de 200 kg/ha.

Matière organique	Quantité de matière brute (t/ha)
Fiente séchée de poule pondeuse	4
Compost de fumier poule pondeuse	15
Boue pâteuse	19
Compost de fumier bovin	26
Fumier de bovin	32
Lisier de porc	57
Lisier de bovin	70

Cas particulier : CE-N des lisiers sur canne à sucre

Le CE-N des lisiers est influencé par les facteurs du milieu : température, humidité, conditions d'application. Il peut diminuer rapidement en conditions défavorables. Les valeurs maximales de CE-N sont de 60 % pour le lisier de porc et de 50 % pour le lisier de bovin. Des indications sont données sur l'évolution du CE-N (**tableaux 9, 10**, d'après les travaux du CIRAD).

Tableau 9.

Cas défavorable à l'efficacité de l'apport : épandage de lisier par temps sec avec une queue de paon sur une canne coupée avec mulch sec, ou sur une canne plantée sans enfouissement.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
CE-N (%)	30	30	30	30	30	20	20	20	30	30	30	30
Période	Risque climatique		A la plantation			Pousse ralentie			Sur canne coupée ou plantée			

■ fortement déconseillé
 ■ peu conseillé
 ■ conseillé

Tableau 10.

Cas favorable à l'efficacité de l'apport : épandage de lisier avant irrigation ou pluie ou épandage avec un pendillard sur une canne coupée, ou avant labour (enfouissement) effectué pour la plantation d'une canne vierge.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
CE-N (%)	50	50	50	50	50	30	30	30	50	50	50	50
Période	Risque climatique		A la plantation			Pousse ralentie			Sur canne coupée ou plantée			

■ fortement déconseillé
 ■ peu conseillé
 ■ conseillé

Calculer la dose d'engrais minéral complémentaire pour couvrir l'ensemble des besoins

→ Fiche *Calcul de la fertilisation organique des cultures*

Exemple de calcul avec la fiente séchée de poule pondeuse

Rendement commercial : 100 t/ha, système coupe en vert et récolte classique avec restitution complète de paille (11 t MS/ha)

Besoins en fertilisation (se reporter aux **tableaux 3, 4, 5** pages 162 et 163) : 120 N - 72 P₂O₅ - 200 K₂O

Apport de 4 t/ha de fientes séchées (**tableau 11**) : 148 N - 81,6 P₂O₅ - 102 K₂O

Complément nécessaire en fertilisation K₂O : 98 kg/ha, soit 160 kg/ha d'engrais KCl (chlorure de potasse).

Tableau 11.

Éléments fertilisants de la fiente séchée de poule pondeuse.

Élément fertilisant	Teneur (kg/t matière brute)	Coefficient équivalent-engrais (CE %)	Apport total en éléments fertilisants (kg/ha) de 4 t/ha de fiente (mode de calcul)
N	52	65	148 (4 x 52 x 65 %)
P ₂ O ₅	31,4	65	81,6 (4x 31,4 x 65 %)
K ₂ O	25,6	100	102 (4 x 25,6 x 100 %)

Périodes d'épandage

Éviter les périodes très pluvieuses, pour tout type d'épandage : risque de lessivage rapide de l'azote, risque de pollution par ruissellement, difficulté à entrer dans les parcelles.

Éviter les périodes venteuses, chaudes, sèches, pour épandre les lisiers avec une cuve à queue de paon sur un mulch de paille sec : ils perdent tout leur azote ammoniacal par volatilisation en moins de 15 heures après l'application. L'effet fertilisant azoté est alors limité à l'azote organique contenu dans le lisier. Ce type d'apport doit être fait par temps frais et humide, sans vent. L'utilisation de pendillards derrière la cuve d'épandage diminue ces pertes, en réduisant les jets et le contact avec l'air. L'arrosage par aspersion juste après un apport diminue aussi beaucoup ces pertes et les odeurs qui les accompagnent, et facilite la pénétration du lisier dans la paille.

En hiver (juin-juillet-août), l'absorption de l'azote par la canne est ralentie parce que la croissance est limitée par les faibles températures. En conséquence, les apports sont déconseillés mais ils restent possibles techniquement.

En saison cyclonique (janvier-février), les risques de perte par lessivage sont élevés : les apports sont déconseillés mais restent possibles selon les conditions météorologiques, qui sont très variables d'un lieu à un autre.

Epandage simultané des engrais minéraux et des apports organiques

Des lisiers peuvent être enrichis en KCl, puisque KCl est soluble jusqu'à 350 kg/m³. Le mélange se fait directement dans la cuve.

Les vinasses peuvent être enrichies en N par adjonction et dilution d'urée dans la cuve (jusqu'à 750 kg/m³).

Pour les matières organiques solides, l'apport simultané de la chaux est déconseillé, parce que cet amendement favorise la surminéralisation de la matière organique et la perte gazeuse de N.

L'application d'engrais minéral N-P-K est possible en même temps ou juste après l'apport organique. L'apport organique permet une meilleure valorisation des apports minéraux par un effet de blocage temporaire de N et P sous des formes organiques plus ou moins stables.

Risques de pollution

Mauvaises odeurs

Les apports de matières organiques sont malodorants. Pour limiter cet effet sur le voisinage, il faut respecter les distances d'épandage fixées par la législation (→ voir chapitre 8 - *Réglementation sur les épandages en agriculture*). Par ailleurs, il existe des adjuvants qui couvrent les odeurs désagréables.

En conditions d'anaérobiose du sol, qui peuvent exister dans de petites zones, ou en période humide, des réactions de fermentation produisent des alcools, des acides gras et un mélange de méthane (CH₄) et de CO₂ qui peuvent dégager de mauvaises odeurs.

Pollution des eaux

L'apport d'un excédent de lisier sur un sol en pente peut provoquer des ruissellements jusqu'à des ravines. Le lisier forme une croûte qui limite l'infiltration et imperméabilise la surface du sol, et qui accentue encore plus le ruissellement. Des surdosages en N et P dans le sol peuvent polluer les eaux superficielles et souterraines. Il s'agit donc de respecter les doses et les périodes d'épandage fixées par la législation (→ voir chapitre 8 - *Réglementation sur les épandages en agriculture*).

Effets de la culture de canne sur le stock organique du sol

A la replantation, le sol est remanié : désouchage, labour profond avec disques, sillonnage. Ces façons culturales accélèrent la minéralisation de la matière organique du sol, qui libère de grandes quantités d'azote minéral. Ce processus est aussi observé après les retournements de prairie. L'apport de fumier ou de résidus pailleux bloque cet excès d'azote par immobilisation sous forme d'humus, ce qui contribue à l'augmentation du stock de matière organique du sol.

Cette sur-minéralisation de la matière organique explique la mauvaise réponse de la canne vierge à la fertilisation azotée. Les cultures dérobées entre les lignes de canne vierge (tomates, arachide, maïs, etc.) profitent de cette minéralisation de l'azote du sol avant que la canne se développe.

Observations sur les effets de la canne

Des études conduites à l'étranger pendant de longues périodes montrent une lente baisse du stock organique des sols sous canne à sucre, bien qu'il est reconnu à la canne un effet restructurant élevé (amélioration de la perméabilité et de l'aération, facilité d'enracinement).

Il est cependant probable que le taux de matière organique des sols canniers de La Réunion ne baisse pas systématiquement. Lorsqu'il y a restitution des pailles, le taux de matière organique du sol cultivé en canne semble plutôt augmenter régulièrement, d'après quelques observations, jusqu'à atteindre un équilibre en fonction du milieu.



Labour avant replantation et enfouissement des pailles de canne à sucre. © CEDUS - F.L. Athanas

Cultures fruitières et espaces verts



Ananas. © V. van de Kerchove

Généralités

A La Réunion, il existe une multitude de fruits, des fruits tropicaux classiques aux fruits de climat plus tempéré (amande, pêche, pomme, prune) (**tableau 1**). Les fruits sont issus de cultures annuelles (melon, fraise : ➔ voir aussi fiche *Cultures maraîchères*), de plantes herbacées fructifiant une fois par an (ananas, banane) ou d'arbres fruitiers pérennes (letchis, manguiers, pêchers...).

La Chambre d'agriculture de La Réunion édite périodiquement des fiches techniques sur ces productions fruitière (*Les dossiers technico-économiques Fruits* de la Chambre d'agriculture : 1998, l'ananas ; 2001, la mangue ; 2002, les agrumes ; 2003, les anones et le melon...), en remplacement des anciennes fiches datant de 1992 de l'IRFA (Institut de recherche sur les fruits et agrumes, devenu aujourd'hui le département Productions fruitières et horticoles du CIRAD) et de la Chambre d'agriculture.

Tableau 1.

Principales productions fruitières en 2003

(source : Agreste, Direction de l'agriculture et de la forêt, Saint-Denis, La Réunion).

Culture	Surface approximative (ha)
Manguier	313
Letchi	950
Agrumes	390
Bananier	250
Ananas	300
Fraisier	15
Goyavier cultivé	5
Pêcher	70

Arboriculture fruitière

Besoins en éléments minéraux

Les besoins minéraux dépendent de la croissance des arbres et des quantités de fruits exportés hors de la parcelle. Ces besoins varient donc en fonction des espèces, de l'âge des arbres et des niveaux de production, mais ils restent plus ou moins proportionnels au rendement en fruits.

Outils de contrôle et de diagnostic

Les outils de contrôle et de diagnostic nutritionnel sont identiques à ceux des autres cultures.

Les analyses de sol avant plantation permettent de corriger les carences du sol et de guider le niveau de fertilisation en N-P-K. Des conseils en fertilisation sont fournis aux arboriculteurs qui font analyser leurs échantillons de sol par le laboratoire d'analyses agronomiques du CIRAD. Pour l'arboriculture, il est préconisé d'échantillonner et d'analyser deux horizons : l'horizon superficiel (0-25 cm) et un horizon plus profond (25-50 cm par exemple) (→ [fiche Prélever un échantillon de sol pour l'analyse au laboratoire](#)).

Les diagnostics foliaires (DF), parfaitement calés pour presque toutes les productions fruitières, ainsi que les indices de nutrition, permettent de suivre l'état nutritionnel des arbres et de corriger au fur et à mesure les doses de fertilisation N-P-K à apporter chaque année. Par exemple, certains arbres comme les agrumes sont très sensibles à des carences en micro-éléments (zinc, fer, cuivre, bore). Avec le diagnostic foliaire, le producteur vérifie l'état nutritif et détecte des carences éventuelles en ces micro-éléments, avant que les symptômes visuels apparaissent et soient reconnaissables (lorsqu'ils sont visibles, c'est déjà trop tard pour agir).

Restitutions au sol

Dans les vergers, les restitutions organiques et minérales par les bois de taille et les feuilles sont élevées. Les restitutions par les bois des arbres adultes peuvent atteindre 500 à 1 000 kg de matière brute par hectare et par an, soit un retour au sol de 100 à 200 kg/ha d'humus, en considérant un coefficient isohumique K_i de 0,2. Les apports au sol par les feuilles sont du même ordre, voire plus selon les espèces.

Les restitutions par la couverture herbacée naturelle ou implantée, que l'on fauche régulièrement, fournissent de 2 à 5 t/ha de matière sèche par an, soit plusieurs centaines de kilos d'humus. Ces restitutions apportent également des éléments minéraux, proportionnellement aux masses végétales restituées.

Fertilisation recommandée

La fumure d'entretien doit nourrir correctement l'arbre, mais aussi participer au maintien du stock de matière organique du sol. Cette fumure doit être calculée à partir de l'analyse de sol et du comportement du verger (vigueur, attaques parasitaires, productivité). Les équilibres N-P-K des engrais minéraux et organiques peuvent varier selon la période d'apport (on se référera aux fiches spécialisées par espèce). Le **tableau 2** page suivante récapitule quelques exemples de périodes de fertilisation pour plusieurs espèces cultivées.

A la plantation des jeunes arbres issus de pépinières, des fertilisations minérales et organiques dans chaque trou corrigent à la fois les éventuelles carences du sol et favorisent un développement

rapide des racines et de l'appareil végétatif des arbustes. En cas de sol carencé en phosphore, on peut ajouter du phosphate naturel au compost (50 kg/t). Cela apporte à l'arbre une nutrition progressive en P en fonction de sa croissance.

Avant l'entrée en production des arbres fruitiers, une fertilisation minérale et organique annuelle et régulière permet un bon développement des jeunes plants. L'équilibre minéral N-P-K à retenir est 4-1-4 dans des sols bien équilibrés en ces éléments. Les engrais sont apportés autour des arbres et les apports organiques sont enfouis superficiellement par binage.

Quand les arbres entrent en production, la fertilisation est adaptée progressivement aux rendements et augmente jusqu'à ce que les arbres atteignent la taille adulte, c'est-à-dire vers 7 ans pour les agrumes et les letchis et vers 10 ans pour les manguiers.

En production, la fertilisation est fractionnée :

- avant la floraison ;
- après la nouaison des fruits ;
- pendant la phase de grossissement des jeunes fruits (2 apports possibles selon les conditions climatiques).

Le **potassium** est particulièrement important pour le grossissement et la qualité des fruits.

Les doses totales d'apport en azote conseillées sont de l'ordre de 200 kg/ha/an. Un excédent d'azote favorise le développement rapide de colonies de pucerons sur les arbres.

Tableau 2.
Périodes préconisées de fertilisation pour quelques espèces.

Arbres	Périodes de fertilisation	Rendements fruits (t/ha)
Agrumes	Juillet-septembre (avant floraison) Octobre-novembre (nouaison) Janvier-mars (grossissement des fruits)	25
Cœur de bœuf (anone)	Février (floraison) Avril-mai (grossissement des fruits) Décembre (après récolte)	10
Letchi	Août-septembre (nouaison) Janvier-février (après récolte)	10
Manguier	Juin-juillet (floraison) Août (nouaison) Octobre-novembre (grossissement des fruits)	10
Pêcher	Juillet (floraison) Septembre (nouaison) Janvier (après récolte)	10

Epandage de matières organiques

À la plantation, les amendements organiques (fumiers et composts) sont apportés souvent dans les trous. En cours de production, des engrais organiques riches en azote (lisiers et fientes) sont épandus en surface pour fertiliser les arbres.

Fumure de fond à la plantation : apport d'amendements organiques

L'apport d'amendements organiques comme les fumiers décomposés et les composts permet une bonne installation de l'arbre.

Le choix d'une matière organique ayant une bonne stabilité permet d'obtenir des conditions favorables d'enracinement dans le trou. La minéralisation progressive de cette matière organique libère progressivement les éléments nutritifs. Une partie de cette matière organique est transformée en humus, ce qui garantit une amélioration de la fertilité de la zone prospectée par les racines au cours de la première phase de croissance de l'arbre. Les apports de minéraux par ces matières organiques ne sont généralement pas pris en considération (on ne considère que leur rôle d'améliorateurs du stock organique du sol).

Apports à la plantation

Les apports d'amendement organique varient de 10 à 15 kg par trou de plantation. Comme les densités de plantation sont en général de 285 arbres par hectare (jusqu'à 400 pour les agrumes dans les hauts de l'île), les apports totaux se situent autour de 4 t/ha dans les bas et de 6 t/ha dans les hauts.

On peut également réaliser un apport en plein, avant un retournement de sol, avec des doses de fumier ou de compost variant de 30 à 50 t/ha selon le type de sol. Le retournement du sol est effectué avant la plantation.

Attention ! L'apport de fumier jeune ou de compost encore très actif peut provoquer des brûlures de racines par contact et la mort des jeunes plants.

Fumure d'entretien : apport d'engrais organiques

Les apports d'engrais organiques réalisés après l'installation des arbres et pendant la production assurent essentiellement un rôle nutritif.

Il faut tenir compte du coefficient équivalent-engrais de la matière organique apportée dans le calcul des éléments nutritifs qu'elle peut fournir à la culture.

Divers types d'engrais organique sont utilisables : lisiers, fientes de volaille, etc. Pour certains, il faut cependant faire attention aux risques sanitaires et respecter les délais entre les apports et les récoltes.

Les apports de lisier sont réalisés avec des cuves équipées de pendillards, en général jusqu'à la floraison-nouaison pour éviter les souillures des fruits.

Après l'apport organique, surtout s'il s'agit de matières solides (composts, fumiers), l'incorporation au sol se fait par enfouissement sur 10 cm de profondeur environ, par passage de disques. L'enfouissement est également nécessaire pour les feuilles mortes et les résidus de taille.

L'entretien et la tonte régulière de la végétation naturelle ou de la couverture implantée permettent des restitutions organiques et constituent des pratiques conservatrices du sol.

Dans le cas des agrumes, la fertilisation à l'aide de lisiers de poule ou de porc est également intéressante pour l'apport de zinc et de cuivre. Mais ces deux éléments sont aussi des éléments traces métalliques (ETM), toxiques à forte dose : ces matières organiques ne doivent pas être systématiquement employées afin d'éviter de polluer le sol à long terme.

La technique de deux apports de matière organique est adaptée pour les vergers

Le premier apport, de compost ou de fumier décomposé, contribue à améliorer le stock en matière organique du sol. Il a lieu à la reprise végétative de l'arbre après la récolte.

Le deuxième apport, avec une matière organique riche en azote, fertilise l'arbre avant la floraison. Pour les lisiers riches en azote (l'apport est possible si les fruits ne touchent pas le sol) ou les fientes de volailles, la période de fertilisation doit coïncider avec les besoins en éléments nutritifs de l'arbre. Il doit donc être réalisé un mois au moins avant la floraison pour que l'azote soit disponible à la nouaison. Un déficit en azote à cette période est souvent responsable d'une mauvaise tenue du fruit, engendrant une baisse de rendement.

Ananas et banane

Le bananier et l'ananas sont des plantes herbacées qui ne fructifient qu'une fois au cours de leur cycle de production et qui émettent des rejets. Les générations successives de rejets pérennisent la plantation plusieurs années. La densité de plantation d'ananas est très élevée (60 000 à plus de 100 000 pieds/ha) et les plantations se font sur billons, plastifiés ou non. Pour les bananiers, les plantations se font au trou avec des densités d'environ 2 000 pieds par hectare. Les besoins de ces plantes diffèrent de ceux des arbres fruitiers.

Besoins en éléments minéraux et restitutions

Dans le cas de l'ananas, la fertilisation se fait en 8 applications foliaires de N et de K_2O à intervalles variables de 35 à 15 jours durant le cycle et selon un équilibre N-K variable également. Le phosphore est mis à la plantation à des doses en P_2O_5 de 150 à 200 kg/ha. Les quantités totales en N et de K_2O apportées au cours du cycle dépassent 400 unités. La quantité de N apportée est actuellement revue à la baisse pour tenter de limiter les tâches brunes.

Le bananier est une des plantes les plus fertilisées, puisque l'on peut dépasser 1 500 kg/ha/an d'éléments fertilisants. La plante est exigeante en N et K_2O et elle nécessite une bonne fertilisation en Ca et Mg selon les sols. La fertilisation est également fractionnée pour éviter les pertes et améliorer l'efficacité. Après une fumure de fond comprenant le phosphore, on apporte classiquement par plante et tous les mois 100 à 150 g d'urée et 200 à 500 g de K_2O , ce qui fait un total de plus de 400 kg/ha N et de 450 kg/ha K_2O pour le cycle.

Les résidus des cultures d'ananas et de bananiers, laissés sur le sol après la récolte, représentent une biomasse importante, difficile à enfouir et difficile à dégrader. Des apports d'azote supplémentaires sont nécessaires pour améliorer leur dégradation biologique, et pour éviter le blocage de l'azote du sol sur les cultures suivantes. Dans ces conditions, les résidus de ces cultures produisent une quantité élevée d'humus.

Apports de matières organiques

Les apports de matières organiques solides se font essentiellement avant la plantation. Ces apports avant plantation vise à favoriser le départ végétatif de la plante (**tableau 3**). On utilise donc des fumiers décomposés et des composts aux doses de 10 à 30 t/ha, soit en plein avant labour pour l'ananas, soit au trou de plantation (10 à 15 kg par trou) pour le bananier.

Dans le cas de l'ananas, une fois la culture en place, il est difficile de réaliser d'autres apports organiques. Les apports de lisier en pulvérisation sont interdits.

Pour le bananier, très exigeant en éléments minéraux, même en magnésium, avec une forte demande en K_2O (jusqu'à 450 kg/ha/an), il est possible de réaliser des apports de surface en cours de culture, essentiellement des engrais organiques liquides : lisier, fiente, vinasse... Ces applications peuvent être répétées pendant l'année, car la fertilisation doit être régulière, avec pratiquement une application mensuelle d'engrais organique ou minéral.

On calcule la dose et les apports d'éléments minéraux réalisés avec les matières organiques pour calculer ensuite les compléments minéraux, afin de respecter les besoins minéraux de la plante.

Tableau 3.

Les apports minéraux et organiques sur ananas et bananier.

Culture	Période et type d'apport recommandé	Rendement (t/ha)
Ananas	A la plantation : fumure de fond et amendement organique Deux mois après la plantation : pulvérisation foliaire d'engrais minéraux solubles, tous les 15 jours, puis tous les 30 jours, à 8 reprises	50 et plus
Bananier	A la plantation : fumure de fond minérale et amendement organique Fumure d'entretien mensuelle minérale et (ou) organique Possibilité d'épandage de lisier et d'autres matières organiques en cours de cycle	40 et plus

Espaces verts

Les espaces verts sont constitués soit de pelouse seule, soit d'une association de pelouse, d'arbustes et d'arbres. Les conseils de fertilisation à l'implantation des fourrages et des arbres fruitiers servent de référence pour les espaces verts.

Généralement, les apports de matières organiques sont importants lors de l'implantation, car le prix des jeunes plants est élevé et on veut garantir le départ de végétation dans de bonnes conditions.

Les professionnels utilisent plutôt des produits commerciaux certifiés, fabriqués par compostage industriel de diverses matières. Ces produits sont d'utilisation facile et sans contrainte

réglementaire. Les composts industriels sont issus de compostage de produits tels que fumiers de bergerie, tourteaux végétaux (cacao, café), levain bactérien, guano, etc.

Ces produits peuvent être remplacés par des matières organiques locales, à condition qu'elles soient certifiées ou qu'elles présentent des garanties de qualité et d'adéquation aux exigences recherchées : composts de bonne stabilité (ISB ou K, d'au moins 50 %), rapport C/N de l'ordre de 10, composition chimique équilibrée.

Après l'installation des plantes et pendant leur phase de croissance, les apports de fertilisants sont réalisés avec des engrais minéraux pour les commodités d'apports ou pour respecter les réglementations.



Epandage de lisier sur caféier. © V. van de Kerchove

Cultures maraîchères



Pomme de terre. © V. van de Kerchove

Les cultures maraîchères de La Réunion

A La Réunion, les cultures maraîchères regroupent des légumes traditionnels de climat tempéré, qu'on retrouve dans les situations fraîches d'altitude, comme la pomme de terre, la carotte et le chou, et des plantes plus tropicales dans les zones plus chaudes des bas de l'île, comme le melon, la pastèque, le choucou, les brèdes, le manioc, l'arachide, le songe, etc.

Les cultures maraîchères sont très diversifiées et couvraient environ 1 600 hectares de surface agricole utile en 2003, pour 2 165 exploitations maraîchères, dont 1 300 ont plus d'un hectare. En considérant en moyenne deux cycles de production par an, la surface développée s'élève à environ 3 200 hectares de cultures maraîchères qui se répartissent ainsi :

- tubercules et racines : 600 ha, dont 500 ha de pomme de terre et 80 ha de patate douce et de manioc ;
- légumes frais : 2 600 ha dont tomate (400 ha), salade (200 ha), brèdes (200 ha), oignon (50 ha), choucou (100 ha).

La Chambre d'agriculture de La Réunion (Service d'utilité agricole de développement, SUAD) a édité des fiches techniques sur les principales cultures maraîchères (*Les dossiers technico-économiques Cultures maraîchères* : 2002, la pomme de terre, le melon, les cucurbitacées – 1996, la petite tomate – 1995, la laitue, le haricot sec, l'oignon, l'ail, le chou-fleur). Nous en résumons l'essentiel, du point de vue de l'emploi des matières organiques et de la fertilisation.

Besoins en éléments minéraux

Toutes les plantes maraîchères sont exigeantes car leur cycle de production est souvent court. Leurs racines sont beaucoup moins développées et moins efficaces que celles de la canne à sucre ou des arbres fruitiers. La majorité des plantes maraîchères est cultivée en plein champ, mais certaines sont cultivées sous serre, voire hors-sol, pour éviter des problèmes sanitaires et pour obtenir de forts rendements.

Les besoins nutritifs ainsi que les équilibres N-P-K sont variables selon les plantes et les systèmes de culture. Les doses de fertilisation préconisées sont calculées pour couvrir les besoins des diverses cultures maraîchères (consulter *Les dossiers technico-économiques Cultures maraîchères* de la Chambre d'agriculture de La Réunion, ou les publications du CTIFL, dont le *Mémento fertilisation des cultures légumières*, 1989).

Au champ, le niveau de fertilité du sol doit être très élevé. La matière organique du sol est une des composantes essentielles de la fertilité, ce qui implique un entretien organique régulier.

Le prix de vente assez élevé des produits maraîchers conduit souvent les agriculteurs, dans le but de sécuriser la production, à appliquer des doses de fertilisants et de matière organique bien supérieures aux besoins réels des cultures. Cela peut entraîner des déséquilibres nutritionnels et des risques de pollution des sols et des nappes phréatiques.

Outils de contrôle et de diagnostic

Analyse agronomique de sol

L'analyse agronomique de sol est utile pour calculer la fertilisation en tenant compte de la fertilité chimique du sol. L'analyse régulière des sol maraîchers permet d'adapter les apports d'amendements et de fertilisants. Le laboratoire d'agronomie du CIRAD fournit un conseil en fertilisation à partir de l'interprétation des analyses de sol : en cas de carence prononcée du sol, les doses de correction en phosphore et en amendement calcaire sont proposées. Les apports de matières organiques sont conseillés pour des sols très pauvres en humus. Les conseils de fertilisation du laboratoire sont régulièrement améliorés, en fonction de l'acquisition de nouvelles données agronomiques.

Il existe également des mallettes d'analyses directes sur le terrain (→ chapitre 4 - *Analyses agronomiques*), qui permettent un suivi de certaines caractéristiques au cours d'un cycle, pour guider précisément la fertilisation, notamment azotée.

Les sols maraîchers sont souvent très riches en éléments nutritifs, du fait de leur sur-fertilisation. Il est alors nécessaire de diminuer et de rééquilibrer les apports de fertilisants. La présence de quantités excessives de sels nutritifs solubles peut rendre ces sols salins à long terme.

Analyse de plante et autres outils de diagnostics

Pour l'observation de désordres physiologiques sur la culture, le diagnostic foliaire ou l'analyse de la plante entière peuvent être pratiqués par le laboratoire (prélèvements de plantes et analyse de la teneur en éléments minéraux). La technique d'analyse de sève pour le diagnostic « nitrate » peut être effectuée directement sur le terrain avec des mallettes spécialement conçues.

D'une façon générale, ces différents types de diagnostic permettent de revoir la fertilisation en fonction des carences et des excès observés pendant la phase de croissance de la culture. Les corrections sont apportées dès le cycle de production suivant. Pour la carence en azote et en certains oligo-éléments, la pulvérisation foliaire sur la culture en place est une bonne technique. Inversement, en cas d'excès d'azote, les apports complémentaires doivent être supprimés.

Restitutions

Les restitutions des cultures maraîchères sont généralement faibles parce que la plante est très souvent entièrement exportée hors du champ.

Fertilisation recommandée

La fertilisation recommandée en N-P-K des légumes dans un sol bien équilibré varie en fonction du niveau de production et du type de culture. Les intervalles moyens de fertilisation pour un cycle de production de culture maraîchère sont fournis dans le **tableau 1**.

Tableau 1.

Fertilisations préconisées (kg/ha/cycle) (d'après *Les dossiers technico-économiques Cultures maraîchères* de la Chambre d'agriculture de La Réunion).

Cultures	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Autres éléments
Tomate	100 à 130	60 à 80	200 à 250	MgO : 15 à 25
Pomme de terre	130 à 160	100	250 à 300	MgO : 30
Laitue	80 à 100	50 à 70	200 à 250	MgO : 15
Choux	130 à 160	80 à 100	200 à 240	S : 30
Cucurbitacées	80 à 140	60 à 80	140 à 200	MgO : 40 à 60

Attention aux apports répétés

Les conseils de la Chambre d'agriculture de La Réunion (SUAD) préconisent un apport de matière organique amendante, fumier ou compost, de l'ordre de 20 t/ha/an. Il est évident que, si le nombre de cycles de production est élevé par année (comme pour les salades, pour lesquelles on peut atteindre 8 cycles par an), les amendements ne sont pas apportés à chaque fois !

L'emploi répété d'engrais organique à faible pouvoir humigène entraîne à long terme une diminution du taux de matière organique du sol. Il s'ensuit une baisse des qualités physiques du sol (diminution de la capacité de rétention en eau), et de ses qualités physico-chimiques.

Fertilisation organique

En maraîchage, il est important de surveiller la teneur en matière organique du sol.

Beaucoup de cultures maraîchères réagissent très favorablement à un sol riche en matière organique. Il est par conséquent conseillé de renouveler le stock de matière organique fraîche du sol afin de le maintenir à un taux élevé. Un taux élevé améliore les caractéristiques physiques et hydriques, ce qui est essentiel pour ce type de culture. Il permet également de maintenir une forte capacité d'échange cationique, garante de la fertilité chimique.

Les interventions de travail du sol sont nombreuses au cours d'une année et elles ont un effet stimulant sur la minéralisation de la matière organique du sol, ce qui entraîne la destruction du stock organique et la déstructuration du sol. Inversement, des apports organiques mal gérés (trop abondants ou déséquilibrés) peuvent conduire à une sur-fertilisation. Les déséquilibres nutritifs causent des désordres physiologiques chez la plante, dont les symptômes peuvent être

des nécroses marginales sur les feuilles (laitues), des mauvaises fructifications, et des baisses de qualité.

Une grande partie des éléments nutritifs peuvent être fournis par des amendements organiques fabriqués par l'agriculteur en fonction de ses possibilités d'approvisionnement.

Les modalités des apports organiques

Les principaux effets de la fertilisation organique sont résumés dans le **tableau 2**.

La fertilisation à l'aide de fumiers évolués et de composts apporte progressivement des éléments minéraux ainsi que des produits plus complexes (vitamines, enzymes) qui permettent un meilleur équilibre de la nutrition et renforcent les défenses naturelles de la plante. En agriculture biologique, la fertilisation est basée sur ces principes. La libération de l'azote est cependant faible et souvent inférieure aux besoins des cultures. Les apports organiques doivent alors être complétés en fertilisants chimiques ou organo-minéraux.

Il est difficile de déterminer une fois pour toutes les cultures entrant dans une rotation maraîchère. Chaque agriculteur a son habitude, fondée sur son expérience, et l'élaboration d'une rotation n'est pas parfois pas assez raisonnée par rapport au parasitisme (maladies fongiques, nématodes). En revanche, les apports d'amendements sont souvent bien raisonnés, bien que des sur-fertilisations existent. D'une manière générale, ils ne sont pas réalisés systématiquement à chaque cycle, car ils sont rares et chers. L'épandage prend du temps et de la main-d'œuvre.

Les matières organiques les plus employées sont des composts de mélange d'écumes de canne, de fumiers et lisiers de porc ou de volaille. Ces composts sont généralement faits sur la parcelle même, où ils mûrissent naturellement pendant plusieurs mois.

Tableau 2.

Effets des apports de matières organiques en maraîchage.

Type de matière organique	Effets sur le sol	Apport nutritif pour la plante	Effet sur les agents pathogènes	Risques sanitaires
Fumier évolué, compost	Augmentation du stock organique du sol, amélioration physique et chimique du sol	Amélioration de la nutrition globale, mais un faible pouvoir nutritif direct	Effet antagoniste sur des pathogènes du sol	Peu de risques sanitaires
Fiente d'élevage, lisier déshydraté, guano	Peu d'effet sur le stock organique du sol	Remplace en partie la fertilisation minérale avec un effet spécifique très positif	-	Possibilité de risques sanitaires : suivre la réglementation

Avantages des composts

Un compost bien réalisé, à texture fine, laisse un lit de semence correct, contrairement au fumier qui apporte de gros paquets de paille mal décomposée.

Pendant la phase de compostage, la matière organique est assainie et son utilisation est sans risque sanitaire.

Le compost libère progressivement l'azote. La fourniture N étant limitée et progressive, il n'y a pas de risques végétatifs.

Il n'y a pas de phase très forte de réorganisation de l'azote du sol comme pour l'apport de fumier pailleux (qui nuit dans ce cas à l'installation de la culture : faim d'azote).

Le compost a un rôle bénéfique sur la croissance des plantes : meilleure résistance aux maladies due à une stimulation des mécanismes généraux de résistance.

Le compost permet aussi d'améliorer l'état sanitaire de la culture en apportant des populations microbiennes antagonistes des agents pathogènes présents dans le sol.

Le coût de ces composts est rapidement amorti en cultures maraîchères, pour lesquelles le poste de fertilisation n'est pas le plus important (l'un des plus importants est la préparation des plants en pots pour le repiquage) contrairement aux grandes cultures.

Calcul des doses de fertilisants organiques

Les besoins de la culture permettent de déterminer les doses en N, P, et K à apporter. En prenant en compte les teneurs totales en éléments fertilisants de la matière organique et les coefficients équivalent-engrais, on calcule la quantité de matière organique brute à apporter à l'hectare.

Après ajustement de cette quantité aux capacités du matériel d'épandage, on calcule les quantités d'éléments réellement utilisables par la culture. On complète ensuite par une fertilisation minérale en fonction des besoins de la culture.

200 kilos d'azote total sont apportés par...

- 4 t de fiente séchée de poule,
- ou 8 t de compost de fumier de poule pondeuse,
- ou 20 à 30 t de compost de fumier de bovin,
- ou 25 t d'écume plus ou moins compostée, seule ou mélangée avec fumier de volaille.

Seule, une partie de l'azote est utilisable par la culture. Cette quantité d'azote directement assimilable par la culture est calculée à l'aide du coefficient équivalent-engrais azoté (CE-N) de la matière organique concernée (→ *Fiches Matières organiques, Chapitre 5 - Les matières organiques produites à La Réunion*).

Les matières organiques issues d'élevages de volaille ont un taux de matière sèche élevé et une grande concentration du produit brut en N-P-K, comparées à celles issues des élevages de porc ou de bovin. C'est pourquoi elles sont très recherchées. Leurs teneurs en K sont un peu plus faibles que celles en N total et en phosphore, ce qui peut impliquer un complément en K_2O minéral. Leur fraction ammoniacale est élevée bien que, lors du compostage, plus de la moitié de l'azote initialement contenu dans les fientes se volatilise. L'effet fertilisant de ces apports organiques issus de volailles est donc assez rapide, mais, pour des composts pas assez mûrs, des brûlures de jeunes plantes sont observables.

Modalités d'apport

Sur les cultures maraîchères, les matières organiques sont apportés une ou deux fois dans l'année à l'occasion d'un travail de sol et sont enfouis par un labour ou un pseudo-labour.

Pour certaines cultures, l'apport au trou est systématiquement pratiqué. Par exemple, dans le trou où est semé une cucurbitacée, un chou chou ou une tomate, quelques kilos de fumier ou de compost sont mélangés au sol.

Risques de pollution

Les sols maraîchers de La Réunion sont parfois sur-fertilisés et contiennent des teneurs élevées en certains éléments, pas toujours bien équilibrés entre eux. Pour certaines productions de plein champ très intensives (comme les salades), de fortes salinités et de fortes acidités, qui proviennent de l'accumulation d'engrais solubles minéraux (nitrates, chlorures, sulfates) sont observées dans les sols. Les salades sont tolérantes à ces conditions, mais ce n'est pas le cas de toutes les plantes maraîchères.

Des excès d'azote favorisent presque toujours la pousse végétative au détriment de la fructification ou de la tubérisation et provoquent aussi la baisse des taux de sucre ou d'amidon dans les fruits et les tubercules (mauvaise qualité des produits et mauvaise conservation). Les attaques de pucerons sont plus fréquentes, d'où un renforcement des traitements insecticides.

Ces pratiques peuvent polluer les eaux : eau de surface lors des ruissellements (nitrates et phosphates) et eau de drainage lors des pluies fortes (nitrates).

Effets des cultures maraîchères sur les sols

Lorsque les travaux de sol sont importants, répétés, ou réalisés avec des outils mal adaptés au type de sol (comme les herse rotatives : rotavator), les sols sont déstructurés et deviennent sensibles à l'érosion.

Les travaux de préparation des parcelles (labour, enfouissement des matières organiques) et tous les travaux d'arrachement (racines, tubercules, arachide...) sont des pratiques qui peuvent engendrer de l'érosion.

Cultures maraîchères, andosols et érosion

Les sols les plus sensibles à l'érosion sont les andosols des hauts de l'île. Leurs caractéristiques physiques sont intéressantes (texture de « pseudosables ») pour certaines cultures maraîchères, dont les plantes à racines. Par exemple, à Piton Hyacinthe, des pertes de sol de l'ordre de 1 m d'épaisseur ont été mesurées en une vingtaine d'années de cultures maraîchères.

Les travaux du sol devraient donc être réalisés pendant des périodes à moindre risque, en dehors de la saison cyclonique. Mais c'est difficile pour les cultures dont les travaux se situent absolument en début ou en fin de saison cyclonique. Lorsqu'il y a des pertes importantes en sol de surface (couche de sol très riche en humus), le mieux est de renforcer les amendements organiques. Ceci permet de refaire un sol agricole à partir de l'horizon inférieur moins riche en matière organique et moins structuré, tout en sachant que le sol n'est pas un matériau renouvelable.

Cultures fourragères



Bovins au pâturage dans les hauts de l'Ouest. © V. van de Kerchove

Les cultures fourragères à La Réunion

En 2003 à La Réunion, les cultures fourragères couvraient plus de 5 000 hectares sur les 11 000 hectares de surfaces à vocation pastorale. En plus des espèces principales (**tableau 1**), les autres productions fourragères sont nombreuses. On peut citer les cannes fourragères (*Panicum purpureum* et *Panicum typhoïdes*, *Tripsacum laxum*), le panicum (*Panicum maximum*) qui produit 50 t/ha/an de matière sèche, les brachiarias (*Bracharia* sp.), et des légumineuses, comme le desmodium (*Desmodium intortum*) qui produit 13 t/ha/an de matière sèche, le trèfle (*Trifolium repens*), la luzerne (cultivar Europe), espèces qui sont les plus intéressantes parmi plus de 70 espèces introduites et testées. Les performances dépendent des modes d'exploitation et les variations sont importantes. Elles sont présentées dans le **tableau 1**.

Tableau 1.

Caractéristiques de production des principales cultures fourragères de La Réunion.

Espèces	Utilisation	Altitude optimale (m)	Nombre de coupes ou pâtures par an	Cycle de production (jours)*	Quantité de matière sèche (t/ha/an)
Chloris (<i>Chloris gayana</i>)	Fauche	Au-dessous de 600 m	8 à 10	30 40	20 à 30
Kikuyu (<i>Pennisetum clandestinum</i>)	Pâturer	600 à 800 m	5	50 90	15 et plus
Sétaria (<i>Setaria anceps</i>)	Pâturer	Au-dessous de 600 m et région de l'Est	5 et plus	30 50	10 et plus
Espèces de climat tempéré (dactyle, ray-grass hybride, fétuque, brome, flouze, houlque laineuse)	Fauche et pâturer	Au-dessus de 800 m et hautes plaines	5	50 90	10 à 15 et plus

* : Saison chaude - Saison froide

Besoins en éléments minéraux

L'estimation des besoins en éléments minéraux de ces cultures est basée sur la production de matière sèche par cycle et par saison et sur les teneurs moyennes en éléments de la plante analysée à la récolte. Ces données permettent de calculer les besoins et les exportations en fonction des rendements.

Les teneurs en azote des fourrages tempérés varient, selon les coupes, entre 2,8 et 3,8 % de la matière sèche, alors que pour le kikuyu et le chloris, elles varient de 2 à 2,4 % de la matière sèche.

Les exportations en éléments minéraux d'une parcelle de culture fourragère sont élevées chaque année, étant donné les nombreuses coupes possibles et les fortes productions de matière sèche, qui varient de 10 à 30 t/ha/an. En moyenne, les exportations sont de l'ordre de 500 kg/ha/an N, 120 kg/ha/an P₂O₅, 500 kg/ha/an K₂O (**tableau 2**).

Tableau 2.

Exportations en N, P₂O₅, et K₂O (kg/ha/an) selon le niveau de production en matière sèche.

Matière sèche (t/ha/an)	N fourrage tropical (N fourrage tempéré)	P ₂ O ₅	K ₂ O
10	200 (300)	60	220 à 300
20	400 (600)	120	440 à 600
30	600 (900)	180	660 à 900

Outils de contrôle et de diagnostic

Les outils de contrôle et de diagnostic sont identiques à ceux utilisés pour la canne à sucre.

Les analyses agronomiques d'échantillons de sol avant installation des prairies permettent d'obtenir un conseil sur les chaulages à effectuer (ce qui est généralement le cas pour les sols des hauts de La Réunion) et sur les fertilisations à réaliser en fonction de la fertilité du sol (renforcement en N ou P ou K).

Le diagnostic nutritionnel sur la plante entière ou les indices de nutrition calculés d'après le système d'interprétation des courbes de dilution (mesure de la production en matière sèche et analyse en N-P-K) permettent des ajustements de fertilisation en cours de culture. Pour ce faire, des courbes de dilution optimales ont été calées préalablement sur des d'essais. La fertilisation est ajustée en fonction des équilibres nutritionnels en éléments minéraux mesurés (Mandret et al., 2000).

Les conseils en fertilisation basés sur la mesure des indices de nutrition est opérationnel depuis quelques années chez plus de 50 agriculteurs à La Réunion. Il est actuellement pris en charge par l'Union des associations foncières pastorales de La Réunion (UAFP) où un technicien en assure le suivi.

Fertilisation recommandée

L'estimation des besoins en éléments nutritifs des cultures est nécessaire pour établir des plans de fertilisation qui incluent les apports de matières organiques. Plusieurs documents ont été édités pour aider les agriculteurs dans le choix de leur fertilisation minérale — dont les *Fiches CIRAD élévation-mieux : Fertilisation des prairies, plan de fumure et fumures de correction* (éditées en 1988 par le CIRAD-Réunion, Saint-Denis) et, en 2004, le *Guide technique pour la création, la gestion et la valorisation des prairies à La Réunion* de l'UAFP et CIRAD (Barbet-Massin et al., 2004).

Exemple de fertilisation préconisée avec des engrais minéraux

(d'après Barbet-Massin et al., 2004). Cette fertilisation est actuellement conseillée par l'UAFP pour répondre à un déséquilibre nutritionnel P-K fréquemment observé sur les fourrages. Il est donc proposé une fertilisation de correction en P (due à une très forte fixation du phosphore apporté dans les andosols et donc à sa faible disponibilité pour la culture) et une réduction de celle en K.

Remarque : cette fertilisation ne correspond pas aux niveaux d'exportation en éléments minéraux des cultures fourragères mentionnés au tableau 2 et ne peut pas durer sur une même parcelle plus de quelques années. Lorsque la nutrition minérale des fourrages se rééquilibre, de nouvelles formules sont conseillées.

Conditions de la parcelle	Niveau de production : 12 t/ha/an de matière sèche Pâture : chargement en bovins supérieur à 2,5/ha/an ou Fauche à rotation rapide (7 à 9 coupes par an)		
Saison	En début de saison des pluies (décembre)	En début de saison fraîche (mars)	En saison fraîche
Effet recherché	Engrais complet riche en P et K, pour recharger le sol en P et entretenir la fertilité en K, apport de N limité pour réduire la production, compte tenu de la faible utilisation de la pousse par le troupeau Réduire les gaspillages (forte production et sénescence des fourrages) et les pertes par lessivage de N	Engrais plus riches en N pour constituer un stock d'herbe sur pied durant la saison sèche	Engrais à action rapide et efficace, riche en N, pour compenser la faible minéralisation du sol et compenser le ralentissement de la pousse dû au froid et à la sécheresse
Type d'engrais N-P-K	16 - 30 - 15 15 - 12 - 24 10 - 20 - 20	16 - 29 - 12 15 - 12 - 24	33 - 11 - 06 30 - 10 - 10 38 - 12 - 0
Dose d'engrais (par an)	300 à 350 kg/ha	300 à 350 kg/ha	4 fois 200 kg/ha
Total (kg/ha/an)	342 N – 235 P ₂ O ₅ – 144 K ₂ O		

Epandage de matières organiques

Choix des matières organiques

La fertilisation organique a lieu soit avant l'implantation de la prairie, soit après chaque coupe. Les matières organiques à apporter lors de l'installation des prairies sont des fumiers pailleux ou toutes formes de fumiers et de composts. La fumure d'entretien est constituée de lisiers ou de fumiers très évolués ou compostés.

Lorsque l'agriculteur dispose de plusieurs matières organiques pour fertiliser les surfaces en herbe, son choix doit tenir compte de l'effet recherché et de nombreuses contraintes (**tableau 3**) :

- besoins en N ou P ou K des prairies ;
- vitesse d'action de l'azote contenu dans la matière organique, par rapport à la dynamique d'absorption de l'azote par la prairie ;
- périodes d'épandage ;
- obligation de vider les fosses à lisier des élevages ;
- risques de perte d'azote par voie gazeuse ou par lixiviation ;
- risques de dégradation du couvert prairial par les matières organiques ou le matériel d'épandage.

Tableau 3.

Effets de différents fertilisants organiques sur les cultures fourragères.

Type de matière organique	Stade de la culture au moment de l'apport	Effets recherchés
Matières organiques solides (fumiers, composts, boues séchées)	Lors de l'installation de la prairie et après la coupe	Améliorateurs du sol Equilibrés en N-P-K Les fumiers et composts fournissent peu d'azote directement utilisable par la culture
Matières organiques liquides (lisiers)	Surtout après la coupe	Fertilisants organo-minéraux de la culture à effet rapide Fournissent de l'azote et du phosphore Plutôt pauvres en K

Avantages des composts par rapport aux fumiers

Diminution importante des odeurs.

Réduction de moitié des volumes à épandre, d'où une réduction des coûts d'épandage.

Possibilité d'épandage sur prairie installée, entre deux repousses.

Pas de phénomène de faim d'azote sur culture après épandage.

Produit assaini de germes pathogènes et de graines d'adventices.

Effet d'amendement plus élevé sur le sol.

Contraintes sanitaires

Sur prairies, l'épandage de matières organiques issues de volailles est exclu pour des raisons sanitaires (risque de botulisme).

L'emploi des boues est réglementé : délai minimal d'épandage de 6 semaines avant le pâturage, teneurs des sols en éléments traces métalliques inférieures aux normes actuellement en vigueur (surveiller le chrome, le nickel et le cuivre à La Réunion).

Les matières organiques apportées sur les fourrages sont surtout celles produites par des élevages de bovin, mais aussi de porc. Leur utilisation est possible à condition de respecter un délai minimal de 6 semaines entre l'épandage et le pâturage.

Doses

Principe général de calcul

(→ *Se reporter aussi à la fiche Calcul de la fertilisation organique*)

Il faut d'abord estimer les quantités d'éléments minéraux apportés par les matières organiques pour calculer le bilan complet des apports minéraux et organiques en N, P, et K dans la fertilisation des prairies.

La dose de matières organiques doit être basée sur les préconisations de fertilisation données par les organismes techniques.

On évalue la fraction d'éléments minéraux apportés par la matière organique choisie. La dose en matière organique est convertie en appliquant les coefficients équivalent-engrais (exemple de l'azote en **tableaux 4, 5** ; pour tous les éléments : → *fiches Matières organiques et chapitre 5 - Les matières organiques produites à La Réunion*).

On ajuste ensuite cette quantité aux limites imposées par le matériel et par les contraintes agronomiques et environnementales.

Le choix de la dose revient donc toujours à un compromis raisonné entre la fourniture d'éléments fertilisants basée sur un élément (N ou P ou K), les contraintes réglementaires et les contraintes matérielles.

Tableau 4.

Coefficients équivalent-engrais CE-N (%) de quelques matières organiques.

Type de matière organique	CE-N (%)
Fumier de bovin	10 à 15 %
Compost de fumier de bovin	5 à 10 %
Compost de fumier de porc	20 %

Cas de l'azote

La fourniture d'azote par la matière organique apportée dépend notamment du mode d'application, qui peut favoriser les pertes d'azote ammoniacal lors de l'épandage. L'utilisation de localisateurs et d'enfouisseurs est fortement recommandée.

Le calcul de l'azote utilisable par la culture recourt au coefficient équivalent-engrais (**tableaux 4, 5**), sachant qu'il ne prend en compte que les pertes faibles et inévitables. Seul l'effet direct est pris en compte. L'arrière-effet azoté des apports antérieurs est pris en compte indirectement dans la fourniture du sol. Ce coefficient équivalent-engrais varie également en fonction des conditions climatiques. Les valeurs de ce coefficient, en fonction des différentes saisons rencontrées dans les hauts de l'île, dans le cas de pertes négligeables lors de l'application, sont proposées dans le **tableau 5**.

Tableau 5.

Valeur estimée des coefficients d'équivalence azotés (CE-N, %) pour des lisiers de bovin et de porc, en fonction de la période d'application, pour des fourrages d'altitude.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
CE-N (%)	-	-	50	50	60	60	60	40	30	30	40	50
Période	Risque climatique Pluies fortes		Pluies		Période optimale			Période fraîche et sèche, mauvaise efficacité due à un ralentissement de la pousse		Hausse des températures, reprise de la pousse		Début des pluies

Conditions d'épandage

Il est recommandé d'éviter les périodes trop pluvieuses pour réduire les pertes rapides par lessivage de l'azote des lisiers.

A La Réunion, en zone bien arrosée, après une coupe de fourrage, l'apport en surface de 20 t/ha de fumier bien décomposé de bovin, ou de 20 t de compost ou de 40 m³/ha de lisier de bovin, est rapidement dégradé. Comme le rythme entre deux coupes pour les espèces tempérées va de 50 à 90 jours, il est possible de réaliser ces apports sans difficulté.

L'épandage de lisier à l'aide d'une cuve équipée d'une queue de paon favorise les pertes élevées d'azote par volatilisation lorsque le temps est sec et venteux et la prairie sèche. En conséquence, il est conseillé d'effectuer ces opérations par temps couvert et humide, sans vent.

Impact sur le couvert prairial

Le fumier frais épandu sur une prairie a un effet destructeur sur le couvert, et favorise par la suite la reprise de plantes adventices. Il est prudent de ne pas épandre des doses supérieures à 30 t/ha de fumier et 20 t/ha de compost de fumier afin de ne pas dépasser des taux de couverture de 30 % de la surface à l'épandage.

Si l'épandage est de mauvaise qualité, il est possible d'émietter les blocs avec une herse quelques jours après l'épandage. Selon les conditions d'application et d'humidité, les engrais de ferme disparaissent en quelques semaines et n'ont plus d'action visible sur la flore.

Epandage et appétence

Généralement, les bovins préfèrent l'herbe fertilisée avec de l'engrais plutôt que l'herbe fertilisée avec de la matière organique. Pour le lisier, s'il est très liquide et s'il a plu abondamment, il n'y a pas de différence d'appétence après quelques semaines. Pour les fumiers, il vaut mieux préférer une forme compostée, sinon l'effet négatif sur l'appétence dure longtemps.

Epandage et flore

Le fumier améliore la proportion et la qualité des graminées : les bonnes graminées réagissent rapidement aux apports d'azote et de phosphore et prennent ainsi la dominance sur les autres graminées et les autres espèces. Des apports répétés de fumier ont tendance à améliorer nettement la flore de la prairie.

Restitutions par les animaux

Sur prairies pâturées et avec les charges pratiquées à La Réunion., les restitutions directes par les animaux sont élevées. Pour 100 jours de pâturage de 1 UGB, les restitutions utilisables par les plantes, selon le type de pâturages, sont de 12 à 16 N, 4 à 8 kg/ha/an de P_2O_5 , et 12 à 25 kg/ha/an de K_2O .



Epandage de lisier sur prairie. © V. van de Kerchove

Risques environnementaux

Lors des grosses pluies, le risque environnemental le plus important est la perte d'azote nitrique par lessivage. Des pertes gazeuses sont également possibles, notamment par dénitrification dans les andosols très humides, mais elles n'ont pas encore été estimées à La Réunion.

Même si les sols sous prairie ont un bon pouvoir d'infiltration, les ruissellements peuvent être importants. L'infiltration est ralentie lorsque l'herbe haute est couchée sur le sol, ce qui favorise le ruissellement de l'eau, sans créer d'érosion du sol de la parcelle. Les forts dégâts d'érosion se font en aval, sur les zones de transit de l'eau.

Après un apport élevé de matière organique, cette eau de ruissellement peut entraîner une partie de l'azote et du phosphore. Ces deux éléments se retrouvent dans les eaux de surface et les nappes phréatiques et peuvent provoquer l'eutrophisation des lagons.

Cette eau de ruissellement peut également entraîner des germes pathogènes apportés par des matières organiques brutes provenant d'élevages dans lesquels sont présents des animaux malades. Ces organismes pathogènes peuvent théoriquement persister longtemps dans le sol en conditions fraîches et de faible ensoleillement, conditions assez rares à La Réunion !

Aucun cas de pollution d'eaux de surface par des germes pathogènes n'a été signalé à La Réunion pour l'instant.

Effet de la culture fourragère sur le stock organique du sol

Comme pour la canne à sucre, nous ne disposons pas de référentiel permettant de faire des diagnostics sur l'évolution de la matière organique des sols sous cultures fourragères à long terme. Mais il est admis que ces cultures, bien menées, ont tendance à faire augmenter le stock organique du sol, du fait de la présence d'un système racinaire actif et renouvelé pendant plusieurs années et d'une vie biologique intense. Les pertes en terre par érosion sont également réduites, ce qui est un facteur de conservation de la qualité des sols.

Prélèvements sur le terrain



Observation d'une coupe de sol sous prairie.
© H. Saint Macary

Prélever un échantillon de sol 192

Prélever des matières organiques 196

Prélever un échantillon de sol pour l'analyse au laboratoire



Mélange des prélèvements élémentaires. © H. Saint Macary

Matériel

Tarière, ou pelle, ou bêche
Plusieurs cuvettes ou seaux
Sac plastique épais
Couteau

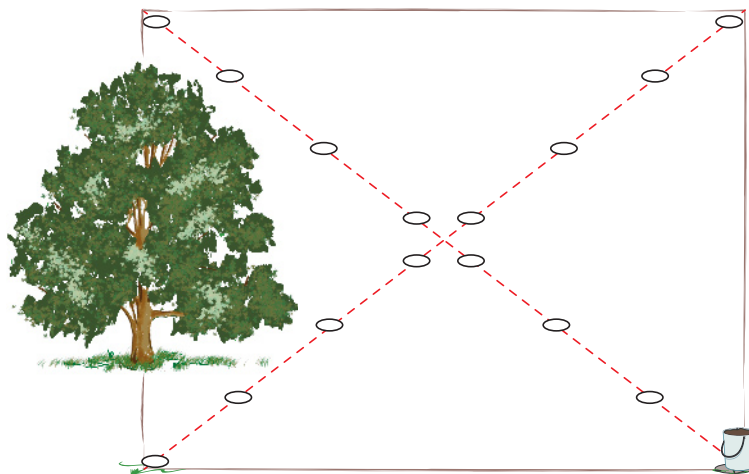
Effectuer 15 prélèvements par hectare en sol homogène

Techniques prélèvement

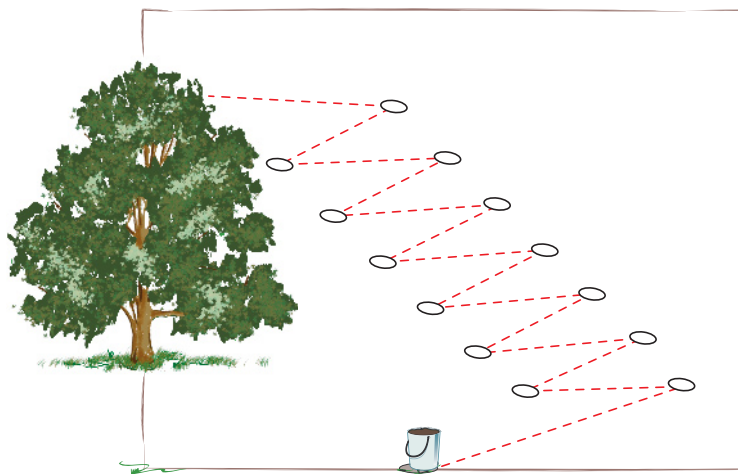
Plusieurs prélèvements élémentaires doivent être effectués dans un champ pour obtenir un résultat fiable. Il est conseillé de réaliser au moins 15 prélèvements élémentaires par hectare en sol homogène (figure 1).

Figure 1.

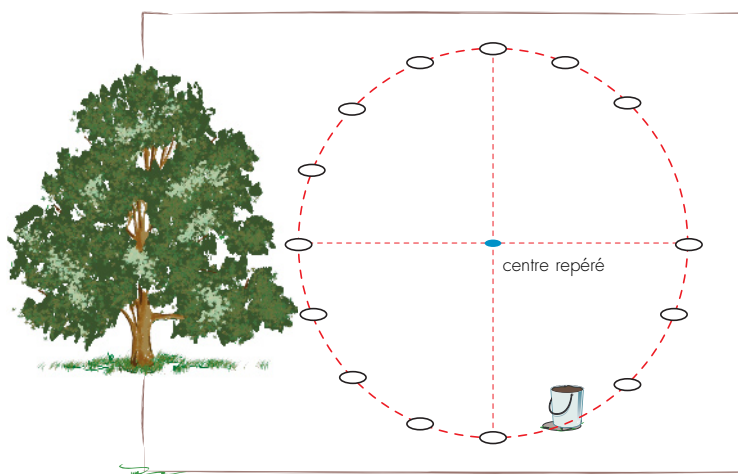
Techniques de prélèvement dans un champ : en diagonale, en zigzag, en cercle.



Prélèvement en diagonale : marcher en suivant les diagonales du champ. Prendre un échantillon tous les 10 m environ (distance à adapter en fonction de la dimension du champ). Stocker dans le seau 1 ou 2 poignées de chaque prélèvement préalablement émiétté et mélangé.



Prélèvement en zigzag : marcher en zigzag à travers le champ, le long de la diagonale. Prendre un échantillon à chaque virage. Stocker dans le seau 1 ou 2 poignées de chaque prélèvement préalablement émiété et mélangé.



Prélèvement en cercle : autour d'un point fixe bien repéré, le rayon étant déterminé en fonction de la dimension de la parcelle ($R = 10$ à 30 m). Le centre et le rayon étant notés, cette technique permet de refaire les prélèvements sur le même cercle et de comparer les analyses dans le temps. Stocker dans le seau 1 ou 2 poignées de chaque prélèvement préalablement émiété et mélangé.

Epoque de prélèvement

Toutes périodes, sauf après les épandages d'engrais, d'amendements divers ou de matières organiques (attendre quelques mois après l'épandage).

Eviter les zones particulières

Zone anciennement décapée ou aménagée ; ancienne zone de dépôt ; anciens chemins ; talus, remblai, mouillère ; le long des chemins, des haies ou des andains.

Prélever dans une tranche de sol déterminée

Les prélèvements sont faits dans une tranche de sol (ou « horizon » de sol) déterminée en fonction de l'épaisseur de l'horizon organique travaillé et de l'enracinement dense de la culture (0-15, 0-20, 0-25, ou 0-30 cm). Il est impératif de ne pas mélanger le sol de deux niveaux différents.

(Note : la caractérisation des horizons profonds (en dessous de 30 cm) ne se fait que pour des raisons particulières : arboriculture, essais agronomiques...).

Utiliser de préférence une tarière

Mais on peut aussi utiliser une bêche ou une pelle, à condition de prélever un volume de terre équivalent à un cube de sol.

Avant de prélever, nettoyer la surface du sol des résidus organiques ou autres.

Enfoncer la tarière jusqu'à la profondeur choisie (15, 20, 25, ou 30 cm).

Enlever et jeter le sol en bout de tarière de l'horizon inférieur (si on observe un changement de couleur ou de texture).

Recueillir le reste du contenu de la tarière dans un seau, émietter, enlever les cailloux et mélanger.

Mettre 1 ou 2 poignées de chaque prélèvement dans le seau ou la cuvette destiné à fabriquer l'échantillon moyen.

Dans le cas d'une parcelle comprenant deux ou plusieurs types de sol

S'il n'y a pas de problème dans la culture malgré l'hétérogénéité : faire un échantillon moyen correspondant à la zone de sol la plus vaste.

S'il y a des différences nettes dans la culture : faire un échantillon moyen par zone représentative pour comparer à l'analyse.

Dans le cas d'une parcelle homogène mais présentant des accidents de culture dans des zones bien définies

Repérer les principales zones distinctes (2 ou 3) et faire un échantillon moyen par zone pour comparer à l'analyse.

Constituer l'échantillon moyen qui sera porté au laboratoire

Les poignées prises dans chacun des 15 (ou plus) prélèvements sont soigneusement mélangés dans le seau. Ensuite, prendre 10 poignées (total : 1 kg) pour remplir un sac plastique qui sera donné au laboratoire : c'est l'échantillon moyen.

Remplir la fiche d'identification qui accompagnera le sac de l'échantillon moyen (voir page suivante). Conserver l'échantillon moyen au frais jusqu'à son arrivée au laboratoire.

Cas de prélèvements de sol pour l'épandage de boues d'épuration

Dans le cas de prélèvements de sol pour l'épandage de boues d'épuration, l'arrêté du 08 janvier 1998 indique que les prélèvements de sol doivent être faits dans un rayon de 7,50 m autour du point de référence repéré par ses coordonnées prises au GPS. Il faut alors 16 prélèvements élémentaires pris au hasard dans le cercle ainsi dessiné.

Les conditions de ces prélèvements sont les suivantes :

- de préférence en fin de culture et avant le labour de préparation de la culture suivante ;
- avant un nouvel épandage de boues ou de matières organiques ;
- en observant de toute façon un délai suffisant après un apport de matières fertilisantes pour permettre leur intégration correcte au sol ;
- à la même époque de l'année que la première analyse.

Fiche d'identification de l'échantillon moyen

Dans tous les cas, l'échantillon moyen mis en sac plastique et amené au laboratoire doit porter la fiche d'identification suivante :

- date de prélèvement ;
- nom de l'exploitant et du responsable du prélèvement (dans le cas d'une structure professionnelle ou d'un institut) ;
- repérage géographique (lieu ou coordonnées sur carte ou par GPS) ;
- type de sol ;
- culture (avant, en place, ou après) ;
- tout renseignement complémentaire permettant de ne pas confondre l'échantillon avec un autre prélevé dans des conditions similaires (cas de plusieurs échantillons moyens prélevés sur la même parcelle, du fait d'accidents de culture ou d'une parcelle hétérogène).

Remarque sur les techniques d'analyse rapide au champ

Les techniques d'analyse au champ (➔ chapitres 4 - *Analyses agronomiques*) restent assez imprécises pour être jugées satisfaisantes par un agronome. Elles permettent toutefois un suivi dans le temps pour certaines formes minérales. Elles permettent aussi de détecter des problèmes importants liés au sol.

Elles imposent de toute façon la même rigueur dans le prélèvement et la qualité de l'échantillonnage que pour une analyse de laboratoire.

Prélever des matières organiques pour l'analyse au laboratoire



Prélèvement de fientes de poule séchées. © V. van de Kerchove

Principes de l'échantillon moyen apporté au laboratoire

Prélever en plusieurs fois

Le prélèvement est délicat car les matériaux solides sont hétérogènes et les produits liquides peuvent sédimenter dans les fosses ou les réservoirs.

La technique utilisée doit permettre de constituer un échantillon représentatif de l'ensemble (fosse, tas, bâtiment, épandage au champ...).

Un bon échantillonnage est constitué par le mélange et le brassage de plusieurs prélèvements.

Constituer l'échantillon moyen

- Regroupement des prélèvements.
- Brassage soigneux.
- Constitution d'un échantillon d'un kg ou d'un litre, choisi de manière aléatoire ou par divisions successives.

Emballer l'échantillon

- Produits solides, fumiers : sacs en matière plastique.
- Produits pâteux : barquettes + couvercle en matière plastique.
- Produits liquides : flacons à large goulot + couvercle, remplis aux deux tiers du volume.

Conserver l'échantillon

- Dès que possible et pendant le transport, conserver l'échantillon au froid.
- Conserver au frais à + 4 °C pour un délai de moins de 12 heures jusqu'à l'arrivée au laboratoire.
- Congélation (- 18 °C) au delà de 12 heures.

Etiquetage de l'échantillon moyen

Dans tous les cas, l'échantillon moyen confectionné est emballé et amené au laboratoire. Le sac, la barquette ou le flacon doivent porter la fiche d'identification suivante :

- nom de l'exploitant ou du responsable du prélèvement (dans le cas d'une structure professionnelle ou d'un institut) ;
- date de prélèvement ;
- nature de l'échantillon ;
- observations sur le type d'élevage ;
- lieu de prélèvement.

Echantillonnage des fumiers et composts

Faire au moins 15 prélèvements répartis dans l'ensemble du tas ou de la fosse, en évitant les couches de surface pour les tas. Pour une litière dans un bâtiment, les différentes zones du bâtiment sont échantillonnées.

Les prélèvements sont soigneusement mélangés dans un seau. L'échantillon moyen d'un kg est ensuite constitué à partir de ce mélange et conservé dans un sac hermétique.

Des techniques spécifiques sont préconisées pour des prélèvements lors du stockage en fosses ou en tas :

- « puit » ou carottage. On réalise un trou à travers tout le tas de fumier et on prélève tout ;
- tranche. On prélève une tranche complète d'un tas de fumier.

Echantillonnage des lisiers et boues liquides

Prélèvement dans la fosse

- Prélèvement lors de la reprise. Au moins 10 doses sont prélevées à la pompe pendant toute la durée du pompage.
- Prélèvement direct dans la fosse au seau (plusieurs prélèvements) ou à l'aide d'une sonde, en effectuant plusieurs refoulements successifs.

Le brassage de la fosse à lisier est indispensable. Attention au dégagement d'ammoniac (NH_3) : il est toxique pour celui qui prélève et il induit une faible perte en azote. Le brassage peut être réalisé avec les pompes refoulantes à lisier. Avec un godet monté sur un bras, plusieurs prélèvements sont effectués dans la fosse à différentes profondeurs juste après le brassage, en évitant la surface et le fond de la fosse.

Les prélèvements sont recueillis dans un seau et mélangés soigneusement. Une bouteille plastique ou un flacon est rempli avec ce mélange, puis fermé et conservé au frais. Attention, la fermentation peut faire éclater la bouteille si on conserve l'échantillon plusieurs jours, même au froid !

Prélèvement de lisier à l'épandage

Le prélèvement à l'épandage au champ sert à estimer la qualité du lisier, la dose exacte de lisier épandue, et les pertes gazeuses au moment de l'apport.

On pose une dizaine de bacs sur le sol en fonction de la largeur d'épandage (éviter le passage des roues des engins !). Les échantillons sont récupérés après le passage du tracteur. La manipulation est refaite à plusieurs lieux de passage.

On mesure les volumes par bac dans une éprouvette pour estimer la dose par unité de surface et on les échantillonne dans un flacon en vue de l'analyse (même volume pris dans chaque bac).

Prélèvement de boue de station

Les boues de station d'épuration font l'objet d'un échantillonnage particulier, en général réalisé par des spécialistes. La méthode d'échantillonnage est régie par l'arrêté du 8 janvier 1998 auquel on pourra se reporter:



Cuvettes pour mesurer et échantillonner un épandage de lisier au champ. © F. Feder

Matières organiques



Broyeur de déchets verts à Saint-Pierre.
© V. van de Kerchove

Mode d'emploi des fiches Matières organiques	200
Fumier de bovin	204
Fumier de caprin	207
Fumier de cheval	210
Fumier de lapin	213
Fumier de mouton	216
Fumier de poulet de chair	219
Fumier de poule pondeuse	222
Fiente de poule pondeuse	225
Lisier de bovin	228
Lisier de lapin	231
Lisier de porc	234
Lisier de poule pondeuse	238
Compost de fumier de bovin sur support cellulosique .	241
Compost de fumier de poulet de chair	244
Compost de fumier de poule pondeuse	247
Compost de fumier de poulet de chair et de lisier de porc .	250
Compost de lisier de porc et de bagasse	253
Compost de géranium	256
Compost de déchets verts	259
Compost de déchets verts et de boue d'épuration ..	262
Boue d'épuration liquide	265
Boue d'épuration pâteuse	268
Boue d'épuration solide-sèche	271
Boue d'épuration solide	274
Écume fraîche de sucrerie	277
Vinasse de distillerie	280

Mode d'emploi des fiches

Matières organique



Broyeur. Compost final déchets verts + fraction fermentescible des ordures ménagères.
© V. van de Kerchove

Définition

Nature de la matière organique.

Origine et description

Origine du produit, mode de fabrication et description (couleur, consistance, homogénéité).

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : C'est le rapport de la teneur en carbone sur la teneur en azote. Ce ratio permet de déterminer le niveau de maturité d'une matière organique et sa rapidité de minéralisation de l'azote.

C/N varie de 4 à 6 pour des matières riches en azote et se comportant comme des engrais azotés, par exemple les boues et les fientes, à plus de 20 pour des fumiers pailleux qui peuvent réorganiser l'azote du sol au détriment de la nutrition de la plante.

Indice de stabilité biochimique (ISB) : L'ISB est fondé sur la composition biochimique de la matière organique. Cet indice (en %) permet de déterminer le degré de biodégradation d'une matière organique et sa stabilité au cours du temps. Il ne peut être déterminé que pour des matières organiques à base de végétaux. Il est en relation étroite avec le coefficient isohumique K_I . Il varie en théorie de 0 (matière non stable) à 100 (matière très stable).

K_I : K_I est le coefficient isohumique. Ce coefficient (en %) représente la proportion de la matière organique apportée qui contribue à augmenter l'humus du sol. K_I varie en théorie de 0 à 100, mais l'écart des valeurs habituellement rencontrées va de 5 % pour les matières peu humigènes à plus de 30 % pour de bons amendements organiques.

Caractéristiques physico-chimiques

pH : Le pH est l'indice représentant l'acidité de la matière organique apportée, pouvant avoir un effet sur le pH du sol et sur les caractéristiques biologiques du sol, en particulier la vie microbienne. Sa valeur varie en théorie entre 1 et 14. Une valeur de 7 correspond à une matière neutre ; une valeur inférieure à 7 indique une matière acide, une valeur supérieure à 7 indique une matière basique.

Coefficients d'équivalence engrais pour N, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO

Ces coefficients servent à caractériser l'utilisation réelle par les cultures des éléments fertilisants contenus dans la matière organique. La quantité équivalente d'éléments minéraux assimilables, dite « équivalent-engrais », est divisée par la quantité totale d'éléments de la matière organique. La plupart de ces coefficients sont issus de la bibliographie ; quelques-uns ont été déterminés par des expérimentations à La Réunion. Ces coefficients varient de 0 à 1 (ou 0 à 100 %).

Exemple : pour une matière épandue, un coefficient d'équivalence engrais azoté de 0,5 signifie que, l'année de l'épandage, 50 % de la quantité d'azote total apportée par la matière organique aura le même effet qu'un engrais azoté minéral sur la culture. Les 50 % restants sont perdus ou réorganisés au sein de la matière organique du sol. Cette partie non prise en compte dans l'effet direct peut avoir un arrière-effet sur les cultures des cycles suivants.

Composition en éléments fertilisants totaux de la matière organique décrite, exprimée en kg par tonne de produit brut (kg/t produit brut)

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne									
Ecarts									
Variabilité									

Ce tableau est issu des analyses réalisées à La Réunion par la MVAD, le CIRAD et des tiers. L'ensemble des résultats a été regroupé dans une base de données de la MVAD qui permet une approche statistique simple. Il est indiqué le nombre d'échantillons de matières organiques sur lesquels des analyses ont été réalisées.

La « **Moyenne** », lorsqu'elle est calculée sur un faible nombre de données, peut être biaisée. Il est donc recommandé, lorsque le nombre d'échantillons analysés est faible, de regarder si les teneurs sont très variables ou non ; les deux lignes suivantes du tableau (« **Ecarts** » et « **Variabilité** ») le permettent.

Les deux chiffres de la ligne « **Ecarts** » donnent les valeurs entre lesquelles se situent 50 % des données (c'est-à-dire entre le premier et le troisième quartile).

La ligne « **Variabilité** » est une interprétation sur l'étendue de la fourchette de variation fournie autour de la moyenne. Elle est présentée selon 5 niveaux, de très faible à très fort. Cette interprétation permet de savoir si la valeur fournie par la moyenne est susceptible d'être très variable ou non. S'il y a une très forte variation et que l'agriculteur souhaite connaître précisément la composition de la matière organique dont il dispose, il est préférable de la faire analyser par un laboratoire.

Comparaison de la composition de la matière organique décrite aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion			
Composition de la matière organique dans la bibliographie			

La première ligne du tableau permet de comparer les teneurs en azote, en phosphore et en potassium de la matière organique détaillée dans la fiche à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion. Cette interprétation se base sur une classification décrite plus en détail dans le chapitre 5 - *Les matières organiques produites à La Réunion*.

La seconde ligne du tableau permet de comparer les teneurs de la matière organique de La Réunion aux teneurs de la même matière organique fournies par la bibliographie. Lorsque plusieurs chiffres figurent dans cette ligne, ils indiquent les minima et les maxima observés. Lorsqu'un seul chiffre y est noté, il représente la moyenne.

Composition en éléments traces métalliques de la matière organique décrite (mg/kg de matière sèche)

ETM	Cadmium (Cd)	Chrome (Cr)	Cuivre (Cu)	Mercuré (Hg)	Nickel (Ni)	Plomb (Pb)	Zinc (Zn)	Cr+Cu+Ni+Zn
Valeurs moyennes								
Valeurs limites réglementaires								

Ce tableau présente les moyennes calculées pour sept éléments trace métalliques (ETM), lorsque des résultats d'analyses sont disponibles dans la base de données de la MVAD. Elles sont comparées aux valeurs limites réglementaires fixées pour leur utilisation en agriculture.



Intérêt agronomique

Les principales caractéristiques agronomiques de la matière organique sont présentées dans ce paragraphe. La qualité de l'azote contenu dans la matière organique est évaluée en fonction de la teneur en azote total et de l'azote disponible pour la culture, ce dernier étant calculé par le produit entre « teneur en azote total de la matière organique » et « coefficient équivalent-engrais azoté ».

Il en est de même pour les autres éléments.

L'intérêt de la matière organique comme amendement organique ou engrais organique est mentionné. La valeur amendante est donnée en prenant en compte les valeurs connues de l'ISB ou du K_i dans la bibliographie.

Modalités d'épandage

Cette partie présente les modalités générales d'épandage et d'utilisation de la matière organique sur les principales cultures de La Réunion. Les effets sont indiqués : avantages, risques de perte en éléments nutritifs, respect des doses à épandre, etc.

Précautions d'utilisation

Risques potentiels liés à l'usage de la matière organique	Conséquences potentielles	Précautions d'usage de la matière organique
Les risques potentiels liés à l'usage de la matière organique sont indiqués	Les conséquences potentielles sur la santé humaine ou animale et sur l'environnement sont répertoriées	Les précautions d'usage de la matière organique sont mentionnées

Exemple de calcul de fertilisation

Les principales caractéristiques agronomiques sont résumées à l'aide d'un exemple de calcul des éléments nutritifs apportés, en se basant sur une quantité d'azote total de 200 kg/ha/an.

A partir des données moyennes, sont calculées les quantités d'azote total apportées et la part d'azote disponible pour les cultures en tenant compte du coefficient d'équivalence engrais. Il en est de même pour le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium.

La valeur amendante de l'apport est donnée.

Références réglementaires

Cette partie se réfère aux textes réglementaires qui régissent l'épandage de la matière organique présentée dans la fiche.

Quantité produite

Cette partie présente, pour la matière organique de la fiche, les quantités produites à La Réunion. Les valeurs données proviennent de la base de données GEMO installée à la Direction de l'agriculture et de la forêt (DAF, 2005). Ces données sont indicatives et une évolution de la production est possible.

Fumier de bovin



Bovins. © H. Cailleaux

Définition

Mélange plus ou moins décomposé de litière carbonée (par exemple : pailles de canne à sucre, bagasse...) et de déjections (fèces et urine) de bovin. C'est un fumier jeune avec une phase de maturation inférieure à 2 mois (fumier de type I, classification ITAB).

Origine et description

Ce fumier est issu de la vidange et du raclage des étables d'élevages de bovins (filères viande et lait). Matière brune, plus ou moins pailleuse et compacte, hétérogène, à odeur caractéristique, relativement humide.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 14 à 18 ISB : 40 à 60 K_1 : 20 à 40

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 6 à 8 (plutôt neutre)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,1 à 0,4 P_2O_5 : 1 K_2O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants du fumier de bovin (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 46 échantillons de fumier de bovin.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P_2O_5)	Potassium total (K_2O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	6,2	0,6	3,1	7,2	4,6	3,0	24,1	284	180
Ecarts	5,3 - 6,4	0,51 - 0,62	1,8 - 4,0	4,0 - 9,4	3,0 - 5,6	1,6 - 3,5	15,7 - 28,8	224 - 300	150 - 193
Variabilité	très faible	très faible	faible	forte	moyenne	faible	faible	faible	faible

Comparaison de la composition des fumiers de bovin produits à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	moyenne	pauvre	moyenne
Composition du fumier de bovin dans la bibliographie	2,4 à 5,5	1 à 3,7	2,7 à 8

Matière organique < 20% de MB = donc ne répond pas à la norme "fumier".



Intérêt agronomique

Amendement organique, C/N : >14. Le fumier de bovin est un produit relativement mature. L'azote contenu dans ce fumier n'est pas disponible immédiatement pour la plante. L'apport de fumier au sol bloque l'azote du sol, nécessaire à la minéralisation des pailles, ce qui peut entraîner des faims d'azote plus ou moins fortes par la culture (jaunissement, voire mort des plantes). Un à 3 mois après, l'azote est progressivement libéré en petites quantités par minéralisation biologique. Cette matière organique a un effet à long terme sur la fertilité du sol. Elle sert à l'entretien du stock d'humus du sol et joue surtout sur l'amélioration de la structuration du sol (apport de matière organique jeune) et des activités biologiques. L'apport d'humus au sol est de l'ordre de 100 kg par tonne apportée.

Matière organique ayant des teneurs moyennes en éléments fertilisants relativement bien équilibrés (azote, phosphore, potassium) par rapport aux besoins des plantes. Mais attention au peu d'azote directement assimilable par rapport aux apports d'azote total.

Modalités d'épandage

Canne à sucre : utiliser le fumier de bovin comme fumure de fond, à la plantation en plein ou en localisé dans les sillons.

Maraîchage : enfouir le fumier de bovin pour entretenir l'humus du sol avant les travaux du sol. En maraîchage, à utiliser à condition que le tas de fumier ait atteint de façon homogène une température élevée (60 - 65 °C) pendant au moins une semaine. Le compostage est une solution permettant de diminuer les risques potentiels de contamination par des agents pathogènes.

Prairies ou cultures fourragères : utiliser le fumier de bovin pour entretenir l'humus du sol. Enfouir lors de la création de la prairie. On peut également l'apporter en surface en respectant un taux de couverture de moins de 30 % pour limiter les problèmes de reprise de l'herbe. Le fumier est plus difficile à épandre que le compost.

Arboriculture : utiliser le fumier de bovin comme amendement de fond, à la plantation. Pendant la croissance, possibilité de l'épandre autour des troncs et de l'enfouir par un passage de disques légers.

Utilisable en agriculture biologique s'il provient d'élevages extensifs (2 UGB/ha au maximum).

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Faible : peu d'agents pathogènes	-	Se référer aux limites réglementaires sur les agents pathogènes imposées par la norme NFU 44-05 I
Sur prairie : risque de manque d'appétit des ruminants après épandage	Rare cas de malnutrition	Respecter les délais de remise en pâture des animaux ou de récolte des cultures fourragères

Exemple de calcul de fertilisation

Par exemple, 32 t/ha de fumier de bovin apportent :

- 200 kg/ha d'azote total, mais une faible partie est minéralisée sur une longue durée, 40 kg en moyenne ;
- 99 kg/ha P_2O_5 total et disponible ;
- 231 kg/ha K_2O ;
- 146 kg/ha CaO ;
- 96 kg/ha MgO ;
- 5 760 kg/ha de matière organique fournissant au sol 3 200 kg/ha d'humus.

Références réglementaires

Épandage réglementé au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le Règlement sanitaire départemental (RSD).

Trop humide pour la norme NFU 44-05 I.

Respecter la réglementation pour le stockage et les épandages (RSD, directive nitrate).

Quantité produite

En 2000, la quantité de fumier de bovin produite a été estimée à 14 000 t de matière brute (estimation faite à partir d'une base de 5 % des effectifs bovins de l'île).

Fumier de caprin



Caprins. © H. Cailleaux

Définition

Matière organique composée d'un mélange de litière carbonée (par exemple : paille de canne) et de déjections de caprins (cabris), plus ou moins décomposée.

Origine et description

Ce fumier est issu des élevages de caprins en stabulation. L'aspect dépend de la litière. Matière hétérogène, pailleuse, forte odeur de caprin, relativement sèche.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 9 à 14 ISB : 40 à 60

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 7,8 à 8,5 (légèrement basique)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,1 à 0,4 P₂O₅ : 1 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants du fumier de caprin (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 18 échantillons de fumier de caprin.

Matière présentant des caractéristiques agronomiques assez constantes.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	9,1	nd	3,1	13,9	5,5	3,1	34,8	377	269
Ecart	7,4 - 11,0	-	2,4 - 3,7	9,1 - 17,1	3,9 - 6,5	2,2 - 3,6	24,8 - 41,9	305 - 435	184 - 315
Variabilité	moyenne	-	très faible	moyenne	faible	très faible	faible	moyenne	moyenne

nd : non déterminé

Comparaison de la composition des fumiers de caprin produits à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K _v O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	moyenne	pauvre	riche
Composition du fumier de caprin dans la bibliographie	6 à 10	3,6 à 5,2	5,4 à 7



Intérêt agronomique

Amendement organique, C/N : 15-20. Le fumier de caprin est un produit relativement mature. L'azote contenu dans ce fumier n'est pas disponible immédiatement pour la plante. Il est progressivement libéré en petites quantités par la suite. Cette matière organique a un effet à long terme. Elle sert à l'entretien du stock d'humus du sol et à la régénération des qualités du sol (structure, vie biologique).

Matière organique ayant un taux de matière sèche élevé, une concentration moyenne en azote, faible en phosphore et élevée en potassium.

Une tonne de fumier de caprin fournit : 9 kg d'azote total dont environ 2 kg utilisables, 3 kg P₂O₅ et 14 kg K₂O ainsi que 140 kg d'humus pour le sol.

Modalités d'épandage

Canne à sucre : utiliser le fumier de caprin comme amendement organique et fumure de fond, à la plantation, épandage en plein ou localisé dans les sillons.

Maraîchage : enfouir le fumier de caprin pour entretenir l'humus du sol avant les travaux de sol. Possibilité d'apport au trou. A utiliser à condition que le tas de fumier ait atteint de façon homogène une température élevée (60 - 65 °C) pendant au moins une semaine.

Le compostage partiel est une solution permettant de diminuer les risques potentiels de contamination par des agents pathogènes

Prairies ou cultures fourragères : utiliser le fumier de caprin pour entretenir l'humus du sol. Enfouir lors de la création de la prairie ou apporter en surface en ne dépassant pas 30 % de recouvrement pour éviter les problèmes de reprise de l'herbe.

Arboriculture : utiliser le fumier de caprin comme amendement organique et fumure de fond à la plantation. Épandre autour des troncs en production et enfouir par passage de disques légers.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Agents pathogènes (bactéries, parasites, virus)	Contamination de l'homme et des ruminants	Se référer aux limites réglementaires sur les agents pathogènes imposées par la norme NFU 44-051
Sur prairie : risque de manque d'appétit des ruminants après épandage	-	Respecter les délais de remise en pâture des animaux ou de récolte des cultures fourragères

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de fumier de caprins permet le maintien de la matière organique du sol. Ne pas dépasser des apports de l'ordre de 30 t/ha.

Un apport de 22 t/ha fournit :

- 200 kg/ha d'azote total, dont une faible part est minéralisée, environ 45 kg N ;
- 69 kg/ha P_2O_5 total disponible ;
- 306 kg/ha K_2O ;
- 122 kg/ha CaO ;
- 69 kg/ha MgO ;
- 5 900 kg/ha de matière organique fournissant 3 080 kg/ha d'humus au sol.

Références réglementaires

Stockage et épandage réglementés au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le Règlement sanitaire départemental (RSD).

Effluent normalisé (NFU 44-051).

Quantité produite

En 2000, la quantité de fumier de caprin produite sur l'île a été estimée à 20 000 t de matière brute.

Fumier de cheval



Cheval. © H. Cailleaux

Définition

Matière organique constituée d'un mélange plus ou moins décomposé de litière carbonée (par exemple : sciure de bois, paille de canne) et de déjections de cheval.

Origine et description

Ce fumier est issu des centres équestres.

Un cheval produit en moyenne 35 kg de fumier par jour.

Le renouvellement des litières doit être journalier si l'effectif dépasse 10 chevaux. Ce fumier est donc riche en sciure ou en paille ; il est plus ou moins pailleux selon les élevages.

Matière hétérogène, déjections individualisées, odeur caractéristique.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 25,3 ISB : 15 à 25

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 7 (neutre)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,15 à 0,30 P₂O₅ : 1 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants du fumier de cheval (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 8 échantillons de fumier de cheval pour les teneurs en azote total, matière sèche, matière organique, et à partir de 3 échantillons pour les autres caractéristiques agronomiques.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	5,3	nd	2,6	1,6	5,7	3,9	19,1	366	254
Ecarts	3,5 - 5,6	-	2,4 - 3,0	1,3 - 1,9	5,1 - 5,6	3,5 - 4,3	15,8 - 21,5	302 - 417	201 - 309
Variabilité	faible	-	très faible	très faible	très faible	très faible	très faible	moyenne	moyenne

nd : non déterminé

Comparaison de la composition des fumiers de cheval produits à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	moyenne	pauvre	pauvre
Composition du fumier de cheval dans la bibliographie	8,2	3,2	9



Intérêt agronomique

Amendement organique, C/N > 20. Le fumier de cheval est un produit peu mature. Il peut même entraîner une faim d'azote sur les cultures. L'azote contenu dans le fumier de cheval est peu disponible pour la plante. Il est progressivement libéré en petites quantités par la suite. Ce fumier sert essentiellement à l'entretien du stock d'humus du sol.

Matière organique ayant une concentration moyenne en azote, des concentrations faibles en phosphore et en potassium (peu d'analyses disponibles concernant ces éléments).

Modalités d'épandage

Canne à sucre : utiliser le fumier de cheval comme amendement organique et fumure de fond, à la plantation, en plein ou localisé dans les sillons.

Maraîchage : enfouir le fumier de cheval pour entretenir l'humus du sol. Utiliser à condition que le tas de fumier ait atteint de façon homogène une température élevée (60 - 65 °C) pendant au moins une semaine. Le compostage partiel est une solution permettant de diminuer les risques potentiels de contamination par des agents pathogènes.

Prairies ou cultures fourragères : utiliser le fumier de cheval pour entretenir l'humus du sol. Enfouir lors de la création de la prairie ou apporter en surface.

Arboriculture : utiliser le fumier de cheval comme amendement organique et fumure de fond à la plantation. Épandre autour des troncs pendant la croissance et enfouir par disquage léger.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Agents pathogènes (bactéries, parasites, virus)	Contamination de l'homme et des ruminants	Se référer aux limites réglementaires sur les agents pathogènes imposées par la norme NFU 44-051
Résidus de traitements vétérinaires	Effet sur la flore et la faune du sol	Respecter les doses d'épandage
Sur prairie : risque de manque d'appétit des ruminants	Rare malnutrition des animaux	Respecter les délais de remise en pâture des animaux ou de récolte des cultures fourragères

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de fumier de cheval permet le maintien de la matière organique du sol. Il permet également le maintien du pH. Ne pas dépasser des apports de l'ordre de 40 t/ha.

Par exemple, 38 t/ha de fumier apportent :

- 200 kg/ha d'azote total, mais une faible partie est minéralisée et disponible pour la culture. Il y a un risque de faim d'azote pour les cultures après enfouissement
- 100 kg/ha P_2O_5 ;
- 62 kg/ha K_2O ;
- 217 kg/ha CaO ;
- 147 kg/ha MgO ;
- de nombreux oligo-éléments ;
- 9 650 kg/ha de matière organique.

Références réglementaires

Stockage et épandage réglementés au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le Règlement sanitaire départemental (RSD).

Effluent normalisé (NFU 44-051)

Quantité produite

En 2000, la quantité de fumier de cheval produite sur l'île a été estimée à 3 600 t de matière brute.

Fumier de lapin



Lapins. © H. Cailleaux

Définition

Matière organique constituée d'un mélange plus ou moins décomposé de litière carbonée et de déjections de lapins.

Origine et description

Ce fumier est issu des élevages intensifs de lapins. Il est en général peu pailleux.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 17,4 ISB : non déterminé

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 7,6

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,2 P₂O₅ : 1 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants du fumier de lapin (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 9 échantillons de fumier de lapin.

Matière présentant des caractéristiques moyennement variables.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	4,8	nd	2,7	3,2	5,4	1,5	17,6	202	164
Ecart	4,0 - 5,5	-	1,9 - 3,3	1,8 - 4,1	4,7 - 6,2	1,1 - 1,8	13,5 - 20,9	180 - 225	152 - 183
Variabilité	faible	-	faible	moyenne	moyenne	faible	moyenne	moyenne	moyenne

nd : non déterminé

Comparaison de la composition des fumiers de lapin produits à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	moyenne	pauvre	pauvre
Composition du fumier de lapin dans la bibliographie	pas de donnée	pas de donnée	pas de donnée

Matière organique < 20 % de matière brute = donc ne répond pas à la norme « fumier ».



Intérêt agronomique

Amendement organique, C/N : 15 à 20. Le fumier de lapin est un produit relativement mature. L'azote contenu dans ce fumier n'est pas disponible immédiatement pour la plante. Il est progressivement libéré en petites quantités par la suite. Cette matière organique a un effet à long terme. Elle sert à l'entretien du stock d'humus du sol.

Matière organique ayant une concentration moyenne en azote et des concentrations faibles en phosphore et en potassium. Cependant, le fumier de lapin est relativement équilibré pour ces éléments fertilisants. Ce fumier contient également du calcium, favorable à l'entretien du pH du sol et des oligo-éléments favorables à la croissance de la plante.

Modalités d'épandage

Canne à sucre : utiliser le fumier de lapin comme amendement organique et fumure de fond à la plantation. Epandage en plein ou localisé dans les sillons.

Maraîchage : enfouir le fumier de lapin pour entretenir l'humus du sol. A utiliser à condition que le tas de fumier ait atteint de façon homogène une température élevée (60 - 65 °C) pendant au moins une semaine. Le compostage partiel est une solution permettant de diminuer les risques potentiels de contamination par des agents pathogènes.

Prairies ou cultures fourragères : peu utilisé.

Arboriculture : utiliser le fumier de lapin comme amendement organique et fumure de fond à la plantation. Epandre autour des troncs et enfouir par disquage léger.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Agents pathogènes (bactéries, parasites, virus)	Contamination de l'homme et des ruminants	Se référer aux limites réglementaires sur les agents pathogènes imposées par la norme NFU 44-051
Risque de manque d'appétit des ruminants	-	Respecter les délais de remise en pâture des animaux ou de récolte des cultures fourragères

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de fumier de lapin permet le maintien de la matière organique du sol. Ne pas dépasser des apports de l'ordre de 30 à 40 t/ha.

Par exemple, 40 t/ha de fumier de lapin apportent :

- 193 kg/ha d'azote total dont environ 40 kg sont disponibles pour la culture ;
- 108 kg/ha P_2O_5 ;
- 130 kg/ha K_2O ;
- 215 kg/ha CaO ;
- 60 kg/ha MgO ;
- 6 560 kg/ha de matière organique ;
- oligo-éléments.

Comme pour les autres fumiers, il y a un risque de faim d'azote de la culture après enfouissement.

Références réglementaires

Stockage et épandage réglementés au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le Règlement sanitaire départemental (RSD).

Ne correspond pas à la norme NFU 44-051, car trop humide (matière sèche <30 % de la matière brute).

Quantité produite

En 2000, la quantité de fumier de lapin produite sur l'île a été estimée à 11 600 t de matière brute.

Fumier de mouton



Moutons. © H. Cailleaux

Définition

Matière organique constituée d'un mélange plus ou moins décomposé de litière carbonée (par exemple : paille de canne à sucre) et de déjections (fèces et urine) de mouton.

Origine et description

Ce fumier est produit dans les élevages de moutons de La Réunion.

Cette matière organique est relativement sèche.

Matière solide, brun noir, odeur forte, teneur en paille variable.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 13 ISB : 40 à 60

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 7 à 8 (neutre à légèrement basique)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,1 à 0,3 P₂O₅ : 1 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants du fumier de mouton (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 6 échantillons de fumier de mouton.

Matière présentant des caractéristiques assez stables.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	8,6	nd	4,0	13,3	4,3	2,3	32,5	293	223
Ecart	7,6 - 8,7	-	2,5 - 5,7	6,8 - 16,7	1,9 - 5,5	1,6 - 2,5	20,4 - 39,1	270 - 318	218 - 232
Variabilité	très faible	-	faible	moyenne	faible	très faible	très faible	très faible	très faible

nd : non déterminé

Comparaison de la composition des fumiers de mouton produits à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	moyenne	pauvre	moyenne
Composition du fumier de mouton dans la bibliographie	6,7	4,2	11,2



Intérêt agronomique

Amendement organique, C/N : <15. Le fumier de mouton est un produit relativement mature. L'azote contenu dans le fumier n'est pas disponible immédiatement pour la plante. Il est progressivement libéré en petites quantités par la suite. Cette matière organique a un effet à long terme. Elle sert à l'entretien du stock d'humus du sol. Risque de faim d'azote avec des apports. Le pouvoir amendant est estimé à 100 kg d'humus par tonne apportée.

Matière organique ayant des teneurs moyennes en éléments fertilisants faibles en phosphore. Sa relativement forte teneur en potasse le distingue des autres fumiers. Son effet alcalinisant est d'environ 100 kg équivalents CaO/ha pour un apport de 23 t/ha.

Modalités d'épandage

Canne à sucre : utiliser le fumier de mouton comme amendement organique et fumure de fond à la plantation en plein ou localisé dans les sillons.

Maraîchage : enfouir le fumier de mouton pour entretenir l'humus du sol. A utiliser à condition que le tas de fumier ait atteint de façon homogène une température élevée (60 - 65 °C) pendant au moins une semaine. Le compostage partiel est une solution permettant de diminuer les risques potentiels de contamination par des agents pathogènes.

Prairies ou cultures fourragères : utiliser le fumier de mouton pour entretenir l'humus du sol. Enfouir lors de la création de la prairie. Apporter en surface, respecter 30 % maximum de taux de couverture.

Arboriculture : utiliser le fumier de mouton comme amendement organique et fumure de fond à la plantation. Épandre autour des troncs et enfouir par disquage léger.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Agents pathogènes (bactéries, parasites, virus)	Contamination de l'homme et des ruminants	Se référer aux limites réglementaires sur les agents pathogènes imposées par la norme NFU 44-051
Sur prairie : risque de manque d'appétit des ruminants	-	Respecter les délais de remise en pâture des animaux ou de récolte des cultures fourragères

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de fumier de mouton permet une bonne fertilisation des cultures ainsi que le maintien de la matière organique du sol. Ne pas dépasser des apports de 20 à 30 t/ha.

Par exemple, 23 t/ha de fumier apportent :

- 200 kg/ha d'azote total, dont une faible part sera minéralisée pour la culture de l'année (moins de 60 kg/ha N) ;
- 93 kg/ha P₂O₅ ;
- 310 kg/ha K₂O ;
- 100 kg/ha CaO ;
- 56 kg/ha MgO ;
- 5 200 kg/ha de matière organique fournissant au sol 2 300 kg/ha d'humus.

Références réglementaires

Stockage et épandage réglementés au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le Règlement sanitaire départemental (RSD).

Effluent normalisé (NFU 44-051).

Quantité produite

En 2000, la quantité de fumier de mouton produite sur l'île a été estimée à 1 800 t de matière brute.

Fumier de poulet de chair



Poulets de chair sur litière de copeaux. © P.-F. Chabalier

Définition

Matière organique constituée d'un mélange plus ou moins décomposé de litière carbonée (essentiellement des copeaux de bois) et de déjections de volailles.

Origine et description

Ce fumier est issu des élevages intensifs de poulets de chair. Le mélange des fientes avec le substrat évolue au fur et à mesure sous les animaux puis après raclage des bâtiments et mise en tas. C'est un fumier jeune (moins de 4 mois), d'aspect assez hétérogène et plutôt sec.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 12,6 ISB : 10 à 30

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 7,8 à 8,5 (neutre à légèrement basique)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,6 P₂O₅ : 0,65 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants du fumier poulet de chair (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 30 échantillons de fumier de poulet de chair.

Matière ayant des caractéristiques moyennement stables.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	20,3	14,2	19,9	18,7	23,2	5,8	88,0	585	469
Ecarts	16,3 - 23,6	11,4 - 16,5	10,6 - 24,4	14,9 - 21,7	16,5 - 21,7	4,1 - 7,3	62,4 - 98,6	500 - 683	356 - 565
Variabilité	moyenne	moyenne	moyenne	faible	faible	très faible	moyenne	moyenne	moyenne

Comparaison de la composition des fumiers de poulet de chair produits à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	très riche	riche	très riche
Composition du fumier de poulet de chair dans la bibliographie	15 à 38	12 à 39	14 à 27



Intérêt agronomique

Amendements organiques, C/N : 15-20. Le fumier de poulet de chair est un produit relativement mature. L'azote contenu dans ce fumier n'est pas disponible immédiatement pour la plante. Il est progressivement libéré en petites quantités par la suite. Cette matière organique a un effet à long terme. Elle sert à l'entretien du stock d'humus du sol. Son pouvoir amendant est estimé à 150 kg d'humus par tonne de fumier apporté.

Taux de matière sèche élevé. Concentrations élevées en azote, en phosphore et en potassium. Teneur en calcium élevée.

Modalités d'épandage

Canne à sucre : utiliser le fumier de poulet de chair comme amendement organique et fumure de fond, à la plantation en plein ou en localisé dans les sillons.

Maraîchage : enfouir le fumier de poulet de chair pour entretenir l'humus du sol. A utiliser à condition que le tas de fumier ait atteint de façon homogène une température élevée (60 - 65 °C) pendant au minimum une semaine. Le compostage partiel est une solution permettant de diminuer les risques potentiels de contamination par des agents pathogènes.

Prairies ou cultures fourragères : utiliser le fumier de poulet de chair pour entretenir l'humus du sol. Enfouir lors de la création de la prairie.

Arboriculture : utiliser le fumier de poulet de chair comme fumure de fond à la plantation. Pendant la pousse des arbres, épandre autour des troncs et enfouir par disquage léger.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Agents pathogènes (bactéries, parasites, virus)	Contamination de l'homme et des ruminants, (exemple : salmonellose)	Se référer aux limites réglementaires sur les agents pathogènes imposées par la norme NFU 44-051
Sur prairie : risque de manque d'appétit des ruminants	-	Respecter les délais de remise en pâture des animaux ou de récolte des cultures fourragères
Éléments traces métalliques (ETM) : apports élevés de zinc	Pollution des sols	Se référer aux limites réglementaires sur les ETM imposées par la norme NFU 44-051

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de fumier de poulet de chair permet une fertilisation équilibrée en azote et phosphore et le maintien de la matière organique du sol. Ce fumier est bien équilibré pour certaines cultures maraîchères.

Par exemple, 10 t/ha apportent :

- 200 kg/ha d'azote total dont 120 kg sont disponibles pour la culture ;
- 200 kg/ha P_2O_5 dont 130 kg assimilables ;
- 187 kg/ha K_2O ;
- 232 kg/ha CaO ;
- 4 690 kg/ha de matière organique fournissant au sol 1 500 kg/ha d'humus.

Compléter en engrais azoté minéral suivant les besoins des cultures.

Références réglementaires

Stockage et épandage réglementés au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le Règlement sanitaire départemental (RSD).

Effluent normalisé (NFU 44-051).

Quantité produite

En 2000, la quantité de fumier produite sur l'île par l'ensemble des volailles a été estimée à 12 000 t de matière brute.

Fumier de poule pondeuse



Poules pondeuse. © P.-F. Chabalier

Définition

Matière organique constituée d'un mélange plus ou moins décomposé de litière carbonée (exemple : copeaux de bois) et de déjections de volaille.

Origine et description

Ce fumier provient d'élevages industriels de poules pondeuses. Le mélange des fientes avec le substrat évolue au fur et à mesure sous les animaux puis après raclage des bâtiments et mise en tas. C'est un fumier jeune (moins de 4 mois). C'est une matière organique assez hétérogène et assez sèche.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 16,0 ISB : 10 à 30

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 6 à 7

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,6 P₂O₅ : 0,65 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants du fumier de poule pondeuse (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 7 échantillons de fumier de poule pondeuse.

Matière ayant des caractéristiques agronomiques assez constantes.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	12,4	8,7	20,4	10,8	20,0	5,6	69,2	438	379
Ecarts	10,2 - 14,2	7,2 - 10,0	18,2 - 25,1	8,2 - 13,7	16,7 - 20,8	5,0 - 6,3	58,3 - 80,1	320 - 541	280 - 469
Variabilité	très faible	très faible	faible	faible	faible	très faible	faible	moyenne	moyenne

Comparaison de la composition des fumiers de poule pondeuse produits à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	moyenne	riche	riche
Composition du fumier de poule pondeuse dans la bibliographie	22 à 29	22 à 25	15 à 20



Intérêt agronomique

Amendement organique, C/N : 15-20. Le fumier de poule pondeuse est un produit relativement mature. L'azote contenu dans ce fumier n'est pas disponible immédiatement pour la plante. Il est progressivement libéré en petites quantités par la suite. Cette matière organique a un effet à long terme. Elle sert à l'entretien du stock d'humus du sol. Valeur amendante estimée à 100 kg par tonne de matière apportée.

Taux de matière sèche relativement élevé. Une concentration moyenne en azote, des concentrations élevées en phosphore et en potassium, plus élevées que dans les autres produits du fait du régime alimentaire fondé sur des grains de céréales.

Modalités d'épandage

Canne à sucre : utiliser le fumier de poule pondeuse comme amendement organique et fumure de fond, à la plantation en plein ou localisé dans les sillons. Intéressant pour les sols pauvres en phosphore.

Maraîchage : enfouir le fumier de poule pondeuse pour fertiliser les cultures. En maraîchage, à utiliser à condition que le tas de fumier ait atteint de façon homogène une température élevée (60 - 65 °C) pendant au moins une semaine. Le compostage partiel est une solution permettant de diminuer les risques potentiels de contamination par des agents pathogènes contenus dans les fumiers.

Prairies ou cultures fourragères : utiliser le fumier de poule pondeuse pour entretenir l'humus du sol. Enfouir lors de la création de la prairie. Respecter les délais de remise en pâture.

Arboriculture : utiliser le fumier de poule pondeuse comme fumure de fond, à la plantation. Epandre autour des troncs pendant la pousse des arbres et enfouir par un disquage léger. Intéressant pour l'apport de phosphore.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Agents pathogènes (bactéries, parasites, virus)	Contamination de l'homme et des ruminants, (exemple : salmonellose)	Se référer aux limites réglementaires sur les agents pathogènes imposées par la norme NFU 44-051
Sur prairie : risque de manque d'appétit des ruminants	-	Respecter les délais de remise en pâture des animaux ou de récolte des cultures fourragères
Éléments traces métalliques (ETM) : attention aux apports élevés de zinc	-	Se référer aux limites réglementaires sur les ETM imposées par la norme NFU 44-051

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de fumier de poule pondeuse permet la fertilisation azotée et le maintien de la matière organique du sol. Ne pas dépasser des apports de 20 t/ha.

Par exemple, 16 t/ha de fumier apportent :

- 200 kg/ha d'azote total dont une grande partie (environ 120 kg) sera disponible pour la culture ;
- 330 kg/ha P_2O_5 dont 215 kg sont assimilables ;
- 174 kg/ha K_2O ;
- 324 kg/ha CaO ;
- 90 kg/ha MgO ;
- 6 125 kg/ha de matière organique fournissant au sol 1 600 kg/ha d'humus.

Compléter en engrais azoté minéral suivant le besoin de la culture. Fertiliser en tenant compte des teneurs élevées en phosphore.

Références réglementaires

Epandage réglementé au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le Règlement sanitaire départemental (RSD).

Effluent normalisé (NFU 44-051).

Quantité produite

En 2000, la quantité de fumier produite sur l'île par l'ensemble des volailles a été estimée à 12 000 t de matière brute.

Fiente de poule pondeuse



Fientes de poule pondeuse. © V. van de Kerchove

Définition

Fiente desséchée de poules pondeuses élevées sans litière et en élevage intensif. La teneur en matière sèche est supérieure à 20 % (en dessous de ce seuil, la matière est considérée comme un lisier).

Origine et description

Ces fientes sont issues des élevages hors-sol de poules pondeuses. Matière brune, plus ou moins sèche selon la méthode de séchage (naturelle ou par ventilation forcée). Présence de plumes.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 4 à 8 ISB : voisin de 10

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 8 à 9 (légèrement basique)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,60 P₂O₅ : 0,65 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants de la fiente de poule pondeuse (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 9 échantillons de fiente de poule pondeuse.

Matière présentant des variations de composition chimique moyennement importantes.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	51,8	36,3	31,4	25,6	63,6	9,0	181,4	723	472
Ecarts	36,0 - 55,0	25,2 - 38,5	28,6 - 37,2	20,8 - 28,4	62,5 - 73,7	7,2 - 10,8	155,0 - 205,1	659 - 808	420 - 537
Variabilité	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	très faible	moyenne	moyenne	moyenne

Comparaison de la composition des fientes de poule pondeuse produites à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	très riche	riche	très riche
Composition de la fiente de poule pondeuse dans la bibliographie	30	40	28



Intérêt agronomique

Engrais organiques. L'azote contenu dans les fientes de poule pondeuse est rapidement disponible pour la plante. Il en est de même pour les autres éléments fertilisants. A utiliser comme engrais riche en azote, en phosphore, en potassium et calcium (effet d'amendement basique sur le sol).

Taux de matière sèche élevé.

Concentrations élevées en éléments fertilisants. Sa teneur en azote est la plus élevée de toutes les déjections animales produites à La Réunion.

Peu de matière organique humifiable pour le sol : valeur amendante organique d'environ 50 kg d'humus par tonne apportée.

Modalités d'épandage

Canne à sucre : utiliser les fientes de poule pondeuse comme engrais organique dans les sillons à la plantation et sur les rangs de canne après chaque coupe. A compléter uniquement en potasse.

Maraîchage : à enfouir à la plantation pour réduire les risques sanitaire.

Prairies ou cultures fourragères : respecter un délai de 8 semaines avant remise en pâture. Toutefois, à éviter le plus possible pour des raisons sanitaires.

Arboriculture : utilisation possible comme engrais organique sur les vergers à condition que les fruits ne touchent pas le sol. Les fientes sont un apport intéressant et bien équilibré pour un bon départ végétatif des arbres. Pour les arbres en production, des compléments en potasse sont nécessaires.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Agents pathogènes essentiellement salmonelles	Contamination de l'homme et des ruminants, (exemple : salmonellose)	Se référer aux limites réglementaires sur les agents pathogènes imposées par la norme NFU 42-001
Apports excessifs en azote, en phosphore et en potassium	Pollution des eaux par l'azote, le phosphore et le potassium, pouvant être dommageable pour la santé humaine	Raisonner l'apport en azote, en phosphore et en potassium en fonction des besoins des cultures
Éléments traces métalliques (ETM) : zinc	Pollution des sols	-

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de fiente de poule pondeuse permet la fertilisation des cultures en azote, en phosphore et en potassium, ainsi qu'un entretien du sol en calcium. La matière organique apportée par les fientes de poule pondeuse est rapidement minéralisée et ne se maintient donc pas dans le sol. Elle a donc peu d'effet sur l'entretien humique du sol. Ne pas dépasser des apports d'éléments nutritifs correspondant aux besoins des cultures.

Par exemple, 4 t/ha de fiente de poule pondeuse apportent :

- 200 kg/ha d'azote total dont environ 120 kg disponibles pour la culture ;
- 121 kg/ha P₂O₅, dont 79 kg assimilables ;
- 99 kg/ha K₂O assimilables ;
- 245 kg/ha CaO ;
- 35 kg/ha MgO ;
- 1 820 kg/ha de matière organique fournissant au sol 200 kg/ha d'humus.

Références réglementaires

Epannage réglementé au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le Règlement sanitaire départemental (RSD).

Matière organique normalisée (NFU 42-001).

Quantité produite

En 2000, la quantité de fiente produite par les poules pondeuses a été estimée à 4 400 t de fiente séchée (estimation faite à partir d'une base de 25 % des effectifs de poules pondeuses de l'île).

Lisier de bovin



Lisier de bovin. © V. van de Kerchove

Définition

Mélange liquide des fèces et des urines de bovins avec quelques déchets d'aliments. C'est un produit hétérogène en général liquide (moins de 13 % de la matière sèche).

Origine et description

Le lisier de bovin est issu des élevages hors-sol de bovins de La Réunion. Il est récupéré et stocké dans des fosses avant son utilisation.

Liquide brun, hétérogène, forte odeur.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 8,0 ISB : non déterminable

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 6 à 8 (neutre)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,2 à 0,55 P₂O₅ : 1 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants du lisier de bovin (kg/t de produit brut ou kg/m³)

Valeurs obtenues à partir de 50 échantillons de lisier de bovin.

Les caractéristiques des lisiers sont moyennement variables selon les échantillons.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	2,85	1,1	1,5	3,5	1,7	1,1	10,6	69	48
Ecart	2,2 - 3,5	0,9 - 1,5	0,7 - 1,9	2,1 - 4,1	1,0 - 2,6	0,6 - 1,6	6,7 - 13,6	51 - 90	18 - 73
Variabilité	faible	faible	faible	moyenne	moyenne	faible	moyenne	moyenne	moyenne

Comparaison de la composition des lisiers de bovin produits à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut ou kg/m³)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	pauvre	pauvre	pauvre
Composition du lisier de bovin dans la bibliographie	2,7 à 5,2	2,1 à 3,1	3,8 à 6



Intérêt agronomique

Engrais organique dilué. Le lisier de bovin est une source d'azote rapidement disponible pour la plante (forte fraction ammoniacale), mais il présente des risques de pertes élevées d'azote par volatilisation lors de l'épandage. Les apports N-P-K équivalents engrais sont assez bien équilibrés par rapport aux besoins des cultures (1,5 - 1,2 - 3,7).

Rôle faible sur l'humus du sol.

Concentrations faibles en azote, en phosphore et en potassium : il faut des apports assez élevés à l'hectare pour satisfaire les besoins des cultures.

Modalités d'épandage

Pour les produits liquides, un brassage juste avant le pompage permet l'homogénéisation du produit brut par mise en suspension des particules. Il peut être utilisé sans traitement particulier.

Canne à sucre : utiliser le lisier de bovin comme engrais avant la plantation et après chaque coupe. Attention à la méthode d'application qui peut entraîner des pertes par volatilisation. Employer des tonnes équipées de pendillards (→ fiche *Lisier de porc*).

Maraîchage : à proscrire pour des raisons sanitaires.

Prairies ou cultures fourragères : risque de pertes azotées élevées par volatilisation avec des épandages réalisés avec déflecteurs sur herbe haute et sèche. Utiliser du matériel adapté à l'injection du lisier sous la prairie pour minimiser les pertes (et l'odeur). Respecter un délai de 8 semaines avant remise en pâture.

Arboriculture : utilisation possible si les fruits ne touchent pas le sol.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Rare : agent pathogène (paratuberculose)	-	Interdiction d'utilisation en maraîchage

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de lisier de bovin permet la fertilisation des cultures, mais assure peu le maintien de la matière organique du sol.

Par exemple, 70 t/ha (ou m³/ha) de lisier apportent :

- 200 kg/ha d'azote total dont la moitié environ sera disponible pour la culture ;
- 105 kg/ha P₂O₅ disponibles pour les plantes ;
- 247 kg/ha K₂O ;
- 117 kg/ha CaO ;
- 76 kg/ha MgO ;
- 3 360 kg/ha de matière organique.

Il s'agit d'une fertilisation pratiquement complète pour la canne et les fourrages. Il conviendra donc de compléter ou non avec de l'engrais azoté selon les besoins des cultures.

Références réglementaires

Epannage réglementé au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le Règlement sanitaire départemental (RSD).

Quantité produite

En 2000, la quantité de lisier de bovin produite a été estimée à 530 000 t de matière brute (estimation faite à partir d'une base de 95 % des effectifs bovins de l'île).

Lisier de lapin



Lisier de lapin. © V. van de Kerchove

Définition

Mélange liquide des fèces et des urines de lapin avec quelques déchets de litières ou d'aliments et d'eau.

Origine et description

Le lisier de lapin est issu des élevages hors-sol de lapins de La Réunion. Selon le mode de collecte et le type de fosse, le lisier est plus ou moins liquide. Produit hétérogène, aspect liquide à pâteux.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 11,6 ISB : non déterminée

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 7 à 9 (basique)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,4 à 0,7 P₂O₅ : 1 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants du lisier de lapin (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 8 échantillons de lisier de lapin.

Matière ayant des caractéristiques moyennement stables (azote très variable).

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	6,0	nd	4,4	4,9	6,4	2,5	24,1	188	157
Ecart	2,2 - 8,1	-	2,5 - 4,9	4,1 - 6,2	4,5 - 7,3	2,0 - 2,9	17,5 - 29,4	153 - 237	87 - 224
Variabilité	très forte	-	très faible	très faible	moyenne	très faible	moyenne	forte	forte

nd : non déterminé

Comparaison de la composition des lisiers de lapin produits à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	moyenne	pauvre	moyenne
Composition du lisier de lapin dans la bibliographie	8,5	13,5	7,5



Intérêt agronomique

Engrais organique dilué : plutôt intéressant comme fertilisant. Le lisier de lapin est une source d'azote rapidement disponible pour la plante mais il présente le risque de pertes élevées d'azote par volatilisation lors de l'épandage.

Il a un rôle peu important sur l'humus du sol.

Concentrations moyennes en azote et en potassium, mais faibles en phosphore (contrairement au lisier produit en métropole).

Léger effet alcalisant sur le pH du sol (l'apport de CaO est intéressant).

Modalités d'épandage

Canne à sucre : utiliser le lisier de lapin comme engrais avant la plantation et après chaque coupe. Attention à la méthode d'application qui peut entraîner des pertes élevées par volatilisation. Employer des tonnes équipées de pendillards (→ [fiche Lisier de porc](#)).

Maraîchage : à proscrire pour des raisons sanitaires.

Prairies ou cultures fourragères : respecter un délai de 8 semaines avant remise en pâture ou récolte. Attention à la méthode d'application qui peut entraîner des pertes élevées par volatilisation. Employer des tonnes équipées de pendillards (→ [fiche Lisier de porc](#)).

Arboriculture : utilisation possible si les fruits ne touchent pas le sol.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Agents pathogènes (bactéries, parasites, virus)	Contamination de l'homme et des ruminants	Interdiction d'utilisation en maraîchage Se référer aux limites réglementaires sur les agents pathogènes imposées par la norme NFU 44-051 Surveiller l'état sanitaire de l'élevage
Éléments traces métalliques (ETM)	Pollution des sols	-
Emanation de gaz	Odeurs lors du stockage ou de l'épandage	Utiliser un effluent ayant subi un traitement désodorisant et enfouir après épandage

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de lisier de lapin permet la fertilisation azotée des cultures, mais assure peu le maintien de la matière organique du sol.

Un apport de 33 t/ha fournit :

- 200 kg/ha d'azote total dont environ la moitié est disponible pour la culture ;
- 145 kg/ha P_2O_5 ;
- 163 kg/ha K_2O ;
- 215 kg/ha CaO ;
- 83 kg/ha MgO ;
- 5 240 kg/ha de matière organique.

Cette fertilisation est assez équilibrée par rapport aux besoins de nombreuses cultures. Il faut compléter en engrais minéral selon les besoins précis.

Références réglementaires

Épandage réglementé au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le Règlement sanitaire départemental (RSD).

Quantité produite

En 2000, la quantité de lisier de lapin produite a été estimée à environ 3 500 t.

Lisier de porc



Porcs. © V. van de Kerchove

Définition

Mélange liquide des fèces et des urines de porc avec quelques déchets d'aliments.
Dilution possible par de l'eau d'abreuvoir ou de lavage.

Origine et description

Ce lisier est issu d'élevages intensifs de porcs, hors-sol, sur caillebotis.
Produit liquide brun très hétérogène, à forte odeur. Il se décante dans les fosses et les tonnes à lisier.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 4,8 ISB : non déterminable K_1 : 5 à 10

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 8 à 9 (basique)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,60 P_2O_5 : 0,85 K_2O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants du lisier de porc (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 316 échantillons de lisier de porc.

Ces lisiers ont des caractéristiques très variables selon les élevages.

Les teneurs en azote ammoniacal peuvent être évaluées rapidement à la ferme.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P_2O_5)	Potassium total (K_2O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	3,5	2,1	2,3	3,4	2,1	1,0	12,3	46	35
Ecarts	2,1 - 4,6	1,7 - 2,8	0,7 - 3,4	2,3 - 4,1	0,3 - 3,3	0,2 - 1,4	5,7 - 16,9	15 - 70	11 - 55
Variabilité	moyenne	moyenne	forte	moyenne	forte	forte	forte	très forte	très forte

Comparaison de la composition des lisiers de porc produits à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	pauvre	pauvre	pauvre
Composition du lisier de porc dans la bibliographie	2,3 à 6,1	1,7 à 3,8	1,7 à 4,5

Composition en éléments traces métalliques de lisier de porc (mg/kg de matière sèche)

Valeur obtenue à partir d'un prélèvement de lisier mixte naisseur-engraisseur spécialement effectué chez un éleveur pour cette analyse.

ETM	Cuivre (Cu)	Zinc (Zn)
Valeur Réunion	363	1 080
Valeur Métropole * Lisier mixte	654	1 361

* : d'après Levasseur - 2002 - CEMAGREF



Intérêt agronomique

Engrais organique dilué.

Il peut être valorisé sur la plupart des cultures.

Le lisier de porc est une source d'azote rapidement disponible pour la plante (fraction ammoniacale rapidement nitrifiée, en 15 jours) mais présente des risques de pertes élevées d'azote par volatilisation lors de l'épandage (jusqu'à 100 % de la fraction ammoniacale perdue en moins de 15 heures après l'épandage). Il a un rôle peu important sur l'humus du sol : environ 5 kg d'humus par m³ apporté.

Matière organique ayant des concentrations faibles en azote, en phosphore et en potassium. En revanche, elle contient beaucoup de cuivre et de zinc.

Remarque : les lisiers de porcs produits à La Réunion présentent souvent de faibles teneurs en matière sèche et sont donc pauvres en éléments fertilisants.

Modalités d'épandage

Les conditions atmosphériques lors de l'épandage jouent un rôle important sur les pertes par volatilisation : un vent fort et des températures de l'air et du sol élevées favorisent la volatilisation. Les techniques d'épandage doivent être adaptées : les pertes sont réduites de 42 % avec des pendillards, de 72 % par injection sans fermeture des sillons, de 100 % avec injection profonde ou fermeture des sillons.

Canne à sucre : utiliser le lisier de porc comme engrais après la plantation et après chaque coupe. Attention : le mulch sec de canne favorise les pertes d'azote ammoniacal par volatilisation lorsque le lisier est épandu avec un déflecteur en queue de paon en sortie de cuve. Préférer un épandage avec des pendillards qui pulvérisent le jet à la surface du mulch.

Maraîchage : à proscrire pour des raisons sanitaires.

Prairies ou cultures fourragères : mêmes difficultés de volatilisation qu'avec la canne, lorsque l'herbe est haute et sèche. Il existe du matériel enfouisseur pour prairie qui n'abîme pas la prairie et injecte le lisier dans le sol sans perte. Il est préférable de caler les quantités apportées en fonction des apports en P et K, étant données les pertes en azote difficilement maîtrisables. Respecter un délai de 8 semaines avant remise en pâture.

Arboriculture : utilisation possible si les fruits ne touchent pas le sol. Enfouir après épandage par un disquage léger.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Agents pathogènes (bactéries, parasites, virus)	Contamination de l'homme et des ruminants (exemple : salmonellose)	Interdiction d'utilisation en maraîchage Se référer aux limites réglementaires sur les agents pathogènes imposées par la norme NFU 44-051 Surveiller l'état sanitaire de l'élevage
Éléments traces métalliques (ETM) : en particulier zinc et cuivre	Risque de pollution définitive du sol	Vérifier les teneurs en cuivre et en zinc, car elles peuvent être importantes
Emanation de gaz	Odeurs désagréables lors du stockage ou de l'épandage	Enfouir après épandage. Utiliser un effluent ayant subi un traitement désodorisant

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de lisier de porc permet la fertilisation des cultures mais apporte peu de matière organique au sol.

Par exemple, 57 t/ha de lisier apportent :

- théoriquement 200 kg/ha d'azote total. Cette valeur varie selon les pertes à l'épandage. Si les pertes sont très élevées, les apports ne constituent plus que 85 kg (forme organique seulement). La quantité d'azote disponible est alors très faible (10 % environ de l'azote organique). Si les pertes sont réduites, 120 kg (60 % de l'azote total) sont disponibles pour la culture ;
- 133 kg P_2O_5 dont 113 kg utilisables par la culture ;
- 193 kg K_2O disponibles ;
- 118 kg CaO ;
- 53 kg MgO ;
- 2 000 kg de matière organique fournissant au sol 285 kg d'humus.

Une telle fertilisation en phosphore et potassium est suffisante pour la canne à sucre ou des fourrages.

Références réglementaires

Épandage réglementé au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le Règlement sanitaire départemental (RSD).

Quantité produite

En 2000, la quantité de lisier de porc produite sur l'île a été estimée à 180 000 t de matière brute.

Lisier de poule pondeuse



Poules pondeuse. © P.-F. Chabalier

Définition

Mélange liquide de fèces et des urines de poules pondeuses, avec quelques déchets d'aliments. Sa teneur en matière sèche est inférieure ou égale à 20 % (au delà de ce seuil, la matière est considérée comme une fiente de poule pondeuse).

Origine et description

Ce lisier est issu des élevages hors-sol de poules pondeuses. La matière est hétérogène et contient souvent des vers et diverses larves. Il sédimente dans les fosses : bien homogénéiser le lisier avant prélèvement.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 5,1 ISB : non déterminable K_1 : 5 à 10

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 6 à 7 (neutre)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,60 P_2O_5 : 0,65 K_2O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants du lisier de poule pondeuse (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 11 échantillons.

Ces lisiers sont assez réguliers en composition. Ils peuvent contenir un peu de zinc.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P_2O_5)	Potassium total (K_2O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	10,2	7,2	4,2	6,5	7,3	1,5	29,6	133	94
Ecarts	9,7 - 11,7	6,2 - 8,2	3,5 - 4,8	6,2 - 7,2	6,3 - 9,0	1,2 - 1,8	26,3 - 34,4	103 - 160	67 - 120
Variabilité	très faible	très faible	faible	très faible	moyenne	très faible	faible	moyenne	moyenne

Comparaison de la composition des lisiers de poule pondeuse produits à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	moyenne	pauvre	moyenne
Composition du lisier de poule pondeuse dans la bibliographie	7	9	6



Intérêt agronomique

C'est un engrais organique dilué. Le lisier de poule pondeuse est une source d'azote rapidement disponible pour la plante, mais il présente un risque de pertes élevées d'azote par volatilisation lors de l'épandage.

Il a un rôle peu important sur l'humus du sol, de l'ordre de 6 kg d'humus par tonne apportée.

Les concentrations en azote, en potassium et en calcium sont moyennes ; elles sont faibles en phosphore et en magnésium. Les apports N-P-K équivalents engrais sont assez bien équilibrés par rapport aux besoins des cultures en général : l'équilibre fertilisant N-P-K est environ 2 - 1 - 2.

Modalités d'épandage

Canne à sucre : utiliser le lisier de poule pondeuse comme engrais après la plantation et après chaque coupe. Ce lisier est une source d'azote rapidement disponible pour la plante (forte fraction ammoniacale), mais présente des risques de pertes élevées d'azote par volatilisation lors de l'épandage.

Maraîchage : à proscrire pour des raisons sanitaires.

Prairies ou cultures fourragères : respecter un délai de 8 semaines avant remise en pâture ou fauche. L'utilisation du lisier en pâture continu est déconseillée. L'injection dans la pâture est conseillée pour éviter les ruissellements et les agents pathogènes.

Arboriculture : utilisation possible si les fruits ne touchent pas le sol.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Agents pathogènes (bactéries, parasites, virus)	Contamination de l'homme et des ruminants (exemple : salmonellose)	Interdiction d'utilisation en maraîchage Se référer aux limites réglementaires sur les agents pathogènes imposées par la norme NFU 44-051 Surveiller l'état sanitaire de l'élevage
Eléments traces métalliques (ETM) : en particulier zinc	-	-
Emanation de gaz	Odeurs désagréables lors du stockage ou de l'épandage	Respecter les délais de remise en pâture des animaux ou de récolte des cultures fourragères

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de lisier de poule pondeuse permet la fertilisation des cultures, mais assure peu le maintien de la matière organique du sol.

Par exemple, 20 t/ha de lisier apportent :

- 200 kg/ha d'azote total dont 120 kg sont disponibles pour la culture si les pertes à l'épandage sont réduites. Ces pertes peuvent atteindre 60 % de l'apport dans de mauvaises conditions ;
- 83 kg/ha P_2O_5 dont 54 kg sont disponibles pour les plantes ;
- 128 kg/ha K_2O disponibles ;
- 143 kg/ha CaO ;
- 29 kg/ha MgO ;
- 1 850 kg/ha de matière organique fournissant au sol 120 kg d'humus.

Références réglementaires

Epandage réglementé au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le Règlement sanitaire départemental (RSD).

Quantité produite

En 2000, la quantité de lisier de poule pondeuse produite a été estimée à 16 000 t de matière brute (estimation faite à partir d'une base de 75 % des effectifs de poules pondeuses de l'île).

Compost de fumier de bovin sur support cellulosique



Compost de fumier de bovin sur support cellulosique. © V. van de Kerchove

Définition

Fumier de bovin ayant subi un processus de compostage avec au moins 2 retournements réalisés sur herbe ou sur plate-forme couverte ou non. Le compostage doit dépasser 4 mois après la mise en tas pour obtenir cette appellation.

Le support carboné de la litière de départ ou du compost est en général des pailles de canne ou des copeaux de bois, parfois des déchets de carton.

Origine et description

Le fumier est issu des élevages de bovin (filières viande et lait). Il est composté soit par le producteur, soit par l'utilisateur du fumier de bovin.

Matière brun noir, plus ou moins hétérogène selon le support, consistance grasse, peu d'odeur.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 16,6 ISB : 0,5 à 0,8 selon le support

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 7 à 8 (neutre à basique)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,10 à 0,2 P₂O₅ : 1 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants du compost de fumier de bovin (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 18 échantillons de compost de fumier de bovin.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	7,6	très faible	3,0	7,3	5,9	2,7	26,5	352	192
Ecart	5,8 - 9,1	-	1,5 - 4,4	4,0 - 9,8	3,4 - 7,0	2,0 - 3,6	16,7 - 33,9	310 - 400	139 - 219
Variabilité	moyenne	-	moyenne	forte	moyenne	faible	moyenne	moyenne	moyenne

Comparaison de la composition des composts de fumier de bovin produits à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	moyenne	pauvre	moyenne
Composition du compost de fumier de bovin dans la bibliographie	8	5	14



Intérêt agronomique

Amendements organiques, C/N = 15-20. Le compost de fumier de bovin est un produit relativement mature. Ce compost constitue une faible source d'azote progressivement disponible pour la plante. Il est surtout intéressant pour l'entretien des terres en matière organique stable. Sa valeur amendante est de l'ordre de 120 kg de matière organique humifiée par tonne apportée.

Matière organique ayant des concentrations moyennes en azote et en potassium, et une teneur faible en phosphore.

Matière organique hygiénisée par le biais du compostage, donc facilement utilisable sur toutes sortes de cultures. Facile à utiliser au champ en enfouissement ou en apport de surface.

Modalités d'épandage

Canne à sucre : utilisation comme fumure de fond à la plantation et après chaque coupe.

Maraîchage : utilisation à la plantation si le compost a été bien hygiénisé.

Prairies ou cultures fourragères : Respecter un délai de 8 semaines avant remise en pâture ou récolte. En surface, ne pas dépasser un taux de recouvrement d'herbe de prairie de 30 % pour éviter des problèmes de repousse d'herbe.

Arboriculture : utiliser plutôt comme amendement de fond à la plantation.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Risque de manque d'appétit des ruminants après épandage	-	Respecter les délais de remise en pâture des animaux ou de récolte des cultures fourragères

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de compost de fumier de bovin permet le maintien de la matière organique du sol. Les apports d'éléments fertilisants totaux sont bien équilibrés.

Des apports normaux de l'ordre de 26 t/ha fournissent :

- 200 kg/ha d'azote total, dont seulement 20 kg sont mis à la disposition de la culture ;
- 80 kg/ha P_2O_5 disponibles pour les plantes ;
- 193 kg/ha K_2O ;
- 157 kg/ha CaO ;
- 72 kg/ha MgO ;
- 5 100 kg/ha de matière organique fournissant au sol environ 3 120 kg/ha de matière organique humifiée.

Cet apport doit être complété en engrais azoté minéral, suivant les besoins de la culture.

Références réglementaires

Épandage réglementé au titre de la loi ICPE (déclaration ou d'autorisation) ou par le Règlement sanitaire départemental (RSD).

Matière organique ne répondant pas à la norme NFU 44-051 car trop humide dans la plupart des cas.

Quantité produite

Non estimée.

Compost de fumier de poulet de chair



Poulets de chair sur litière de copeaux. © P.-F. Chabalier

Définition

Fumier de poulet de chair ayant subi un processus de compostage. La litière des poulets de chair est en général composée de copeaux de bois.

Origine et description

Ce compost est issu d'élevages industriels en hors-sol de poulets de chair. Le fumier est obtenu après raclage des bâtiments. Il est mis en tas sur une aire de compostage, arrosé et retourné régulièrement.

Matière noirâtre, relativement homogène, solide, à faible odeur.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 12,1 ISB : 40 à 60

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 7 à 8 (neutre à basique)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,40 P₂O₅ : 0,65 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants du compost de fumier de poulet de chair (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 5 échantillons de compost de fumier de poulet de chair. Matière à composition assez constante.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	24,7	7,4	17,3	19,0	23,1	5,3	89,4	683	559
Ecarts	21,8 - 28,0	6,53 - 8,39	10,0 - 24,2	15,4 - 21,2	18,5 - 25,3	3,9 - 5,9	69,5 - 104,6	640 - 753	551 - 642
Variabilité	moyenne	moyenne	forte	moyenne	moyenne	faible	moyenne	faible	faible

Comparaison de la composition des composts de fumier de poulet de chair produits à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	très riche	riche	très riche
Composition du compost de fumier de poulet de chair dans la bibliographie	24,9	28	25



Intérêt agronomique

Amendement organique, C/N < 15. Le compost de fumier de poulet de chair a subi une bonne maturation lors de son processus de production. Ce compost constitue une source d'azote, de phosphore, de potassium et de calcium progressivement disponibles pour la plante. Il est intéressant pour l'entretien des terres en matière organique stable. Sa valeur amendante est de l'ordre de 300 kg d'humus par tonne apportée.

Matière organique ayant une concentration élevée en azote, phosphore et potassium. C'est un des composts les plus riches en éléments fertilisants, notamment en azote.

Il est très recherché en maraîchage du fait de sa facilité d'emploi.

Matière organique hygiénisée par le biais du compostage, donc peu de risques de contamination par les organismes pathogènes (salmonelles, etc.).

Modalités d'épandage

Canne à sucre : utilisation comme fumure de fond à la plantation et après la coupe.

Maraîchage : utilisation à la préparation de sol avant la plantation et semis.

Prairies ou cultures fourragères : il n'est pas très utilisé dans ces cultures. Sinon, respecter un délai de 8 semaines avant la remise en pâture ou la récolte. Ne pas dépasser un taux de couverture de 30 % pour éviter des problèmes de repousse d'herbe.

Arboriculture : l'utiliser comme amendement de fond à la plantation.

Restriction en agriculture biologique selon les élevages.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Risque de manque d'appétit des ruminants après épandage	-	Respecter les délais de remise en pâture des animaux ou de récolte des cultures fourragères
Eléments traces métalliques (ETM) : risque lié aux apports par les fientes riches en zinc	Pollution des sols	Se référer aux limites réglementaires sur les ETM imposées par la norme NFU 44-051

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de compost de fumier de poulet de chair permet une fertilisation en azote, en phosphore et en potassium. Il assure le maintien de la matière organique du sol. Ne pas dépasser des apports de 10 t/ha.

Un apport de 8 t/ha fournit :

- 200 kg/ha d'azote total, mais dont seulement 80 kg sont disponibles pour la culture ;
- 140 kg/ha P_2O_5 dont 91 kg disponibles ;
- 153 kg/ha K_2O ;
- 187 kg/ha CaO ;
- 43 kg/ha MgO ;
- 4 520 kg/ha de matière organique fournissant au sol environ 2 400 kg/ha d'humus.

Compléter en engrais azoté minéral suivant les besoins des cultures.

Références réglementaires

Épandage réglementé au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le Règlement sanitaire départemental (RSD).

Matière organique normalisée (NFU 44-051).

Directive nitrate.

Quantité produite

Non estimée.

Compost de fumier de poule pondeuse



Poules pondeuse. © H. Cailleaux

Définition

Fumier de poule pondeuse ayant subi un processus de compostage. Le support carboné de ce fumier est généralement composé de copeaux de bois.

Origine et description

Matière homogène, copeaux encore visibles, odeur faible.

Ce compost est issu du compostage de fumier de poule pondeuse, en élevage intensif.

Les fumiers de volaille étant trop secs pour être compostés en l'état, ils doivent subir des arrosages. Pendant les premières phases de compostage, les pertes d'azote par volatilisation d'ammoniac sont importantes et peuvent être néfastes pour l'homme et l'environnement. La durée optimale de compostage est d'environ 6 mois.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 11,4 ISB : 0,4 à 0,6

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 8 à 9 (basique)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,40 P₂O₅ : 0,65 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants du compost de fumier de poule pondeuse (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 16 échantillons de compost de fumier de poule pondeuse.

Les caractéristiques chimiques de ce fumier sont extrêmement variables d'un échantillon à un autre.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	13,2	4,0	25,0	14,7	30,0	6,1	88,9	417	339
Ecarts	10,4 - 16,0	-	20,2 - 30,8	10,8 - 19,7	21,0 - 30,4	4,6 - 6,9	66,9 - 103,7	318 - 452	232 - 407
Variabilité	moyenne	-	très forte	très forte	très forte	très faible	très forte	forte	forte

Comparaison de la composition des composts de fumier de poule pondeuse produits à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	riche	riche	très riche
Composition du compost de fumier de poule pondeuse dans la bibliographie	24	28	25



Intérêt agronomique

Amendement organique, C/N < 15. Le compost de fumier de poule pondeuse a subi une bonne maturation lors de son processus de production. Ce produit constitue une source d'azote, de phosphore et de potassium progressivement disponibles pour la plante. Il est intéressant pour l'entretien des terres en matière organique stable. Son pouvoir amendant est de l'ordre de 175 kg d'humus par tonne apportée.

Matière organique ayant des concentrations élevées en azote, en phosphore et en potassium. C'est un des composts apportant le plus d'éléments azotés et phosphatés aux cultures.

Matière organique ayant subi un processus d'hygiénisation, donc théoriquement indemne de salmonelles.

Modalités d'épandage

Canne à sucre : utilisation possible comme fumure de fond à la plantation et après la coupe.

Maraîchage : utilisation possible avant la plantation si le compost a été bien hygiénisé.

Prairies ou cultures fourragères : il est rare qu'il soit utilisé sur des prairies. Si c'est le cas, respecter un délai de 8 semaines avant remise en pâture ou récolte.

Arboriculture : l'utiliser plutôt comme amendement organique et fumure de fond à la plantation.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Risque de manque d'appétit des ruminants	-	Respecter les délais de remise en pâture des animaux ou de récolte des cultures fourragères
Eléments traces métalliques (ETM) : risque lié à la composition des fientes	-	Se référer aux limites réglementaires sur les ETM imposées par la norme NFU 44-051

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de compost de fumier de poule pondeuse permet une fertilisation en azote, en phosphore et en potassium. Il assure le maintien de la matière organique du sol ainsi que son pH. Sa valeur amendante est de l'ordre de 175 kg d'humus par tonne apportée. Ne pas dépasser des apports de 10 à 20 t/ha.

Par exemple, 15 t /ha d'un compost apportent (attention à la forte variabilité du produit) :

- 200 kg/ha d'azote total dont 80 kg disponibles pour les cultures ;
- 379 kg/ha P_2O_5 dont 247 kg disponibles pour les plantes ;
- 223 kg/ha K_2O ;
- 455 kg/ha CaO ;
- 92 kg/ha MgO ;
- 6 056 kg/ha de matière organique fournissant au sol 2 625 kg/ha d'humus.

Références réglementaires

Epannage réglementé au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le Règlement sanitaire départemental (RSD).

Matière organique normalisée (NFU 44-051).

Directive nitrate.

Quantité produite

Non estimée.

Compost de fumier de poulet de chair et de lisier de porc



Compost de fumier de poulet de chair et de lisier de porc. © V. van de Kerchove

Définition

Mélange de fumier de poulet de chair (poulets élevés en général sur copeaux de bois) enrichi en lisier de porc, le tout ayant subi un processus de compostage sur une plate-forme.

Origine et description

Ce compost est produit par des éleveurs de poulets de chair, qui ont rajouté du lisier de porc produit sur leur exploitation ou par celles de voisins, pour réhydrater le fumier et permettre un bon compostage, le fumier de volaille étant trop sec pour être composté. Le compostage dure environ 6 mois. Pendant les premières phases de compostage, la volatilisation d'ammoniac est importante, surtout à chaque retournement, et elle peut être néfaste pour l'environnement. Matière noire dans lequel les copeaux sont encore visibles. Humide, odeur faible.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 16 ISB : non déterminé, estimé à 0,6

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 7 à 8 (neutre à basique)

Coefficients d'équivalence engrais

N : < 0,15 P₂O₅ : 0,65 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants du compost de fumier de poulet de chair et de lisier de porc (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 9 échantillons de compost de fumier de poulet de chair et de lisier de porc.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	7,7	nd	13,2	7,9	13,0	4,3	46,0	297	227
Ecart	6,0 - 9,4	-	10,2 - 16,4	5,9 - 10,5	10,5 - 15,1	3,6 - 4,6	36,1 - 56,0	270 - 310	213 - 244
Variabilité	faible	-	forte	moyenne	forte	très faible	moyenne	faible	faible

nd : non déterminé

Comparaison de la composition des composts de fumier de poulet de chair et de lisier de porc produits à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	moyenne	moyenne	moyenne
Composition compost de poulet de chair et de lisier de porc dans la bibliographie	Pas de donnée	Pas de donnée	Pas de donnée



Intérêt agronomique

Amendements organiques, C/N = 15-20. Le compost de fumier de poulet de chair et de lisier de porc est un produit relativement mature. Ce compost constitue une faible source d'azote, progressivement disponible pour la plante, mais une bonne source de phosphore. Il est légèrement basique. Il est intéressant pour l'entretien des terres en matière organique stable. Sa valeur amendante est de l'ordre de 120 kg d'humus par tonne apportée.

Matière organique contenant des concentrations moyennes en azote, en phosphore et en potassium. Ce compost est un amendement organique complet avec des teneurs équilibrées en azote, phosphore, potassium et calcium.

Matière organique hygiénisée par le biais du compostage. C'est un compost facile à épandre, sans odeur forte et utilisable sur toutes cultures.

Modalités d'épandage

Canne à sucre : utilisation comme fumure de fond à la plantation et après la coupe.

Maraîchage : utilisation possible à la plantation si le compost a été bien hygiénisé.

Prairies ou cultures fourragères : respecter un délai de 8 semaines avant remise en pâture ou récolte. S'il est épandu en surface, ne pas dépasser 30 % de couverture pour éviter des problèmes de reprise des plantes.

Arboriculture : l'utiliser plutôt comme amendement organique et fumure de fond, à la plantation.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Risque de manque d'appétit des ruminants après épandage	-	Respecter les délais de remise en pâture des animaux ou de récolte des cultures fourragères
Eléments traces métalliques (ETM) : risques liés aux apports de cuivre et zinc des lisiers de poule et porc	Pollution des sols	Se référer aux limites réglementaires sur les ETM imposées par la norme NFU 44-051

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de compost de fumier de poulet de chair et de lisier de porc permet le maintien du stock de matière organique du sol et l'entretien général de la fertilité. Il permet une bonne fertilisation en P et K ainsi qu'une légère fourniture en N. Ne pas dépasser des apports de 20 à 30 t/ha.

Par exemple, 26 t/ha apportent :

- 200 kg/ha d'azote total, dont seulement 30 kg sont disponibles pendant le cycle de culture ;
- 223 kg/ha P₂O₅ assimilable pendant le cycle de culture ;
- 205 kg/ha K₂O ;
- 336 kg/ha CaO ;
- 112 kg/ha MgO ;
- 5 900 kg/ha de matière organique fournissant au sol environ 3 120 kg/ha d'humus.

Compléter la fertilisation par des apports d'engrais azoté en fonction des besoins de la culture.

Références réglementaires

Epandage réglementé au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le Règlement sanitaire départemental (RSD).

Matière organique normalisée (NFU 44-051).

Quantité produite

Non estimée.

Compost de lisier de porc et de bagasse



Compost de lisier de porc et de bagasse. © J.-M. Médoc

Définition

Matière organique issue du compostage en tas de bagasse, arrosée régulièrement par un lisier de porc.

Origine et description

Ce compost est issu du compostage sur une plate-forme d'un mélange de lisier provenant d'élevages de porc industriels et de bagasse provenant d'usines sucrières.

Le lisier permet d'humidifier le tas qui est retourné régulièrement. Le compost est obtenu après plusieurs mois.

Matière assez homogène, sèche, brun foncé, peu d'odeur.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 17,2 ISB : de l'ordre de 0,6 (une seule mesure à La Réunion : 0,95)

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 7 à 8 (neutre à basique)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,1 à 0,2 P₂O₅ : 0,85 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants du compost de lisier de porc et de bagasse (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 6 échantillons de compost de lisier de porc et de bagasse. Matière présentant des caractéristiques chimiques variables.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	4,3	nd	5,0	2,6	8,8	3,3	24,0	257	153
Ecart	3,4 - 4,9	-	3,4 - 6,1	1,3 - 3,8	5,5 - 12,8	2,1 - 4,5	15,8 - 32,1	190 - 303	123 - 178
Variabilité	faible	-	moyenne	moyenne	très forte	moyenne	moyenne	forte	moyenne

nd : non déterminé

Comparaison de la composition des composts de lisier de porc et de bagasse à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	pauvre	pauvre	pauvre
Composition du compost de lisier sur paille dans la bibliographie	7,7	15	1,5



Intérêt agronomique

Amendement organique, C/N : 15-20. Le compost de lisier de porc est un produit relativement mature. Ce compost constitue une faible source d'azote progressivement disponible pour la plante. Il est surtout intéressant pour l'entretien des terres en matière organique stable. Sa valeur amendante est de l'ordre de 100 kg d'humus par tonne apportée.

Matière organique ayant une concentration faible en azote, en phosphore et en potassium. Effet légèrement alcalinisant sur le sol.

Matière organique hygiénisée par le biais du compostage.

Modalités d'épandage

Canne à sucre : utilisation comme amendement et fumure de fond à la plantation en plein avant travail du sol ou en localisé dans les sillons, voire après chaque coupe en surface.

Maraîchage : apport avant le travail du sol. Il est peu minéralisé et apporte peu d'éléments, il est donc moins intéressant au niveau nutritif que les composts de volaille. Mais les apports peuvent être assez élevés pour améliorer le stock organique du sol.

Prairies ou cultures fourragères : respecter un délai de 8 semaines avant la remise en pâture ou la récolte. S'il est apporté en surface, respecter un taux de couverture inférieur à 30 % pour éviter des problèmes de reprise d'herbe.

Arboriculture : l'utiliser comme amendement et fumure de fond à la plantation. Les apports peuvent être élevés et pour améliorer le stock de matière organique du sol.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Sur prairie : risque de manque d'appétit des ruminants	-	Respecter les délais de remise en pâture des animaux ou de récolte des cultures fourragères
Eléments traces métalliques (ETM) : risque lié aux apports de cuivre et zinc par le lisier	Pollution des sols	Se référer aux limites réglementaires sur les ETM imposées par la norme NFU 44-051

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de compost de lisier de porc et de bagasse permet le maintien de la matière organique du sol.

Par exemple, 47 t/ha de ce compost apportent :

- 200 kg/ha d'azote total dont 40 kg sont utilisables par la culture ;
- 235 kg/ha P_2O_5 dont 200 kg sont disponibles pour la culture ;
- 121 kg/ha K_2O ;
- 409 kg/ha CaO ;
- 156 kg/ha MgO ;
- 7 170 kg/ha de matière organique fournissant au sol environ 4 700 kg/ha d'humus.

Compléter en engrais minéral azoté suivant le besoin de la culture.

Références réglementaires

Epannage réglementé au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le Règlement sanitaire départemental (RSD).

Ne dépend pas de la norme NFU 44-051 car trop humide (matière organique < 20% MB).

Quantité produite

Non estimée.

Compost de géranium



Compost de géranium. © P.-F. Chaballier

Définition

Compost fabriqué avec les résidus de géranium (principalement des feuilles), après leur distillation à la vapeur d'eau.

Origine et description

Après la cuite du géranium (feuilles et tiges jeunes), les résidus sortant de l'alambic sont mis en tas et se compostent naturellement avec le temps. L'agriculteur a l'habitude d'utiliser ce compost sur des cultures maraîchères autour de l'alambic, sur le jardin familial ou sur des cultures intercalaires de la culture du géranium.

Matière brun noir, assez homogène, grasse au toucher, de type terreau, humide, sans odeur.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 8 ISB : non connu

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 8 (légèrement alcalin)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,1 à 0,2 P₂O₅ : 0,5 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants du compost de géranium (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 8 échantillons de compost de géranium.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	9,2	faible	1,8	8,6	15,8	2,5	37,9	280	204
Ecarts	7,9 - 11,0	faible	1,0 - 2,0	5,9 - 11,2	10,9 - 18,5	2,1 - 3,2	28 - 45,9	250 - 292	185 - 215
Variabilité	faible	-	faible	forte	forte	faible	forte	faible	moyenne

Comparaison de la composition des composts de géranium produits à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	moyenne	moyenne	moyenne
Composition du compost de géranium dans la bibliographie	Pas de donnée	Pas de donnée	Pas de donnée



Intérêt agronomique

Amendements organiques, C/N : 8. Le compost de géranium est un produit relativement mature. Ce compost constitue une source d'azote qui est mis progressivement à la disposition de la plante par minéralisation. La valeur amendante est moyenne.

Concentrations moyennes en azote et en potassium, teneur faible en phosphore. Selon la provenance du géranium, le produit est plus ou moins riche en éléments fertilisants. Teneur intéressante en calcium et, dans une moindre mesure, en magnésium.

Matière organique hygiénisée par le biais de la distillation et du compostage, donc facilement utilisable sur toutes les cultures.

Compost utilisable en agriculture biologique.

Modalités d'épandage

Maraîchage : utilisation possible pour entretenir le stock organique du sol et la fertilisation. Il est enfoui avant mise en culture mais son utilisation est également possible en apport de surface, sous forme de mulch sur les cultures.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Peu de risques	Peu	Aucune

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de compost de géranium permet le maintien de la matière organique du sol.

Par exemple, des apports normaux de l'ordre de 22 t/ha fournissent :

- 200 kg/ha d'azote total, dont 20 à 40 kg d'azote efficace pour la culture ;
- 38 kg/ha P_2O_5 dont 19 kg assimilables ;
- 186 kg/ha K_2O ;
- 341 kg/ha CaO ;
- 54 kg/ha MgO ;
- 4 414 kg/ha de matière organique.

Cet apport doit être complété en engrais azotée minéral suivant les besoins de la culture. Respecter la réglementation sur l'épandage des matières organiques.

Références réglementaires

Amendement organique : voir norme NFU 44-051.

Quantité produite

Avec 20 t/ha de matière verte de géranium, on obtient 40 kg d'huile essentielle (rendement de 1 à 4 % de la matière verte distillée).

A La Réunion, la production d'huile essentielle est actuellement estimée entre 5 et 10 t/an : la quantité de matière verte de géranium nécessaire à sa production est inférieure à 500 t/an.

On peut estimer la quantité de compost qui en résulte entre 50 et 100 t/an.

Compost de déchets verts



Compost de déchets verts. © H. Cailleaux

Définition

Compost fabriqué à partir de déchets végétaux broyés.

Origine et description

A La Réunion, les stations de compostage sont gérées par les communautés de communes. Les déchets verts proviennent de l'entretien de jardins, des espaces verts publics et privés et sont collectés par les communes sur le bord des routes. Ils sont broyés mécaniquement par des broyeurs à marteaux ou à couteaux. Le compost subit ensuite un criblage. La nature et la proportion des types de déchets végétaux peuvent varier au cours de l'année : principalement des palmes et du bois pendant la période cyclonique, matériau résistant à la biodégradation ; essentiellement des herbacées et des branches pendant le reste de l'année, matériau facilement biodégradable. Ceci explique les diverses qualités des composts fabriqués.

Mélange, broyage et andainage rustique avec des retournements plus ou moins réguliers. Aspect noir, toucher gras, type terreau, sans odeur. Présence possible de quelques éléments inertes : verre, ferraille et plastique.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 16,1 ISB : 20 à 60

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 7 à 8 (neutre)

Coefficients d'équivalence engrais

N < 0,1 P₂O₅ : 0,5 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants du compost de déchets verts (kg/t de produit brut)

Valeurs à partir de 58 échantillons de compost de déchets verts.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	9,1	faible	4,3	5,8	20,9	9,0	49,1	547	278
Ecarts	6,5 - 10,7	faible	2,9 - 4,5	2,7 - 7,4	14,9 - 25,7	7,0 - 11,1	34,0 - 59,4	471 - 640	229 - 334
Variabilité	moyenne	-	faible	faible	moyenne	faible	moyenne	faible	faible

Comparaison de la composition des composts de déchets verts produits à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	moyenne	pauvre	moyenne
Composition du compost de déchets verts dans la bibliographie	5 à 10	3 à 5	3 à 10

Composition en éléments traces métalliques du compost de déchets verts (mg/kg de matière sèche)

Valeurs obtenues à partir de 13 échantillons de composts de déchets verts.

ETM	Cadmium (Cd)	Chrome (Cr)	Cuivre (Cu)	Mercure (Hg)	Nickel (Ni)	Plomb (Pb)	Zinc (Zn)
Valeurs moyennes	0,4	107	77,7	0,14	103,7	35,3	240
Valeurs limites NFU 44-051	3	120	300	2	60	180	600



Intérêt agronomique

Amendements organiques, C/N : 15-20. Le compost de déchets verts est un produit relativement mature. Ce compost est une faible source d'azote, l'azote étant mis progressivement à la disposition de la plante par minéralisation. Il est surtout intéressant pour l'entretien des terres en matière organique stable et pour la vie biologique du sol. La valeur amendante est de l'ordre de 200 kg d'humus par tonne de compost brut.

Concentration moyenne en azote et en potassium, teneur faible en phosphore. Selon la nature des végétaux compostés, le produit sera plus ou moins riche en éléments fertilisants. Teneur intéressante en calcium et, dans une moindre mesure, en magnésium.

La teneur forte en nickel et chrome est due aux teneurs élevées des sols volcaniques en ces éléments. Le nickel et le chrome proviennent probablement des résidus de terre. Cette hypothèse sera vérifiée prochainement.

Matière organique hygiénisée par le biais du compostage, donc facilement utilisable sur toutes les cultures.

Modalités d'épandage

Canne à sucre : utilisable essentiellement comme amendement de fond avant la plantation pour régénérer le stock organique et possible après chaque coupe.

Maraîchage : utilisation possible si le compost a été hygiénisé, pour entretenir le stock organique du sol. Il est enfoui avant mise en culture mais son utilisation est également possible en apport de surface, sous forme de mulch sur les cultures.

Prairies ou cultures fourragères : respecter un délai de 8 semaines avant remise en pâture ou récolte.

Arboriculture : utiliser le compost de déchets verts plutôt comme fumure de fond à la plantation.

Utilisable pour les espaces verts, par les horticulteurs et en agriculture biologique.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Risque de manque d'appétit des ruminants	-	Respecter les délais de remise en pâture des animaux ou de récolte des cultures fourragères
Éléments grossiers (plastiques, ferrailles, clous...)	Blessures occasionnées par la présence de ces éléments dans le compost, pouvant entraîner des blessures voire des maladies	Manipuler avec précaution le compost
Éléments traces métalliques (ETM)	Pollution des sols	Se référer aux limites réglementaires sur les ETM imposées par la norme NFU 44-051 Vérifier les teneurs en nickel, chrome et plomb

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de compost de déchets verts permet le maintien de la matière organique du sol.

Par exemple, 22 t/ha apportent :

- 200 kg/ha d'azote total dont 20 kg sont disponibles pour la culture ;
- 95 kg/ha P_2O_5 , dont 48 kg assimilables ;
- 127 kg/ha K_2O ;
- 460 kg/ha CaO ;
- 198 kg/ha MgO ;
- 6 117 kg/ha de matière organique fournissant environ au sol 4 400 kg/ha d'humus.

Cet apport doit être complété en engrais azoté minéral suivant les besoins des cultures.

Références réglementaires

Matière organique normalisée (NFU 44-051).

Quantité produite

En 2000, la quantité de compost produite à partir de déchets verts a été estimée à environ 1 600 t. Forte augmentation annuelle.

Compost de déchets verts et de boue d'épuration



Compost de déchets verts et de boue d'épuration. © V. van de Kerchove

Définition

Compost fabriqué à partir d'un broyat de déchets végétaux issus de collectes urbaines, auquel sont additionnés environ 25 à 35 % de boue de station d'épuration humide.

Origine et description

Ce mélange de déchets verts et de boue d'épuration est composté dans une série de conteneurs fermés avec aération forcée, au niveau d'une station de compostage de déchets verts d'une communauté de communes.

Les déchets verts sont les mêmes que ceux utilisés dans le compostage direct.

Le compost subit un criblage avant utilisation.

Matière brun foncé à noir; grossière et hétérogène, toucher gras de type terreau, odeur faible.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 10,8 ISB : 60 (1 mesure à La Réunion : 96)

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 6 à 8 (neutre)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,15 P₂O₅ : 0,5 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants du compost de déchets verts et de boue d'épuration (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 14 échantillons de compost de déchets verts et de boue d'épuration.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	14,4	nd	9,5	7,9	36,5	10,8	79,1	645	309
Ecarts	12,1 - 16,0	-	7,1 - 9,8	6,0 - 9,5	24,3 - 47,8	7,9 - 13,5	57,4 - 96,6	578 - 769	254 - 363
Variabilité	faible	-	très faible	faible	forte	moyenne	forte	faible	faible

Comparaison de la composition des composts de déchets verts et de boue d'épuration à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	moyenne	moyenne	moyenne
Composition du compost de déchets verts et de boue d'épuration dans la bibliographie	6,3 à 7,3	7,9 à 11,1	1,9 à 6,4

Composition en éléments traces métalliques du compost de déchets verts et de boue d'épuration (mg/kg de matière sèche)

Valeurs obtenues à partir d'un échantillon de compost de déchets verts et de boue d'épuration ; elles sont donc données à titre informatif, n'étant pas représentatives de l'ensemble de ces composts.

ETM	Cadmium (Cd)	Chrome (Cr)	Cuivre (Cu)	Mercuré (Hg)	Nickel (Ni)	Plomb (Pb)	Selenium (Se)	Zinc (Zn)
Valeurs	0,5	82,4	98,2	0,5	102,0	55,0	-	268
Valeurs limites norme NFU 44-095 : toutes cultures sauf maraîchères	15	600	1 000	10	300	900	60	3 000
Valeurs limites norme NFU 44-095 : cultures maraîchères	3	120	300	2	60	180	12	600



Intérêt agronomique

Amendements organiques, C/N < 15. Le compost de déchets verts et de boue d'épuration a subi une bonne maturation lors de son processus de production. Il constitue une source d'azote progressivement disponible pour la plante. Il est surtout intéressant pour l'entretien des terres en matière organique stable. Sa valeur amendante est de l'ordre de 200 kg d'humus par tonne de compost brut.

Concentrations moyennes en éléments fertilisants. Selon la nature des végétaux compostés, le compost sera plus ou moins riche en éléments fertilisants. Teneur intéressante en calcium et, dans un moindre mesure, en magnésium.

Matière organique hygiénisée par le biais du compostage.

Un apport raisonné de compost de déchets verts et de boues d'épuration permet le maintien de la matière organique du sol ainsi qu'un entretien général en éléments minéraux. L'action sur le maintien du pH est intéressante, ainsi que sur le blocage de la toxicité aluminique dans les sols acides.

Modalités d'épandage

Canne à sucre : utilisation comme fumure de fond, à la plantation et après chaque coupe.

Maraîchage : pas d'épandage pendant la période de végétation, mais enfouissement possible à la préparation du sol (attention à la teneur en nickel).

Prairies ou cultures fourragères : respecter un délai de 8 semaines avant remise en pâture ou récolte.

Arboriculture : utiliser le compost de déchets verts et de boues d'épuration comme amendement de fond, à la plantation.

Utilisable sur les espaces verts publics et particuliers.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Voir tableau page 261 sur les déchets verts et page 267 sur les boues.

Exemple de calcul de fertilisation

Une dose de 14 t/ha apporte :

- 200 kg/ha d'azote total, dont seulement 30 kg disponibles pour la culture ;
- 131 kg/ha P_2O_5 , dont 66 kg assimilables ;
- 109 kg/ha K_2O ;
- 507 kg/ha CaO ;
- 150 kg/ha MgO ;
- 4 300 kg/ha de matière organique fournissant au sol 2 800 kg d'humus.

Références réglementaires

Matière organique normalisée (NFU 44-095).

Arrêté du 8 janvier 1998 se substituant au Règlement sanitaire départemental (RSD) et fixant l'obligation de réaliser un plan d'épandage pour les boues d'épuration (s'appliquant aux composts de déchets verts et boues d'épuration).

Respecter la réglementation pour le stockage et les épandages (RSD, directive nitrate).

Epandage réglementé au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le RSD.

Epandage réglementé au titre de la loi sur l'eau.

Quantité produite

En 2000, la quantité de compost produite à partir de déchets verts et de boue d'épuration a été estimée à environ 1 000 t.

Boue d'épuration liquide



Traitement biologique des eaux usées générant les boues (Saint-Leu). © V. van de Kerchove

Définition

La boue d'épuration liquide est obtenue après épuration des eaux usées d'origine domestique ou industrielle traitées dans les stations d'épuration par des procédés biologiques.

Pour obtenir la consistance liquide, la boue a été centrifugée ou égouttée sur des presses à bandes.

Le taux d'humidité de ce type de boue se situe entre 5 et 10 % de matière sèche, selon la classification de l'ITAB (2001).

Origine et description

Cette boue est issue de stations d'épuration municipales.

Matière liquide, à forte odeur caractéristique.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 4 à 8 ISB : non déterminable

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 6 à 7 (plutôt neutre)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,6 P₂O₅ : 0,6 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants de la boue d'épuration liquide égouttée ou centrifugée (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 12 échantillons de boue d'épuration.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	7,4	2,2	2,9	0,6	1,2	0,8	12,9	81	66
Ecarts	7,0 - 9,2	2,1 - 2,7	1,6 - 4,8	0,4 - 0,8	0,9 - 1,4	0,5 - 1,0	10,5 - 17,2	75 - 99	65 - 81
Variabilité	moyenne	faible	faible	très faible	très faible	très faible	faible	faible	faible

Comparaison de la composition des boues d'épuration liquides égouttées ou centrifugées produites à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	moyenne	plus pauvre	plus pauvre
Composition de la boue d'épuration liquide dans la bibliographie	0,5 à 7	0,5 à 8	0,1 à 1,4

Composition en éléments traces métalliques des boues d'épuration liquides égouttées ou centrifugées (mg/kg de matière sèche)

Valeurs obtenues à partir de 3 échantillons de boue d'épuration.

ETM	Cadmium (Cd)	Chrome (Cr)	Cuivre (Cu)	Mercure (Hg)	Nickel (Ni)	Plomb (Pb)	Zinc (Zn)	Cr+Cu+Ni+Zn
Valeurs moyennes	0,7	30,2	143,4	1,37	25,3	14,3	580	779
Valeurs limites réglementaires	10	1 000	1 000	10	200	800	3 000	4 000



Intérêt agronomique

Le carbone est rapidement assimilé puis respiré par les microorganismes du sol, il entretient donc peu le stock d'humus du sol.

L'azote est rapidement libéré pour être utilisé par la plante.

Concentration moyenne en azote, faible en phosphore et en potassium.

Bon engrais azoté à libération assez rapide.

Facile à épandre avec du matériel type cuve à lisier.

Modalités d'épandage

Les boues non stabilisées épandues sur sol nu doivent être enfouies dans un délai de 48 heures après l'épandage.

Canne à sucre : utiliser les boues d'épuration comme fumure azotée à la plantation et après chaque coupe.

Maraîchage : pas d'épandage pendant la période de végétation.

Prairies ou cultures fourragères : épandre les boues au minimum 6 semaines avant la mise en pâture ou la récolte des cultures fourragères, au minimum 3 semaines pour les boues hygiénisées.

Arboriculture : épandre les boues d'épuration au minimum 18 mois avant la récolte, donc sur des jeunes vergers non encore en production, au minimum 10 mois pour les boues hygiénisées sur des vergers en production.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Agents pathogènes (bactéries, parasites, virus) provenant des populations humaines	Contamination de l'homme (exemple : téniasis) et des ruminants (exemple : cysticercose)	Port de protection adaptée (gants, combinaison, masque...)
Éléments traces métalliques (ETM)	Peu de risques avec les concentrations mesurées Éléments toxiques pour l'homme à de fortes concentrations	Établir un plan d'épandage : respecter les seuils réglementaires pour les ETM <ul style="list-style-type: none"> • Interdiction d'épandre la boue d'épuration si la teneur d'un ETM de la boue dépasse les seuils réglementaires. • Interdiction d'épandre la boue d'épuration si la teneur d'un ETM du sol dépasse les seuils réglementaires. Faire une analyse du sol au préalable <i>Remarque : la plupart des sols de La Réunion contiennent des teneurs en chrome et en nickel supérieures aux limites réglementaires actuelles.</i>
Emanation de gaz	Odeurs désagréables lors de l'épandage	Utiliser un effluent ayant subi un traitement désodorisant ou enfouir rapidement

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de boue d'épuration liquide égouttée ou centrifugée permet essentiellement la fertilisation azotée sur certaines grandes cultures. La canne à sucre est celle qui se prête le mieux à cet apport. La dose de boue ne doit pas dépasser les besoins calculés de la culture, en tenant compte du coefficient d'utilisation en azote.

Par exemple, 27 t/ha de boue apportent :

- 200 kg/ha d'azote total, dont 120 kg efficaces ;
- 47 kg/ha P_2O_5 efficaces pour le cycle en cours ;
- 16 kg/ha K_2O ;
- 32 kg/ha CaO ;
- 20 kg/ha MgO ;
- 1 775 kg de matière organique.

Références réglementaires

Décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 et son arrêté d'application du 8 janvier 1998, se substituant au Règlement sanitaire départemental (RSD), fixant l'obligation de réaliser un plan d'épandage pour les boues d'épuration.

Épandage réglementé au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le RSD.

Épandage réglementé au titre de la loi sur l'eau

Quantité produite

En 2003, la quantité de boue liquide produite a été estimée à 180 t de matière sèche, soit environ 2 200 t de boue liquide brute.

Boue d'épuration pâteuse



Fosse de séchage et conteneur de boues pour le chargement (Saint-Pierre). © V. van de Kerchove

Définition

La boue pâteuse, à l'origine liquide, est obtenue après épuration des eaux usées d'origine domestique ou industrielle dans des stations d'épuration par des procédés biologiques. Les boues liquides sont épaissies par des procédés physiques.

Le taux d'humidité pour ce type de boue se situe entre 10 et 30 % de la matière sèche selon la classification de l'ITAB (2001).

Origine et description

La boue d'épuration pâteuse est issue de stations d'épuration municipales. Matière pâteuse brune, à forte odeur caractéristique.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 5 à 15 (moyenne 6,2) ISB : non déterminable

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 5 à 7 (plutôt neutre)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,3 à 0,6 selon les conditions P₂O₅ : 0,6 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants de la boue d'épuration pâteuse (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 28 échantillons de boue d'épuration.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	10,3	3,1	4,7	0,8	2,3	1,2	19,2	146	107
Ecarts	8,6 - 11,7	2,6 - 3,5	3,4 - 5,3	0,7 - 0,9	1,2 - 3,0	0,8 - 1,6	14,6 - 22,5	114 - 160	91 - 116
Variabilité	moyenne	faible	faible	très faible	faible	faible	moyenne	faible	faible

Comparaison de la composition des boues d'épuration pâteuses produites à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	moyenne	plus pauvre	plus pauvre
Composition de la boue d'épuration pâteuse dans la bibliographie	3 à 10	3 à 10	0,5 à 1,5

Composition en éléments traces métalliques (ETM) de la boue d'épuration pâteuse (mg/kg de matière sèche)

Valeurs obtenues à partir de 13 échantillons de boue d'épuration.

ETM	Cadmium (Cd)	Chrome (Cr)	Cuivre (Cu)	Mercure (Hg)	Nickel (Ni)	Plomb (Pb)	Zinc (Zn)	Cr+Cu+Ni+Zn
Valeurs moyennes	0,9	34,2	127,2	2,3	29,4	18,6	283	474
Valeurs limites réglementaires	10	1 000	1 000	10	200	800	3 000	4 000



Intérêt agronomique

L'azote est rapidement libéré pour être utilisé par la plante. Le carbone est rapidement assimilé par les microorganismes du sol et entretient donc peu le stock d'humus du sol.

Matière organique ayant une concentration moyenne en azote, une concentration faible en phosphore et très faible en potassium.

Matière organique plus concentrée que les boues liquides, mais plus difficile à épandre.

Modalités d'épandage

Les boues non stabilisées épandues sur sol nu sont à enfouir dans un délai de 48 heures.

Canne à sucre : utiliser les boues d'épuration comme fumure azotée à la plantation et après chaque coupe.

Maraîchage : pas d'épandage pendant la période de végétation.

Prairies ou cultures fourragères : épandre les boues au minimum 6 semaines avant la mise en pâture ou la récolte des cultures fourragères, au minimum 3 semaines pour les boues hygiénisées.

Arboriculture : épandre les boues d'épuration au minimum 18 mois avant la récolte, donc sur de jeunes vergers pas encore en production, et au minimum 10 mois pour les boues hygiénisées sur les vergers en production.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Agents pathogènes (bactéries, parasites, virus) provenant des populations humaines	Contamination de l'homme (exemple : téniasis) et des ruminants (exemple : cysticercose)	Port de protection adaptée (gants, combinaison, masque...)
Éléments traces métalliques (ETM)	Peu de risques avec les concentrations mesurées Éléments toxiques pour l'homme à de fortes concentrations	Établir un plan d'épandage : respecter les seuils réglementaires pour les ETM <ul style="list-style-type: none"> • Interdiction d'épandre la boue d'épuration si la teneur d'un ETM de la boue dépasse les seuils réglementaires. • Interdiction d'épandre la boue d'épuration si la teneur d'un ETM du sol dépasse les seuils réglementaires. Faire une analyse du sol au préalable <i>Remarque : la plupart des sols de La Réunion contiennent des teneurs en chrome et en nickel supérieures aux limites réglementaires actuelles.</i>
Emanation de gaz	Odeurs désagréables lors de l'épandage	Utiliser un effluent ayant subi un traitement désodorisant ou enfouir rapidement

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de boue d'épuration pâteuse permet essentiellement la fertilisation azotée sur certaines grandes cultures. Ne pas dépasser les besoins en azote de la culture.

Par exemple, 20 t/ha apportent :

- 200 kg/ha d'azote total dont environ 120 kg utilisables par la culture ;
- 54 kg/ha P_2O_5 assimilables pour le cycle en cours ;
- 15 kg/ha K_2O ;
- 44 kg/ha CaO ;
- 23 kg/ha MgO ;
- 2 063 kg/ha de matière organique.

Références réglementaires

Décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 et son arrêté d'application du 8 janvier 1998, se substituant au Règlement sanitaire départemental (RSD), fixant l'obligation de réaliser un plan d'épandage pour les boues d'épuration.

Épandage réglementé au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le RSD.

Épandage réglementé au titre de la loi sur l'eau.

Quantité produite

En 2003, la quantité de boue pâteuse produite a été estimée à 1 500 t de matière sèche, soit environ 10 300 t de boue pâteuse brute.

Boue d'épuration solide-sèche



Lit de séchage des boues de station d'épuration (Saint-Leu). © V. van de Kerchove

Définition

La boue d'épuration solide-sèche, liquide à l'origine, est obtenue après épuration des eaux usées d'origine domestique ou industrielle. Elle est ensuite séchée.

Elle a subi un traitement mécanique ou chimique pour être épaissie avant d'être séchée. Le taux d'humidité de cette boue varie de 60 à 90 % de la matière sèche, d'après la classification de l'ITAB (2001).

Origine et description

La boue d'épuration solide-sèche est issue de station d'épuration municipale. Matière noirâtre, sèche, en agrégats de tailles diverses. Peu d'odeur.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 5,3 ISB : 30

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 6 à 7,5 (neutre)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,3 à 0,6 selon les conditions P₂O₅ : 0,6 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants de la boue d'épuration solide-sèche (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 14 échantillons de boue d'épuration.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	45,6	13,7	24,8	2,7	19,8	8,2	101	822	467
Ecart	33,1 - 59,3	10,0 - 17,8	12,2 - 33,6	2,1 - 3,3	17,2 - 24,9	6,8 - 10,3	71,4 - 131,4	784 - 889	417 - 474
Variabilité	moyenne	moyenne	forte	très faible	faible	faible	moyenne	faible	faible

Comparaison de la composition des boues d'épuration solides-sèches produites à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	très riche	très riche	pauvre
Composition de la boue d'épuration solide-sèche dans la bibliographie	32	42	pas de donnée

Composition en éléments traces métalliques (ETM) de la boue solide-sèche (mg/kg de matière sèche)

Valeurs obtenues à partir de 4 échantillons de boue d'épuration.

ETM	Cadmium (Cd)	Chrome (Cr)	Cuivre (Cu)	Mercuré (Hg)	Nickel (Ni)	Plomb (Pb)	Zinc (Zn)	Cr+Cu+Ni+Zn
Valeurs moyennes	1,0	47,6	215,6	2,0	75,5	27,4	658	997
Valeurs limites réglementaires	10	1 000	1 000	10	200	800	3 000	4 000



Intérêt agronomique

Engrais organique. L'azote contenu dans les boues d'épuration est rapidement libéré pour être utilisé par la plante. Le carbone est rapidement assimilé par les microorganismes du sol et n'entretient donc pas le stock d'humus du sol.

Teneur en matière sèche élevée. Forte richesse en azote et en phosphore. Teneur faible en potassium.

A utiliser comme engrais azoté et phosphaté.

Facile à épandre.

Modalités d'épandage

Les boues non stabilisées épandues sur sol nu sont à enfouir dans un délai de 48 heures.

Canne à sucre : utiliser les boues d'épuration comme fumure azotée, à la plantation et après chaque coupe.

Maraîchage : épandage avant mise en culture. Pas d'épandage pendant la période de végétation.

Prairies ou cultures fourragères : épandre les boues au minimum 6 semaines avant la mise en pâture ou la récolte des cultures fourragères, au minimum 3 semaines pour les boues hygiénisées.

Arboriculture : épandre les boues d'épuration au minimum 18 mois avant la récolte, donc sur jeunes vergers pas encore en production, et au minimum 10 mois pour les boues hygiénisées sur des vergers en production.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Agents pathogènes (bactéries, parasites, virus) provenant des populations humaines	Contamination de l'homme (exemple : téniasis) et des ruminants (exemple : cysticerose)	Port de protection adaptée (gants, combinaison, masque...)
Apports excessifs en azote	Pollution des eaux par les nitrates, pouvant être dommageable pour l'environnement voire la santé humaine	Raisonner l'apport azoté en fonction des besoins des cultures
Éléments traces métalliques (ETM)	Peu de risques avec les concentrations mesurées Éléments toxiques pour l'homme à de fortes concentrations	Établir un plan d'épandage : respecter les seuils réglementaires pour les ETM <ul style="list-style-type: none"> • Interdiction d'épandre la boue d'épuration si la teneur d'un ETM de la boue dépasse les seuils réglementaires. • Interdiction d'épandre la boue d'épuration si la teneur d'un ETM du sol dépasse les seuils réglementaires. Faire une analyse du sol au préalable <p><i>Remarque : la plupart des sols de La Réunion contiennent des teneurs en chrome et en nickel supérieures aux limites réglementaires actuelles.</i></p>

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de boue d'épuration solide-sèche permet essentiellement la fertilisation en azote et en phosphore sur certaines grandes cultures, comme la canne à sucre.

Calculer la fertilisation raisonnée en tenant compte des apports importants en azote et en phosphore. Ne pas dépasser les besoins de la culture.

Par exemple, 4 t/ha de boue solide-sèche apportent :

- 200 kg/ha d'azote total dont 120 kg sont directement utilisables par la culture, si les conditions d'épandage sont bonnes ;
- 65 kg/ha P_2O_5 assimilable ;
- 12 kg/ha K_2O ;
- 86 kg/ha CaO ;
- 36 kg/ha MgO ;
- 2 052 kg/ha de matière organique.

Références réglementaires

Décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 et son arrêté d'application du 8 janvier 1998, se substituant au Règlement sanitaire départemental (RSD), fixant l'obligation de réaliser un plan d'épandage pour les boues d'épuration.

Épandage réglementé au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le RSD.

Épandage réglementé au titre de la loi sur l'eau

Quantité produite

En 2003, la quantité de boues solides et solides-sèches produites a été estimée à 2 000 t de matière sèche, soit environ 3 000 t pour l'ensemble de ces deux boues brutes.

Boue d'épuration solide



Essai fertilisation : apport de boue pour épandage manuel sur canne à sucre. © V. van de Kerchove

Définition

La boue dépuración solide, à l'origine liquide, est obtenue après l'épuration des eaux usées d'origine domestique ou industrielle. Ce déchet subit un traitement mécanique ou chimique pour être épaissi. Son taux d'humidité se situe entre 30 et 60 % de la matière sèche, selon la classification de l'ITAB (2001). La boue liquide est déshydratée grâce à une floculation, après ajout de réactifs (sels, chaux ou produits organiques), puis filtrée ou centrifugée.

Origine et description

Cette boue est issue de station d'épuration municipale.

Matière brune, noirâtre, avec des granulés blancs (adjuvants), pâteuse à sèche.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 7 à 8 ISB : non déterminable

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 6 à 7,5 (neutre)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,3 à 0,6 selon les conditions P₂O₅ : 0,6 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants des boues d'épuration solides (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 21 échantillons de boue d'épuration solide.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	24,8	7,5	18,8	2,1	14,8	6,0	66,6	552	345
Ecarts	15,0 - 37,5	4,5 - 11,3	5,2 - 28,5	0,5 - 2,4	4,4 - 22,6	2,8 - 9,4	27,9 - 100,4	348 - 787	199 - 442
Variabilité	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	faible	moyenne	faible	faible

Comparaison de la composition des boues d'épuration solides produites à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	riche	moyenne	plus pauvre
Composition de la boue d'épuration solide dans la bibliographie	5 à 24	5 à 28	1,2 à 2

Composition en éléments traces métalliques (ETM) de la boue solide (mg/kg de matière sèche)

Valeurs obtenues à partir de 11 échantillons de boue d'épuration solide.

ETM	Cadmium (Cd)	Chrome (Cr)	Cuivre (Cu)	Mercure (Hg)	Nickel (Ni)	Plomb (Pb)	Zinc (Zn)	Cr+Cu+Ni+Zn
Valeurs moyennes	0,9	48,9	194,6	1,7	34,9	27,6	642	920
Valeurs limites réglementaires	10	1 000	1 000	10	200	800	3 000	4 000



Intérêt agronomique

Les boues solides sont des matières organiques intéressantes pour N et P, car plus riches que les boues pâteuses.

Azote rapidement libéré pour être utilisé par la plante. Le carbone est rapidement assimilé par les microorganismes et n'entretient donc pas le stock d'humus du sol.

Teneur en matière sèche moyennement élevée.

Concentration forte en azote, concentrations moyennes en phosphore et faibles en potassium.

Modalités d'épandage

Les boues non stabilisées épandues sur sol nu sont à enfouir dans un délai de 48 heures.

Canne à sucre : utiliser les boues d'épuration comme fumure azotée à la plantation et après chaque coupe.

Maraîchage : pas d'épandage pendant la période de végétation.

Prairies ou cultures fourragères : épandre les boues au minimum 6 semaines avant la mise en pâture ou la récolte des cultures fourragères, au minimum 3 semaines pour les boues hygiénisées.

Arboriculture : épandre les boues d'épuration au minimum 18 mois avant la récolte, sur de jeunes vergers non en production, et au minimum 10 mois pour les boues hygiénisées pour les vergers en production.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Agents pathogènes (bactéries, parasites, virus) provenant des populations humaines	Contamination de l'homme (exemple : téniasis) et des ruminants (exemple : cysticerose)	Port de protection adaptée (gants, combinaison, masque...)
Éléments traces métalliques (ETM)	Peu de risques avec les concentrations mesurées Éléments toxiques pour l'homme à de fortes concentrations	Établir un plan d'épandage : respecter les seuils réglementaires pour les ETM <ul style="list-style-type: none"> • Interdiction d'épandre la boue d'épuration si la teneur d'un ETM de la boue dépasse les seuils réglementaires. • Interdiction d'épandre la boue d'épuration si la teneur d'un ETM du sol dépasse les seuils réglementaires. Faire une analyse du sol au préalable <p><i>Remarque : la plupart des sols de La Réunion contiennent des teneurs en chrome et en nickel supérieures aux limites réglementaires actuelles.</i></p>

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de boue d'épuration solide permet essentiellement la fertilisation azotée sur certaines grandes cultures. Ne pas dépasser les besoins en azote de la culture.

8 t/ha apportent environ :

- 200 kg/ha d'azote total dont 120 kg directement utilisables par les plantes ;
- 90 kg/ha P₂O₅ directement assimilables par les plantes ;
- 17 kg/ha K₂O ;
- 118 kg/ha CaO ;
- 46 kg/ha MgO ;
- 2 777 kg/ha de matière organique.

Références réglementaires

Décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 et son arrêté d'application du 8 janvier 1998, se substituant au Règlement sanitaire départemental (RSD), fixant l'obligation de réaliser un plan d'épandage pour les boues d'épuration.

Épandage réglementé au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le RSD.

Épandage réglementé au titre de la loi sur l'eau.

Quantité produite

En 2003, la quantité de boues solides et solides-sèches produites a été estimée à 2 000 t de matière sèche, soit environ 3 000 t pour l'ensemble de ces deux boues brutes.

Écume fraîche de sucrerie



Tapis d'évacuation des écumes dans l'usine. © CEDUS

Définition

L'écume fraîche de sucrerie est un des sous-produits importants de la fabrication du sucre : résidu de filtration de la boue issue de la décantation du jus de canne chaulé.

Origine et description

L'écume est produite par les deux usines sucrières ; elle est récupérée par les producteurs de canne à sucre pour la fertilisation de leur culture.

Pour 1 t de canne traitée en usine, 30 kg d'écume sont récupérés (entre 3 et 4 % de la canne) par l'exploitant agricole.

Matière humide à très humide selon l'usine, brune à noire, d'odeur faible.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 20 ISB : 33

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 6 (légèrement acide)

Coefficients d'équivalence engrais

N : 0,1 P₂O₅ : 1 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants de l'écume (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 7 échantillons d'écume.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	7,4	-	9,1	1,2	8,5	1,8	28	290	141
Ecart	4,7 - 10,2	-	4,0 - 13,4	0,9 - 1,2	4,4 - 22,6	1,5 - 2,2	17 - 38	210 - 365	134 - 147
Variabilité	forte	-	forte	très faible	moyenne	très faible	forte	forte	moyenne

Comparaison de la composition des écumes de sucrerie produites à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	moyenne	moyenne	pauvre
Composition de l'écume dans la bibliographie	4 à 7	7 à 10	2

Composition en éléments traces métalliques (ETM) de l'écume (mg/kg de matière sèche)

Valeurs obtenues à partir de 4 échantillons d'écume de sucrerie.

ETM	Cuivre (Cu)	Zinc (Zn)
Valeurs moyennes	90	161



Intérêt agronomique

Concentrations moyennes en azote et en phosphore. Concentration faible en potassium et forte en calcium. Cette matière organique permet d'assurer une faible fertilisation azotée, avec un effet retard, et une bonne fertilisation phosphatée et calcique des cultures. Son utilisation dans le sol a pour conséquence un phénomène de réorganisation passagère de l'azote minéral présent pouvant conduire à une faim d'azote sur la culture.

Sa faible stabilité biologique en fait un amendement organique moyen pour le sol (apport de 60 kg d'humus par tonne). Le compostage de ce produit le rend inerte et stable (ISB : 60) : c'est un amendement organique de fond intéressant.

Modalités d'épandage

Canne à sucre : utiliser l'écume comme amendement de fond avant la plantation. Son apport au sol permet une réorganisation sous forme organique de l'azote minéral libéré en grande quantité après les travaux du sol de dessouchage et labour. Attention, localisée dans les sillons, elle peut, dans certaines conditions, bloquer l'azote et produire une faim d'azote de plusieurs mois sur la jeune canne.

Maraîchage : utiliser l'écume en plein ou au trou, mais on utilise de préférence l'écume plus ou moins compostée avec d'autres produits organiques (fientes ou fumiers).

Prairies ou cultures fourragères : utiliser de préférence l'écume compostée avec d'autres produits.

Arboriculture : utiliser l'écume comme amendement de fond à la plantation et en entretien. Cependant, les résidus de sucre peuvent favoriser certains champignons pathogènes. Cet apport peut créer une faim d'azote de quelques mois sur les jeunes plants si on n'apporte pas d'azote complémentaire sous une autre forme.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Peu de risques sanitaires	Evolution rapide du produit	-

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné d'écume permet une bonne fertilisation phosphatée de la culture. Son action amendante sur le pH du sol est faible. Des apports élevés dans le sol entraînent cependant une période de réorganisation de l'azote du sol pouvant conduire à une faim d'azote de la culture. Compléter en engrais minéral azotée et potassique suivant les besoins des cultures.

Par exemple, 27 t/ha d'écume apportent :

- 200 kg/ha d'azote total, dont environ 20 kg utilisables par la plante ;
- 245 kg/ha P_2O_5 assimilables ;
- 32 kg/ha K_2O ;
- 230 kg/ha CaO ;
- 49 kg/ha MgO ;
- 3 790 kg/ha de matière organique fournissant au sol 1 620 kg d'humus ;
- au moins 600 kg/ha de silice dont l'action est importante sur le sol (chaulage) et la plante.

Références réglementaires

Epandage réglementé au titre de la loi ICPE (déclaration ou autorisation) ou par le Règlement sanitaire départemental (RSD).

Quantité produite

90 000 à 100 000 t/an.

Vinasse de distillerie



Vinasse de distillerie. © F. Feder

Définition

Résidu liquide de distillation de la mélasse diluée ou du jus de canne, utilisé après fermentation pour la production de rhum.

Origine et description

La vinasse est issue des distilleries industrielles produisant du rhum à partir de la canne à sucre (rhum de mélasse et rhum agricole).

Une tonne de canne arrivée à l'usine produit environ 30 kg de mélasse qui, si elle est distillée, produit 114 l de vinasse (moyenne : 3 800 l de vinasse par tonne de mélasse distillée).

Une seule petite distillerie la recycle dans les champs de canne, Isautier à Saint-Pierre, qui représente 3 % de la production de vinasse de l'île.

Liquide brun, odeur forte.

Caractéristiques agronomiques

Caractéristiques de la matière organique

C/N : 12,8 ISB : non déterminable

Caractéristiques physico-chimiques

pH : 4,6 à 5,2 (plutôt acide) DCO (demande chimique en oxygène) : 90 g O₂ / l

Coefficients d'équivalence engrais

N : < 0,2 P₂O₅ : 1 K₂O : 1 CaO : 1 MgO : 1

Composition en éléments fertilisants de la vinasse (kg/t de produit brut)

Valeurs obtenues à partir de 10 échantillons de vinasse.

Ce produit, caractérisé par une forte teneur en potasse, présente de fortes variations de teneurs en cet élément. Il contient des protéines, des cires et des gommés.

	Azote total (N)	Azote ammoniacal théorique	Phosphore total (P ₂ O ₅)	Potassium total (K ₂ O)	Calcium total (CaO)	Magnésium total (MgO)	Somme des matières minérales	Matière sèche	Matière organique
Moyenne	2,6	nd	0,7	16,0	2,8	2,1	24,1	107	73
Ecarts	2,1 - 2,9	-	0,6 - 0,8	11,2 - 19,5	2,4 - 3,3	1,5 - 2,3	17,8 - 28,7	99 - 113	68 - 75
Variabilité	très faible	-	très faible	forte	très faible	très faible	moyenne	faible	très faible

nd : non déterminé

Comparaison de la composition des vinasses produites à La Réunion aux teneurs moyennes des matières organiques réunionnaises et aux données de la bibliographie (kg/t de produit brut)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Par rapport à l'ensemble des matières organiques produites à La Réunion	pauvre	pauvre	très riche
Composition de la vinasse de canne dans la bibliographie	1 à 2,5	0,28 à 2,5	11 à 17



Intérêt agronomique

Concentrations faibles en azote et en phosphore, concentration très élevée en potassium. Après apport au sol, une légère phase de réorganisation de l'azote est observée, notamment dans les andosols. L'azote de la vinasse est ensuite minéralisé progressivement.

La vinasse permet essentiellement la fertilisation en potassium des cultures. Elle contient également des produits organiques et minéraux intéressants pour la nutrition des plantes et la biologie du sol. Il est nécessaire de compléter l'apport de vinasse par un apport azoté et phosphaté minéral.

Modalités d'épandage

C'est un produit liquide apporté avec une tonne à lisier. Son emploi en agriculture pourrait être généralisé, mais seulement envisageable autour des sites de production. Des essais ont été faits dans ce sens (avec de la vinasse concentrée ou non).

Canne à sucre : utilisation possible après la coupe. On peut ajouter de l'urée à la vinasse dans la cuve pour ne pratiquer qu'un passage de cuve pour une fertilisation N-K. L'apport sur du mulch permet aussi une biodégradation plus rapide.

Maraîchage : utilisation difficile, sauf avant travail du sol.

Prairies ou cultures fourragères : utilisation possible après la coupe. Comme pour la canne à sucre.

Arboriculture : utilisation possible pour une fertilisation K (ou N-K) sur des vergers en production.

Utilisable en agriculture biologique.

Précautions d'utilisation liées aux risques sanitaires ou environnementaux

Risques potentiels	Conséquences potentielles	Précautions d'utilisation
Pas de risques sanitaires	-	-
Apports excessifs en potassium	Pollutions des eaux et des sols ; dans la canne : néfaste à la cristallisation du sucre ; dans les fourrages : problème digestif	Raisonner l'apport potassique en fonction des besoins des cultures et de la fertilité potassique des sols
Emanation de gaz	Odeurs lors de l'épandage	Respecter les distances d'épandage

Exemple de calcul de fertilisation

Un apport raisonné de vinasse peut parfaitement assurer la fertilisation potassique d'une culture. Mais elle n'assure pas la fertilisation azotée ni le maintien de la matière organique du sol. La minéralisation de sa matière organique est très rapide, entraînant une forte activité biologique du sol, d'où l'immobilisation de l'azote du sol quelques semaines après l'apport. Un apport d'environ 20 m³/ha (soit 320 kg/ha K₂O) est largement suffisant pour un cycle de canne ou d'autres cultures.

Des apports supérieurs à 20 m³/ha sont possibles sous certaines conditions :

- pour corriger des sols carencés ;
- ou pour stocker la potasse pour plusieurs cycles culturaux, technique utilisable dans certains sols bien fixateurs et pour certaines cultures comme la canne à sucre ou l'arboriculture ;
- exemple : apport de 60 m³/ha tous les 3 ans.

Références réglementaires

Epandage réglementé au titre du décret du 27 août 1993 relatif à la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole (déclaration ou autorisation).

Quantité produite

Environ 150 000 t/an pour 3 distilleries : Savanna à Saint-André (38 %), Rivière de Mât à Saint-Benoît (59 %) et Isautier à Saint-Pierre (3 %).



Bibliographie

- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), Institut national de la recherche agronomique (INRA), 2004. Epandage agricole des déchets organiques. Nouveaux outils d'évaluation agronomique et de prévention des risques pour les écosystèmes. Journées techniques, 20 et 21 janvier 2004, Ministère de l'écologie et du développement durable, Paris, INRA, ADEME, 90 p.
- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), 1996. La valeur azotée des boues résiduelles des stations d'épuration urbaines. ADEME, INAPG, ADEPRINA. ADEME, Angers, France, 336 p.
- Association pour la transformation et la valorisation des déjections animales (ATVDA), 1996. Journées d'information de l'ATVDA. Travaux réalisés en 1994 et 1995. ATVDA, Maison des agriculteurs, avenue du Chalutier Sans Pitié, PB 540, 22195 Plerin, France.
- Association française pour l'étude des sols. [On-line] [14/02/2006]. < URL : <http://www.inra.fr/afes/> >.
- Barbet-Massin V., Grimaud P., Michon A., Thomas P., 2004. Guide technique pour la création, la gestion et la valorisation des prairies à La Réunion. Union des associations foncières pastorales (UAFP), CIRAD Pôle Elevage, Saint-Denis, La Réunion, France, 99 p.
- Bassez J., Delouée R., Habib Z., Comité d'orientation pour la réduction de la pollution des eaux par les nitrates (CORPEN), 1997. Bien choisir et mieux utiliser son matériel d'épandage de lisiers ou de fumiers. Entraid'Oc, Ramonville-Toulouse, 55 p.
- Bertone N., 1997. Matières organiques utilisées en agriculture en Languedoc-Roussillon. Guide technique. Agence méditerranéenne de l'environnement, Montpellier ; Chambre régionale d'agriculture, Lattes ; Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), Montpellier, France, 152 p. ISBN Q-9508232-5-4.
- Boyer J., 1998. Interactions biologiques dans les sols (faune, ravageur, parasites, microflore) sous cultures en milieu tropical humide (île de La Réunion). Thèse de doctorat, université Paris 6, Paris, France, 115 p.
- Canne Progrès. Site Internet des professionnels de la canne et du sucre. [On-line] [09/02/2006]. < URL : <http://www.canne-progres.com/> >. Rubriques *Informations et conseils techniques, Informations administratives, Publications, Actualités, Liens utiles.*
- CEMAGREF (Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement). [On-line] [16/02/2006]. < URL : <http://www.cemagref.fr/> >.
- Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD). [On-line] [09/02/2006]. < URL : <http://www.cirad.fr/> >.



Bibliographie

- Centre CIRAD à La Réunion. [On-line] [09/02/2006]. < URL : <http://www.cirad.fr/reunion> >.
- Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA). [On-line] [13/02/2006]. <URL : <http://www.citepa.org/> >.
- Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes (CTIFL). [On-line] [13/02/2006]. <URL : <http://www.ctifl.fr/> >.
- Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes (CTIFL), 1989. Mémento fertilisation des cultures légumières. CTIFL, Paris, France, 398 p.
- Chabalière P.F., Saint Macary H., Morvan T., 2003. Evaluation de la qualité d'intrants organiques dans des agro-systèmes tropicaux. Mem Acad Natl. Art. Lett. Sci., 49 : 227- 240.
- Chabalière P.F., Saint Macary H., Morvan T., Parnaudeau V., 2003. Caractérisation des déchets organiques et des milieux récepteurs sous climat tropical, cas de l'île de La Réunion. In Agriculture et épandage de déchets urbains et agro-industriels, Les dossiers de l'environnement n° 25. INRA, Paris, France, p 27-33. Voir aussi [On-line] [16/02/2006]. < URL : <http://www.inra.fr/dpenv/do.htm> >.
- Chambres d'agriculture de Bretagne, 2002. Fiches simplifiées Outils pratiques de l'agriculteur. Chambre régionale d'agriculture de Bretagne, Rennes, France.
- Chambres d'Agriculture, assemblée permanente, 2000. Les prescriptions en matière d'épandage agricole des déchets. Collection Etudes et activités des chambres d'agriculture, ADEME, n° 113, 38 p. + annexes.
- Chambres d'Agriculture, assemblée permanente, 2000. Expérimentation en recyclage des déchets. Collection Etudes et activités des chambres d'agriculture. ADEME, n° 112, 24 p. + annexes.
- Chambre d'agriculture de Bretagne, 1997. Elaboration des programmes d'action pour la directive Nitrates en Bretagne. Eléments de diagnostic et de préconisations. Vol 1 : Cadre de l'étude, Houben V., Plet P. Vol 2 : Guide des principales références utilisables, Chauvin M., Cros-Cayot S., Houben V., Plet P. Vol 3 : Analyse des pratiques à risque, Houben V., Nachi N., Plet P. Vol 4 : La gestion de l'azote par système d'exploitation, (anon.). Vol 5 : les actions à envisager, Plet P. Chambre d'agriculture de Bretagne, Rennes, France.
- Chambre d'agriculture de Bretagne, Coopératives de l'Ouest, Négoce Ouest, 2004. Le conseil en fertilisation azotée. La fertilisation azotée des prairies, des grandes cultures annuelles, des légumes industrie. Cinq fiches techniques. Chambre d'agriculture de Bretagne, Rennes, France.
- Chambre d'agriculture de Bretagne, 2002. Prévision de la dose d'azote, coefficients d'équivalence engrais azoté des principaux engrais de ferme, ensemble de fiches techniques. Chambre d'agriculture de Bretagne, Rennes, France.
- Chambre d'Agriculture de La Réunion, IRFA, 1992 ; fiches techniques des cultures fruitières à La Réunion, 110 p. Chambre d'Agriculture de La Réunion, Saint-Denis de La Réunion, France.
- Chambre d'Agriculture de La Réunion. Les dossiers technico-économiques Fruits. 1998 : l'ananas, 27 p. 2002 : les agrumes, 40 p. 2003 : les anones, 26 p. 2001 : la mangue, 32 p. Chambre d'Agriculture de La Réunion, Saint-Denis de La Réunion, France.
- Chambre d'Agriculture de La Réunion. Les dossiers technico-économiques Cultures maraîchères. 2002 : la pomme de terre, 38 p. 2002 : le melon, 44 p. 2002 : les cucurbitacées, 40 p. 1996 : la petite tomate,



53 p. 1995 : la laitue, 29 p. 1995 : le haricot sec, 28 p. 1995 : l'oignon, 24 p. 1995 : l'ail, 27 p. 1995 : le chou-fleur, 24 p.

- Comité français d'étude et de développement de la fertilisation raisonnée (COMIFER). [On-line] [13/02/2006]. <URL : <http://www.comifer.asso.fr/> >.
- COMIFER, 1996. Calcul de la fertilisation azotée des cultures annuelles. Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales. Brochure, COMIFER, Paris, France, 59 p.
- Debroize D, Havard P, Cosnier J.Y., 2004. Formation « Gérer les effluents d'élevage » (transparents), décembre 2004, Institut de l'élevage. Station des Cormiers, Chambre d'agriculture d'Ille et Vilaine, France.
- Agreste, la statistique agricole, Ministère de l'agriculture et de la pêche. [On-line] [14/02/2006]. <URL pour le département de La Réunion : <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/default.asp?rub=reg&hauteur=405> >. <URL pour la France : <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/> >.
- Direction de l'agriculture et de la forêt (DAF), 2002. Spécial recensement agricole 2000. Agreste Réunion, DAF, Saint-Denis, La Réunion, France, 26 p.
- Djakovitch J.L., 1986. Mise au point d'une méthode de détermination du coefficient isohumique de matériaux utilisables pour l'amendement des sols. Diplôme d'ingénieur, CNAM Bordeaux, France, 208 p.
- Doelsch E., 2003. Eléments traces métalliques. Etat des lieux et des connaissances pour l'île de La Réunion (roches, sols, végétaux et déchets). Projet REGARD, Pôle PADEF. CIRAD, Station de La Bretagne, Saint-Denis, La Réunion, France, 74 p.
- Echo-MO, 2005. Rencontres professionnelles de la fertilisation organique, les 25 et 26 novembre 2004 à Colmar (Haut-Rhin). Echo-MO n°49. Echo-MO est une revue bimestrielle consacrée à l'actualité des travaux sur les matières organiques. Adresse : Orgaterre - BP 16, 84160 Cucuron. Tél. : 04 90 77 23 35 ; fax : 04 90 77 11 23. [On-line] [14/03/2006]. <URL : <http://perso.wanadoo.fr/echo-mo/> >. ISSN : 1278-8511.
- Forum de l'agriculture raisonnée respectueuse de l'environnement (FARRE). [On-line] [16/02/2006]. <URL : <http://www.farre.org/> >.
- Girard M.C., Walter C., Rémy J.C., Berthelin J., Morel J.L., 2005. Sols et environnement. Cours et Etudes de cas. Dunod, coll. Sciences Sup., 832 p. Ouvrage et ressources complémentaires (dont un glossaire très complet) [On-line] [14/02/2006] <URL : <http://www.inra.fr/afes/ouvragedunod/> >.
- Gobat J.M., Aragno M., Matthey W., 1998. Le sol vivant. Bases de pédologie, biologie des sols. Collection Gérer l'environnement, première édition, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse, 519 p.
- Guerrin F., Paillat J.-M. (éditeurs scientifiques), 2003. Modélisation des flux de biomasse et des transferts de fertilité – Cas de la gestion des effluents d'élevage à l'île de La Réunion. Restitution des travaux de l'ATP 99/60. Actes du séminaire des 19-20 juin 2002, Montpellier, France, Cd-Rom. CIRAD, Montpellier, France.
- Hammelrath A., Bourblanc J.F., 2002. Choisir et utiliser une tonne à lisier et un épandeur à fumier. Guide pratique CUMA Ouest, Editions Entraid'Ouest, 50 p.
- Institut de l'élevage, 2001. Fertiliser avec les engrais de ferme. Institut de l'élevage, Institut technique de



Bibliographie

l'aviculture (ITAVI), Institut technique des céréales et des fourrages (ITCF), Institut technique du porc (ITP), Institut de l'élevage, Paris, France, 104 p.

- Institut national de la recherche agronomique (INRA), 2003. Des solutions pour réduire l'augmentation de CO₂. Salon international de l'agriculture. [On-line] [14/02/2006] <URL : <http://www.inra.fr/sia2003/solutions-reduire.html> >.
- Institut français de l'environnement (IFEN), 2004. Les émissions de gaz à effet de serre par secteur en France. [On-line] [14/02/2006] <URL : <http://www.ifen.fr/dee2003/effetserre/effetserre3.htm> >.
- Leclerc B., 2001. Guide des matières organiques. Deuxième édition. Tome 1 : 238 p. Tome 2 : 91 p. Institut technique de l'agriculture biologique (ITAB), Paris, France.
- Le Courier de l'environnement de l'INRA. [On-line] [16/02/2006]. <URL : <http://www.inra.fr/dpenv/pa.htm> >.
- Léger C., Sabathier T., 2002. Atlas de l'environnement, île de La Réunion. Direction régionale de l'environnement (DIREN Réunion), La Réunion, France, 79 p.
- Mandret G., Blanfort V., Hassoun P., Paillat J.M., Tillard E., 2000. L'élevage bovin à la Réunion : Synthèse de quinze ans de recherche. CIRAD, collection Repères, Montpellier, France, 391 p. ISBN 2-87614-374-7.
- Ministère des affaires étrangères, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), Groupe de recherche et d'échanges technologiques (GRET), 2002. Mémento de l'agronome. GRET, Paris, France CIRAD, Montpellier, France, 1 ouvrage, 1691 p. + 2 Cd-rom. ISBN : 2-86844-129-7 ; 2-87614-522-7.
- Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion (MVAD). Site Internet de la valorisation agricole des matières organiques à la Réunion. [On-line] [09/02/2006]. < URL : <http://www.mvad-reunion.org/> >. Rubriques *Caractérisation des matières organiques, Expérimentations, Valorisation des matières organiques, Publications, Liens*.
- Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion (MVAD), Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), 2003. Caractérisation de trois matières organiques et comportement dans deux sols. 46 p.
- Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion (MVAD), 2002. Valorisation agricole des déchets organiques à La Réunion. Synthèse des résultats agronomiques, techniques et économiques acquis par la MVAD entre 1996 et 2001. Document technique. Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion, Saint-Denis de La Réunion, France, 53 p.
- Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion (MVAD), 2002. Guide technique des produits organiques susceptibles d'être épandus en agriculture à La Réunion. Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion, Saint-Denis de La Réunion, France, 59 p.
- Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion (MVAD), 2002. Valorisation agricole des matières organiques à La Réunion, 23 fiches techniques. Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion, Saint-Denis de La Réunion, France.
- Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion (MVAD), 2001. Etude de la capacité épuratoire des sols de La Réunion : caractérisation de 5 produits organiques. Mission



de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion, Saint-Denis de La Réunion, France, 64 p.

- Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion (MVAD), 2000. Document de référence pour l'épandage agricole des boues de station d'épuration urbaine. Document technique. Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion, Saint-Denis de La Réunion, France, 72 p.
- Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion (MVAD), 1999. Caractérisation de sous produits organiques et pouvoir épurateur du sol. Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion, Saint-Denis de La Réunion, France, 88 p.
- Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion (MVAD), 1998. L'épandage et le compostage des déchets organiques à La Réunion. Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion, Saint-Denis de La Réunion, France, 68 p.
- Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion (MVAD), 1998. Comparaison du lisier, du compost d'ordure ménagère et de l'engrais en plein champ. Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion, Saint-Denis de La Réunion, France, 18 p.
- Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion (MVAD), 1997. Etude de la capacité épuratrice des sols. Mission de valorisation agricole des déchets, Chambre d'agriculture de La Réunion, Saint-Denis de La Réunion, France, 30 p.
- Morvan T., Chabalière P.F., Saint Macary H., Paillat J.M., 2002. Biotransformations résultant de l'apport organiques sur des sols de la Réunion : acquisition de références. ATP 60/99-Réunion Modélisation des flux de biomasse et des transferts de fertilité, Actes du séminaire, juin 2002, CIRAD, Montpellier, France, 11 p.
- Plumail D., Ducotet S., 2001. Recyclage agronomique des matières organiques. Biomasse Normandie, Environnement et Technique n° 205, avril 2001, ADEME Bretagne-Normandie, France.
- Pouzet D., Letourmy P., Légier P., 2003. Evaluation de la fertilité des sols réunionnais cultivés, à partir des conseils en fertilisation de la canne à sucre. CIRAD, Saint-Denis, La Réunion, France, 34 p.
- Pouzet D., Chabalière P.F., Legier P., 1998. Fertilité des sols et conseil en fertilisation, système expert d'interprétation des analyses chimiques des sols réunionnais. CIRAD, Saint-Denis, La Réunion, France, n° 1-98, 98 p.
- TCS, Techniques culturales simplifiées, 2002. Dossier L'écosystème du sol. TCS n° 20, novembre-décembre 2002. Revue Techniques culturales simplifiées, BP 90146, 57004 Metz Cedex 1. [On-line] [14/02/2005] <URL : <http://www.agriculture-de-conservation.com/> >.
- Thirion F., Chabot F., 2003. Epandage des boues résiduelles et effluents organiques, matériels et pratiques. CEMAGREF Editions, 1re édition, Paris, France, 189 p.
- Union des industries de la fertilisation. [On-line] [14/02/2006]. < URL : <http://www.unifa.fr> >.
- Walter C., 2002. Analyse spatiale des sols en vue de leur gestion précise et de leur surveillance. Mémoire de diplôme d'Habilitation à diriger des recherches, université Henry Poincaré Nancy I, Nancy, Ecole nationale supérieure agronomique de Rennes (ENSAR), Rennes, 96 p.



Glossaire

Absorption : phénomène d'ordre bio-chimique et (ou) physique réalisant la pénétration de certains éléments dans les cellules végétales, pour la nutrition des plantes.

Acide (pour un sol) : sol dans lequel la quantité d'ions H^+ est supérieure à la quantité d'ions alcalins. Le pH est inférieur à 7.

Acidité : propriété d'un sol ou d'un matériau. Se mesure par son pH (ou quantité d'ions H^+).

Actinomycètes : groupe d'eubactéries ramifiées hétérotrophes ayant tendance à former des mycéliums ramifiés dans le sol. Peuvent former des associations symbiotiques avec des plantes. Dégradent des substances organiques difficilement décomposables.

Adsorption : phénomène physique de surface réalisant la fixation de certains ions sur des surfaces du sol (exemple : bases échangeables sur le complexe argilo-humique).

Aérobic (contraire : anaérobic) : se dit d'un organisme qui a besoin d'oxygène pour se développer.

Agrégat : unité fondamentale du sol, formé de matière minérale et d'humus (agrégat élémentaire).

Agriculture raisonnée : forme d'agriculture qui limite les intrants (fertilisation, pesticide).

Alcalin (alcalinisant, basique) : sol ou matériau dont le pH est supérieur à pH 7.

Amendement : désigne une substance incorporée au sol en vue d'en améliorer ses propriétés physiques.

Amendement organique : matière fertilisante principalement composée de matières organiques d'origine végétale et (ou) animale, destinée à l'entretien ou à la reconstitution du stock de matière organique du sol et à l'amélioration de ses propriétés physiques et (ou) chimiques et (ou) biologiques.

Allophane : alumino-silicate hydraté amorphe, forme plus ou moins transitoire vers des formes cristallisées argileuses, type halloysite (kaolinite hydraté), fréquente dans les sols jeunes volcaniques comme à La Réunion.

Amidon : molécule carbonée hydratée formée par les plantes à partir du carbone de l'atmosphère (gaz carbonique) avec l'énergie de la photosynthèse.

Anaérobies : organismes (microorganismes) vivant sans oxygène.

Anion : atome ou radical d'une charge électrique négative (Cl⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻...).

Aptitudes culturales d'un sol : synthèse des caractères de ce sol susceptibles de jouer favorablement sur le niveau et les coûts de production.

Argile : minéral formé de silice et d'alumine cristallisé en feuillets. Il existe 3 grandes familles d'argile selon l'épaisseur des feuillets (7, 10 et 14 Å) : kaolinite des sols tropicaux, illite et montmorillonite (smectite) des vertisols.



Association symbiotique mycorhizienne : association entre les racines d'une plante et un champignon, bénéfique pour les deux organismes (voir Mycorhize).

Bactérie : microorganisme unicellulaire jouant un rôle important dans la dégradation des matières organiques et dans le cycle de l'azote.

Bagasse : sous-produits de l'industrie de la canne à sucre. Ce sont des résidus fibreux solides générés après passage de la canne dans les moulins (broyage pour extraire le jus).

Basique : voir Alcalin.

Biomasse : masse de matière vivante contenue dans une unité déterminée de surface ou de volume de l'environnement.

Bouture : morceau d'une plante destiné à être replanté pour produire une nouvelle plante identique.

Carence : un ou plusieurs éléments minéraux sont en quantité insuffisante ou sont inassimilables pour permettre une croissance normale d'un végétal ou un animal.

Cation : atome ou radical d'une charge électrique positive (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^{+} , K^{+} ...).

Cellulose : molécule carbonée hydratée formée par les plantes à partir du carbone de l'atmosphère (gaz carbonique) avec l'énergie de la photosynthèse.

Chaulage : pratique culturale consistant à apporter sur le sol un amendement calcaire pour relever son pH et améliorer sa structure.

Chélate : complexe organique dans lequel un cation métallique est susceptible d'être chélaté, c'est-à-dire « séquestré » entre plusieurs groupements complexants (ligands) de la molécule chélatante qui exercent un effet de pince, rendant l'ensemble particulièrement stable.

Chlorose : jaunissement et décoloration des parties vertes d'une plante suite à une carence ou maladie.

Colorimétrie : méthode basée sur la détermination de l'intensité d'une couleur lors d'un dosage d'un élément chimique.

Colloïde : substances de très petite dimension formant des gels : argiles, humus, silice.

Complexe (argilo-humique) : association en grumeaux d'argile et de matière organique (liaison électrique) qui ont un rôle complexe dans le sol : structuration, adsorption des cations...

Composés organiques volatiles (COV) : Composés chimiques constitués des atomes de carbone et d'hydrogène, éventuellement contenant des atomes de chlore ou de brome, avec une pression de vapeur supérieur à 0,13 kPa en conditions de pression et de température standard (293 °K et 101 kPa). Exemples : benzène, toluène, chloroforme, trichloréthylène.

Compost : matière organique fermentée utilisable par l'agriculture. Le compost peut provenir de la décomposition de la partie fermentescible des ordures ménagères, des boues de station d'épuration ou des déchets agricoles.

Communauté (biologique, animale, végétale) (synonyme respectif : biocénose, zoocénose, phytocénose) : ensemble des êtres vivants (respectivement communautés animales, végétales) présentes dans un milieu (biotope) donné.

Concentration : paramètre permettant d'estimer le degré de minéralisation d'une solution électrolytique en rapportant la masse de matière dissoute à une unité de volume. Il s'exprime en mol L^{-1} , en molc L^{-1} ou en g L^{-1} dans le Système International (SI).



Conductivité électrique de la solution du sol (CEs) : paramètre permettant d'évaluer la capacité d'une solution électrolytique à conduire le courant électrique. Il augmente lorsque la minéralisation de l'électrolyte s'élève (phase de concentration) et vice-versa (phase de dilution).

Contamination du sol : apport de concentrations anormalement élevées d'un ou plusieurs éléments dans un sol.

DBO5 : demande biologique en oxygène sur 5 jours (mesure de la teneur en matière organique dégradable).

Décomposition : processus de dégradation et de minéralisation de la matière organique morte ainsi que sa transformation en molécules plus simples jusqu'à la minéralisation complète en formes minérales.

Déchets ultimes : déchets qui ne sont plus susceptibles d'être traités dans les conditions techniques et économiques du moment.

Dégradation : mécanismes à l'origine de la dégradabilité. Beaucoup de produits organiques sont biodégradables.

Dénitrification : conversion des nitrates en nitrites puis en N_2O puis en azote N_2 . Processus réalisé par des bactéries anaérobies.

Densité apparente (V_b) : rapport entre la masse d'un volume de sol séché à 105 °C et la masse d'un même volume d'eau pris dans les conditions standard. Le volume d'eau correspond au volume total de sol considéré, c'est-à-dire à la somme des volumes occupés par les phases liquide, solide et gazeuse.

Echantillon : quantité de terre ou d'un produit provenant du mélange de plusieurs sondages réalisés dans une même parcelle ou un même tas.

Écumes : appellation des sous-produits de l'industrie de la canne. Les écumes de sucrerie sont issues de la clarification du jus (chauffage puis centrifugation), formant des tourteaux de filtration, qui sont séchés.

Effet de serre : comportement de l'atmosphère analogue à une serre. Il désigne le phénomène physique suivant : une partie du rayonnement infrarouge thermique émis par la Terre est piégée dans la troposphère et renvoyée à la surface de la Terre, induisant son réchauffement. Ce phénomène est, à la base, naturel. Cela se traduit par une élévation de température. Les principaux gaz à effet de serre sont H_2O , CO_2 , N_2O , CH_4 ...

Effet rhizosphère : stimulation de la croissance et de l'activité des communautés microbiennes autour des racines.

Élément fertilisant : élément nutritif apporté par la fertilisation.

Éléments majeurs : au nombre de douze dans un sol (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti, H, P et Mn), ils constituent ensemble plus de 99 % de la masse de la croûte terrestre. Dans une plante il s'agit de N, P, K, Ca, Mg, et dans une moindre mesure, S.

Éléments traces (ET) : les éléments traces sont ceux dont la teneur dans la croûte terrestre est inférieure à 0,1 %. Ceux-ci peuvent être des métaux (par exemple Cd, Cu, Cr, Ni, Pb), des métalloïdes ou semi-métaux (par exemple B, Se, As) ou des non métaux (comme N, F, Cl ou Br).

Endogées : espèces colonisant préférentiellement les horizons organo-minéraux, elles peuvent se mettre en diapause lors des événements climatiques défavorables (exemple : les lombrics).

Engrais minéral : engrais chimique de synthèse fabriqué à partir de matières minérales ou de pétrole.

Engrais organique : engrais naturel comprenant du carbone et provenant du monde vivant, animal ou végétal.

Enterobactéries : bactéries à Gram négatif non sporulantes, anaérobies facultatives, localisées dans le tube digestif des animaux et de l'homme, mais aussi sur des plantes, indicatrices de contamination fécale des sols et des eaux.



Epurateur (sol) : utilisation du sol comme système épurateur et système d'infiltration pour traiter les eaux usées domestiques et les lisiers.

EqCaO (équivalent chaux) : teneur en CaO d'un amendement basique, déterminée comme si tout le carbonate était sous forme de carbonate de calcium, ensuite converti en chaux. Il vaut mieux utiliser la notion de valeur neutralisante, correspondant à la quantité de chaux qui a le même effet sur le pH du sol que 100 kilos de l'amendement considéré.

Eutrophe : qualifie un milieu dans lequel les éléments nutritifs (azote, phosphore essentiellement) sont en excès par rapport aux besoins des végétaux.

Exogène : qui vient de l'extérieur.

Fertilité : c'est l'aptitude d'une terre, d'un champ ou d'une région à produire des récoltes. Elle dépend du climat, du sol et des techniques appliquées. L'investissement dans des améliorations foncières, par exemple l'irrigation, permet d'améliorer la fertilité.

Fertilité biologique : aptitude d'un sol à fournir naturellement, par les cycles biologiques, les éléments fertilisants pour la croissance des végétaux.

Fixation de N₂ : il s'agit de la fixation biologique de N₂. On distingue trois groupes de systèmes fixateurs de N₂ :
– les symbioses obligatoires : symbiose entre les légumineuses et les *Rhizobium*, et symbiose entre les non légumineuses et les actinomycètes ;
– les symbioses associatives, par exemple association entre graminées et bactéries fixatrices de N₂ dans la rhizosphère ;
– les organismes libres, par exemple *Azotobacter*.

Fonctions environnementales : fonctions visant en particulier la préservation de l'environnement (qualité des sols, de l'eau, de l'air, de la biodiversité, des paysages).

Fond géochimique : teneur en élément trace de la roche mère.

Fouisseurs : espèces animales qui creusent essentiellement avec leurs pattes, modifiées ou non (exemple : courtilière...).

Fragmenteurs : espèces animales qui broient les matières organiques mortes.

Fumure d'entretien : apport d'engrais phosphaté ou potassique destiné à compenser les pertes de P ou K d'une parcelle, liées notamment aux exportations par les récoltes.

Fumier : mélange de matière organique végétale (pailles) et animales (fèces et urine) récupéré dans les étables et plus ou moins humide et composté.

Gaz à effet de serre (GES) : composé gazeux capable d'absorber le rayonnement infrarouge thermique. Les GES (CO₂, H₂O, O₃, N₂O, CH₄, CFC...) contribuent à la régulation du climat à la surface de la Terre. L'activité humaine conduit à la libération dans la troposphère de GES à l'origine de l'effet de serre additionnel.

Hétérotrophe : organisme dont la croissance et la reproduction nécessitent la présence de composés organiques comme sources de carbone et d'énergie.

Horizon : couche de sol qui se différencie selon sa couleur, ses constituants et son comportement.

Humification : ensemble des processus de transformation de la matière organique fraîche en humus (coefficient d'humification « isohumique » ou K_i).

Humifère : sol riche en matière organique.



Humine : matière organique humifiée très résistante.

Humiques : acides organiques de fort poids moléculaire constitutifs de l'humus.

Humus : mélange complexe de composés organiques provenant de la dégradation biologique de la matière organique morte du sol.

Immobilisation : ensemble de phénomènes physiques, chimiques ou biologiques provoquant une perte de mobilité d'un composé chimique avec son association à une phase solide.

Indice de stabilité biologique (ISB) : indice représentant une proportion stable de la matière organique totale d'un amendement organique. Il se calcule à partir des proportions de matières organiques extraites lors des différentes étapes des fractionnements van Soest et Weende, selon la formule donnée dans la norme XPU 44-162 en cours de parution.

Installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) : installation industrielle susceptible de créer des impacts sur l'environnement. En fonction de l'importance de l'installation, elle doit faire l'objet d'une déclaration ou d'une autorisation auprès de la préfecture. Établissements abritant des activités industrielles, commerciales, artisanales ou agricoles dont le fonctionnement occasionne des nuisances pour l'environnement, ou des dangers pour la sécurité, la santé et la salubrité publiques.

Installations classées soumises à autorisation : ICPE pour lesquelles une étude d'impact est un élément obligatoire du dossier de demande d'autorisation.

Installations classées soumises à déclaration : ICPE qui nécessitent simplement un dossier de déclaration à remettre à la préfecture.

Lessivage : phénomène d'entraînement par l'eau, à travers les sols, de particules fines ou colloïdales (argile et matières organiques).

Lignine : molécule carbonée hydratée formée par les plantes à partir du carbone de l'atmosphère (gaz carbonique) avec comme énergie la photosynthèse. Forme assez stable précurseur de l'humus du sol.

Lisier : liquide récupéré dans les étables et stocké en fosses : mélange de fèces et d'urine des animaux plus ou moins dilué avec des eaux de lavage.

Lixiviation : phénomène naturel d'entraînement par l'eau, à travers du sol superficiel des éléments solubles du sol (essentiellement les bases et des anions qui provoquent la désaturation du complexe adsorbant). Le liquide résultant est le **lixiviât**. Ce dernier peut se charger en substances toxiques lors de la traversée des sols (nitrates et pesticides).

Macrofaune : la macrofaune (grandes larves d'insectes, majeure partie des myriapodes et des lombriciens) comporte des individus de 4 à 80 mm de longueur; ils peuvent modifier la structure physique du sol en creusant des galeries ou en ingérant la terre.

Matières en suspension (MES) : dans le domaine de la gestion des déchets, petites particules de polluants solides qui résistent à la séparation par des méthodes conventionnelles. Les matières en suspension (ainsi que la DBO, la demande biologique en oxygène) est une mesure de la qualité de l'eau et un indicateur de l'efficacité des usines d'épuration.

Matière organique : matière carbonée d'origine végétale ou animale qui peut évoluer sous l'action des microorganismes du sol donne l'humus.

Mésafaune : la mésafaune comporte des individus de 0,2 à 4 mm de longueur qui se déplacent au sein des espaces existants, sans creuser le sol de manière significative. L'univers de vie pour la majorité des espèces de la mésafaune est la motte de terre de 5 à 50 cm. Les micro-arthropodes et certaines larves de diptères par exemple occupent préférentiellement les pores remplis d'air de la matrice du sol.



Mesures agri-environnementales (MAE) : programme de soutien financier accordé par l'Union Européenne aux agriculteurs s'engageant par contrat pour 5 ans, sur une surface donnée, à respecter un cahier des charges de pratiques respectueuses de l'environnement ; les MAE ont été mises en œuvre de 1992 à 1998.

Métabolisme :

en général : Ensemble des réactions couplées se produisant dans les cellules de l'organisme. Il permet soit d'extraire l'énergie des nutriments (catabolisme), soit de synthétiser les constituants nécessaires à la structure et au bon fonctionnement des cellules (anabolisme).

Appliqué aux microorganismes : mécanisme de dégradation biologique d'un composé chimique impliquant des micro-organismes capables d'utiliser ce composé comme seule source de carbone (ou d'azote) et d'énergie. Dans ce cas, le composé est totalement dégradé et une partie de ses atomes constitutifs sont incorporés comme constituants biologiques de la biomasse microbienne.

Microfaune : population animale du sol de très petite taille (inférieure à 0,2 mm).

Microflore : partie de la population végétale très petite (algues, bactéries, champignons, etc.).

Micropolluants organiques (MPO) : molécules organiques majoritairement d'origine anthropique, présentes en faibles concentrations dans les sols (moins de 0,01 %). En fortes concentrations, ces molécules polluent les sols, peuvent être toxiques pour les organismes vivants du sol et risquent d'être transférées dans la chaîne alimentaire.

Minéralisation : processus biologiques de transformation des formes organiques en formes inorganiques : CO_2 , NH_4^+ , SO_4^{2-} , HPO_4^{2-} , etc. Par exemple, l'azote organique est transformée en azote minéral ammoniacal. En conditions normales, l'azote ammoniacal est rapidement oxydé en azote nitrique. La minéralisation est quasi-exclusivement due aux organismes décomposeurs, en majorité des bactéries et champignons.

Minéraux allophaniques : aluminosilicates hydratés comprenant l'imogolite et les allophanes. Ces minéraux sont présents dans les sols à caractères andiques se développant sur matériaux volcaniques et dans les sols très acides à processus de podzolisation.

Mulch de canne à sucre : paillage constitué des résidus de récolte (feuilles, gaines, tiges, fouets, fleurs).

Mycorhize : symbiose résultant d'une association entre les racines des plantes et de champignons telluriques appartenant aux Basidiomycètes (Bolets, Lactaires, Russules...), aux Ascomycètes (Truffes, Pezizes...) et aux Gloméromycètes (*Glomus*, *Gigaspora*...).

Nécrophages : désigne les animaux qui se nourrissent de cadavres.

Objectif de rendement : rendement déterminé par anticipation en fonction de l'aptitude du sol d'une parcelle et d'une hypothèse climatique ou d'exigences environnementales, utilisé pour déterminer des quantités d'engrais nécessaires.

Organisation de l'azote : processus biologique d'assimilation de l'azote minéral par les microorganismes du sol, qui conduit à la formation d'azote organique dans la biomasse microbienne.

Pesticides : produits chimiques utilisés pour contrôler les « pestes » ou les parasites animaux et végétaux des cultures. Il s'agit d'un anglicisme, le terme français le plus approprié étant « produits phytopharmaceutiques » ou « produits phytosanitaires ».

pF : transformation logarithmique du potentiel matriciel de l'eau, celui-ci étant exprimé en hauteur de colonne d'eau en cm.

pH : abréviation de potentiel Hydrogène. Indication chiffrée reliée à la concentration en H_3O^+ d'une solution aqueuse (ou l'activité de H_3O^+ selon la manière de calibrer l'électrode). Mesure l'acidité d'une solution.



Photosynthèse : processus permettant la fabrication, par les plantes, d'hydrates de carbone (sucres, cellulose, lignine, etc.) à partir d'oxygène, de dioxyde de carbone et d'eau en présence de chlorophylle, la lumière solaire servant de source d'énergie.

Phytotoxicité : il s'agit de la propriété d'une substance qui est toxique pour les plantes. En dehors des produits issus de l'industrie chimique, il existe des substances toxiques d'origine végétale (allélopathies).

Plante exigeante : plante demandant un niveau élevé d'un ou plusieurs facteurs de croissance : lumière, eau, éléments nutritifs dans le sol.

Plante exigeante en éléments minéraux : plante demandant une bonne richesse du sol en un ou plusieurs éléments nutritifs, soit du fait de sa physiologie basée sur une forte consommation en cet élément, soit parce que son système racinaire prélève difficilement cet élément dans le sol.

Plantes hyper-accumulatrices : espèces végétales sauvages hyper-tolérantes aux métaux des sols et ayant la capacité de les prélever en quantités très élevées et de les transférer vers leurs parties aériennes (feuilles, tiges). Ces végétaux se développent naturellement sur des sites métallifères. Les espèces connues et adaptées aux climats tempérés peuvent par exemple hyper-accumuler du nickel (jusqu'à plus de 2 % dans la matière sèche aérienne) du zinc (jusqu'à plus de 4 %) et du cadmium (jusqu'à plus de 0,4 %). Elles sont des candidats prometteurs pour la phytoextraction (phytorémediation des sols pollués).

Pollution : terme exprimant un aspect négatif de la contamination des sols, par exemple par les éléments traces métalliques (ETM).

Pollution diffuse : présence d'un polluant dans un milieu (sol, eau) à des faibles concentrations sur de grandes surfaces ou dans de grands volumes.

Pollution ponctuelle : présence d'un polluant dans un milieu (sol, eau) à des concentrations élevées dans un espace ou un volume très localisé.

Pore, porosité : petit espace vide qui sépare les constituants solides du sol et qui permet la circulation de l'eau et de l'air dans le sol.

Pourritures blanches : champignons (surtout des basidiomycètes) dégradant le bois en le blanchissant et attaquant la lignine mais aussi les polysaccharides.

Pourritures brunes : champignons (essentiellement basidiomycètes) dégradant la cellulose et les hémicelluloses et superficiellement la lignine.

Pourritures molles : champignons de différents genres qui dégradent préférentiellement la cellulose et les hémicelluloses et très superficiellement la lignine.

Pouvoir fixateur : capacité d'un sol à rendre peu solubles les formes de P ou K présentes dans la solution du sol.

Prélèvement : quantité d'élément fertilisant puisée dans le sol par une culture.

Profil cultural : ensemble constitué par la succession des couches de sol individualisées par l'intervention des instruments de culture, les racines des végétaux et les facteurs naturels réagissant à ces actions.

Protocole de Kyoto : protocole qui oblige les pays signataires à réduire de 5,2 % leurs émissions de gaz à effet de serre par rapport à celles de 1990, d'ici à 2012, dans l'objectif de freiner le réchauffement climatique. Adopté le 11 décembre 1997, il est entré en vigueur le 16 février 2005.

Programme de maîtrise des pollutions d'origine agricole (PMPOA) : il réglemente, entre autres, les périodes d'épandage et les doses d'azote épandues qui sont inférieures aux doses autorisées dans l'arrêté boue ou la réglementation ICPE classique.



Propriété d'un sol : estimation de la capacité d'un sol à remplir une fonction.

Pseudo-sables : petits agrégats arrondis, stables à l'eau, caractéristiques des matériaux allophaniques et oxiques. Par une mesure de la granulométrie, ils sont comptés dans la fraction sable. Une fois les liaisons détruites, ce sont des argiles.

Puits de carbone : se dit pour le sol ou la végétation pérenne qui immobilise des stocks élevés de carbone. A été employé par extension pour le carbone emmagasiné dans les sols.

Qualité des sols : aptitude du sol au bon développement des végétaux ; plus récemment, capacité d'exercer diverses fonctions en particulier environnementales.

Qualité des terres : elle consiste en un jugement de valeur concernant une propriété vis-à-vis d'un usage donné.

Rendement optimal : meilleur rendement possible, en intégrant des objectifs économiques et environnementaux en plus de la seule recherche de quantité produite.

Réponse culturale : réaction d'une culture à un apport de fertilisant, habituellement mesurée par un écart de rendement.

Résilience : faculté qu'a un sol de revenir à son équilibre après avoir subi des perturbations. Pour un sol, c'est la résistance qu'il oppose à l'évolution de ses caractéristiques à la suite d'une perturbation extérieure, qu'elle soit physique, chimique ou biologique. Pour les communautés microbiennes, c'est leur aptitude à retourner, après une perturbation, à une situation stable différente ou non de celle observée initialement.

Rétrogradation : action d'aller en arrière. Dans le sol, passage d'un élément soluble à une forme insoluble, non disponible pour les plantes.

Reproduction végétative : type de reproduction ne faisant pas intervenir la fécondation.

Risque : le risque correspond à la probabilité que le danger s'exprime.

Ruissellement : circulation de l'eau à la surface du sol lorsque le volume d'eau en excès stocké à la surface du sol excède la rétention superficielle.

Saprophage : être vivant qui se nourrit de matière organique en décomposition.

Semis direct : mode d'implantation des cultures avec suppression totale des interventions de travail du sol.

Solution du sol : eau présente dans la porosité du sol. Elle contient des éléments dissous, complexés ou colloïdaux en proportions variables selon la nature des constituants minéraux et organiques, et selon les propriétés de transfert.

Spéciation : distribution d'un élément donné au sein des différentes espèces chimiques qu'il peut présenter en solution, qu'elles soient anioniques, cationiques ou non chargées.

Stabilité structurale : aptitude des sols à résister à la désagrégation. C'est un indicateur de la cohésion des agrégats et de leur résistance à la désagrégation sous l'effet de la pluie qui se mesure par un tamisage dans l'eau.

Structure : ensemble des caractères liés à la disposition spatiale des particules élémentaires du sol (agrégats), à leur organisation, leur voisinage, l'intensité des liaisons qui existent entre elles ainsi qu'à leur nature.

Symbiose : union physique de deux organismes disposant d'interfaces d'échange de nutriments (par exemple symbiose rhizobium - légumineuse ; symbiose mycorhizienne). La symbiose est une association interactive entre des représentants de deux populations, fournissant les conditions pour que les deux organismes vivent ensemble en forte proximité physique pour leur bénéfice réciproque.



Synergie : interaction bénéfique entre deux organismes.

Système de culture : composante d'un système de production qui se raisonne au niveau d'une surface de l'exploitation : un champ ou un terroir, en fonction de ses aptitudes agricoles. Il implique un raisonnement, sur plusieurs années, de l'assolement : succession des cultures (annuelles ou pluriannuelles) sur une parcelle. C'est un ensemble cohérent et organisé de produits et moyens de production.

Système de production : combinaison de production et facteurs de production que l'agriculteur raisonne au niveau de son exploitation en fonction de ses objectifs et moyens. Il se caractérise (et se trouve en même temps largement imposé) par un assolement, un appareil de production, un système de culture, une disponibilité en main-d'œuvre, qui constituent, en fait, la structure de l'exploitation.

Terre fine : ensemble des particules du sol dont la taille est inférieure à 2 mm. On subdivise ces particules en sables grossiers (0,2 à 2 mm), sables fins (200 μm à 50 μm), limons grossiers (50 à 20 μm), limons fins (20 à 2 μm), argile grossières (2 à 0,2 μm) et argiles fines (< 0,2 μm).

Terre végétale : elle correspond à l'horizon superficiel, travaillé et enrichi, d'anciennes zones agricoles (horizon L).

Texture : composition granulométrique d'un sol ; répartition des particules minérales en 5 classes texturales.

Traçabilité : possibilité d'identifier l'origine et de reconstituer le parcours d'un produit agricole depuis sa production jusqu'à sa commercialisation finale.

Toxicité : trop grande abondance (excès) de certains éléments provoquant des désordres physiologiques ou des accidents graves (dépérissement et mort de la plante : nécroses, décolorations, nanismes, rachitisme etc.).

Valeur amendante : capacité d'un amendement à modifier les propriétés d'un sol pour atteindre l'objectif pour lequel il est utilisé : augmentation de la matière organique d'un sol pour les amendements organiques, augmentation du pH pour les amendements calciques ou calcimagnésiens

Vinasse : résidu de la distillation de la mélasse, sous-produit du rhum.

Vivace : (plante) qui vit plusieurs années.



Bovins à la mangeoire. © H. Cailleaux

Liste des sigles

ADEME : Agence gouvernementale de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AFNOR : Association française de normalisation
API : autorisation provisoire d'importation
APR : Association pour la promotion rurale
APV : autorisation provisoire de vente
ARTAS : Association réunionnaise pour le développement de la technologie agricole et sucrière
ATVDA : Association pour la transformation et la valorisation des déjections animales
BNAME : Bureau de normalisation pour les amendements minéraux et les supports de culture
BNSCAO : Bureau de normalisation pour les supports de culture et les amendements organiques
CA : Chambre d'agriculture
CAD : Contrat d'agriculture durable
CBM : caractérisation biochimique de la matière organique
CE : coefficient équivalent-engrais
CERF : Centre d'essai de recherche et de formation de la canne et du sucre (La Réunion)
CEDUS : Centre d'études et de documentation du sucre
CEC : capacité d'échange cationique d'un sol
CEMAGREF : Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement
CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
C/N : rapport des teneurs en carbone (en %) et en azote (en ‰)
CMFSC : Commission d'homologation des matières fertilisantes et des supports de culture
COMIFER : Centre français d'étude et de développement de la fertilisation raisonnée
CORPEN : Comité d'orientation pour la réduction de la pollution des eaux par les nitrates
CTE : Contrat territorial d'exploitation
CTICS : Centre technique interprofessionnel de la canne et du sucre
CTIFL : Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes
CTO : composés traces organiques
CUMA : coopérative d'utilisation de matériel en commun
DAF : Direction de l'agriculture et de la forêt
DBO5 : demande biologique en oxygène sous 5 jours
DCO : demande chimique en oxygène
DMI : dose minimale infectante



Liste des sigles



DIREN : Direction régionale de l'environnement

DOM : département d'outre-mer

DRASS : Direction régionale des affaires sanitaires et sociales

DRIRE : Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement

DPPR : Direction de la prévention des pollutions et des risques

DSV : Direction des services vétérinaires

EDE : Etablissement départemental de l'élevage

ETM : élément trace métallique

FARRE : Forum de l'agriculture raisonnée respectueuse de l'environnement

FRCA : Fédération réunionnaise des coopératives agricoles

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques

ICPE : Installations classées pour la protection de l'environnement

INSEE : Institut national de la statistique et des études économiques

IE : Institut de l'élevage

IFEN : Institut français de l'environnement

INRA : Institut national de la recherche agronomique

ISB : indice de stabilité biologique

ITAB : Institut technique de l'agriculture biologique

ITAVI : Institut technique de l'aviculture

ITCF : Institut technique des céréales et des fourrages

ITEB : Institut technique de l'élevage bovin

ITP : Institut technique du porc

IRD : Institut de recherche pour le développement (ex-ORSTOM)

ISO : International Standard Organisation

MAE : mesures agri-environnementales

MB : matière brute

MES : matières en suspension

MO : matière organique

MS : matière sèche

MVAD : Mission de valorisation agricole des déchets de la Chambre d'agriculture

OCM : Organisation commune de marché

OMC : Organisation mondiale du commerce

OMS : Organisation mondiale de la santé

PAC : politique agricole commune

PIB : produit Intérieur Brut

RSD : règlement sanitaire départemental

SAU : surface agricole utile

SCAAR : Société agricole des aviculteurs de La Réunion

SICA Lait : Société d'intérêt collectif agricole Réunion lait

STEP : station d'épuration

SUAD : service d'utilité agricole et de développement

UAFP : Union des associations foncières pastorales

UGB : Unité gros bétail



Guide de la fertilisation organique à La Réunion

© CIRAD - <http://www.cirad.fr> et <http://www.cirad.fr/reunion>
ISBN : 2 87614 629 0 - Dépôt légal Mars 2006

© Diffusion : Chambre d'agriculture de La Réunion
24, rue de la Source - B.P. 134 - 97463 Saint-Denis cedex
Téléphone : 0262 94 25 94 - Télécopie : 0262 21 31 56
eMail : mvad.l.suad@reunion.chambagri.fr - Internet : <http://www.reunion.chambagri.fr>

© Crédit photos de couverture :
Pierre-François Chabalière, Jean-Michel Médoc, Hervé Saint Macary, Hervé Caillieux

Création graphique, conception maquette et mise en page :
OTCHOZ - Graphisme & Multimédia - <http://www.otchoz.com>

Impression :
NID Imprimerie - 25, rue Gabriel de Kerveguen
ZI du Chaudron - 97490 Sainte-Clotilde - La Réunion



Guide de la fertilisation organique à La Réunion

Le *Guide de la fertilisation organique à La Réunion* fait le point des connaissances sur les matières organiques produites à La Réunion ainsi que sur les aspects pratiques de la réglementation et de leur épandage en agriculture. Il comprend une première partie générale composée de neuf chapitres sur la culture, le sol, les analyses, l'emploi des matières organiques, les risques, la réglementation et les modes d'épandage. Dans une deuxième partie sont présentées des fiches techniques sur le calcul de fertilisation, les cultures, les prélèvements sur le terrain et vingt six matières organiques.



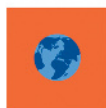
Centre
de coopération
internationale
en recherche
agronomique
pour le
développement



CHAMBRE
D'AGRICULTURE
REUNION



ADEME



La Mission de valorisation agricole des déchets (MVAD) de la Chambre d'Agriculture de La Réunion et le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) travaillent en partenariat depuis plusieurs années pour mettre au point une fertilisation organique raisonnée des cultures. L'objectif est d'aider, d'une part, les producteurs de matières organiques et de déchets (agriculteurs, municipalités, industries agro-alimentaires) pour qu'ils fournissent des matières organiques valorisables et, d'autre part, les utilisateurs pour qu'ils pratiquent une fertilisation organique raisonnée. Ce partenariat entre recherche et développement aboutit aujourd'hui à l'édition de ce guide, qui valorise les acquis de ces deux partenaires pour la promotion d'une agriculture efficace, durable et respectueuse de l'environnement.

Le *Guide de la fertilisation organique à La Réunion* s'efforce de répondre aux nombreuses questions posées par l'emploi et le recyclage des déchets et matières organiques en agriculture, en s'appuyant à la fois sur des références techniques et réglementaires de zone tempérée (France métropolitaine, Europe) et sur les connaissances acquises dans le milieu tropical de l'île de La Réunion. A ce titre, cet ouvrage peut aussi intéresser la métropole et d'autres zones tropicales.

Ce guide s'adresse à tous les acteurs du monde agricole : Chambres d'Agriculture, coopératives, techniciens et agriculteurs, collectivités, enseignants, chercheurs, bureaux de conseil et d'étude...

Prix : 19 €

© CIRAD - <http://www.cirad.fr> et <http://www.cirad.fr/reunion>

© Diffusion : Chambre d'agriculture de La Réunion
24, rue de la Source - B.P. 134 - 97463 Saint-Denis cedex
Internet : <http://www.reunion.chambagri.fr>

ISBN : 2 87614 629 0

