

TABLE DES MATIÈRES DU CHAPITRE 2

Analyse des pratiques et des connaissances de l'exploitant 64

2.1 DIAGNOSTIC 66

2.1.1 Effectuer et comprendre une analyse de sol 66

2.1.1.1 Fréquence conseillée des analyses de sols 66

2.1.1.2 Mode d'échantillonnage du sol d'une parcelle 66

2.1.1.3 Diagnostic agronomique du sol à partir de l'échantillon prélevé 69

2.1.1.4 Interprétation des analyses de sol et conseil de fertilisation 69

2.1.2 Besoins des cultures 70

2.1.2.1 Rappel général 70

2.1.2.2 Légumes en plein champ 70

2.1.2.3 Fruits 70

2.1.2.4 Fourrages 71

2.1.2.5 Cas de la canne à sucre 73

2.1.2.6 Cultures horticoles 75

2.2 CHOIX DES AMENDEMENTS ET ENGRAIS 79

2.2.1 Matières organiques 80

2.2.1.1 Classification des différentes matières organiques 80

2.2.1.2 Mise en place de la fertilisation mixte d'une culture 83

2.2.1.3 Difficultés à surmonter 83

2.2.1.4 Intérêts 83

2.2.1.5 Risques liés aux matières organiques 83

2.2.1.6 Critères de choix des matières organiques 84

2.2.1.7 Gestion des matières organiques sur l'île de La Réunion 85

2.2.2 Matières minérales 85

2.2.2.1 Présentation et choix des matières minérales 85

2.2.2.2 Les principales formes d'engrais minéraux 85

2.2.2.3 Accessibilité aux matières fertilisantes pour les plantes 87

2.3 CALCUL DE LA FERTILISATION 87

2.3.1 Éléments à prendre en compte ... 88

2.3.1.1 Besoins de la culture en éléments nutritifs 88

2.3.1.2 Caractéristiques de la matière organique 88

2.3.2 Fertilisation mixte d'une culture ... 88

2.3.2.1 Calcul de la fertilisation mixte d'une culture 88

2.3.2.2 Aide au calcul de la fertilisation mixte de cultures à La Réunion .. 88

2.4 ÉPANDAGE 93

2.4.1 Matières organiques 93

2.4.1.1 Réglementation sur l'identification des matières organiques 93

2.4.1.2 Distances réglementaires et préconisations techniques générales pour l'épandage 93

2.4.1.3 Épandage des matières organiques liquides 97

2.4.1.4 Épandage des matières organiques pâteuses 99

2.4.1.5 Épandage des matières organiques solides 100

2.4.1.6 Autres types de matériel 103

2.4.2 Matières minérales 103

2.4.2.1 Épandage solide 103

2.4.2.2 Épandage liquide 105

2.5 FERTIGATION : CAS DE LA CULTURE HORS SOL .. 107

2.5.1 Généralités 107

2.5.1.1 Principe de la culture hors sol .. 107

2.5.1.2 Contrôle de la solution nutritive .. 108

2.5.2 Les effluents des serres : le drainage 110

2.5.2.1 Présentation et contexte 110

2.5.2.2 Quatre méthodes pour gérer les eaux de drainage 111

Ce qu'il faut retenir des Bonnes Pratiques Agricoles pour ce chapitre .. 114

Pour aller plus loin 115

CHAPITRE 2

AMENDEMENTS ET ENGRAIS



LA FERTILISATION EST UNE PRATIQUE NÉCESSAIRE pour maintenir ou améliorer la fertilité des sols et apporter les éléments nutritifs nécessaires à la culture. Les matières utilisées peuvent être organiques ou minérales. Cet apport de matière fertilisante doit être raisonné pour associer production agricole de qualité et protection des milieux naturels. En effet, sans le respect des règles de base, comme l'analyse de sol par exemple, on observe des phénomènes de surfertilisation, d'épandage dans de mauvaises conditions conduisant à l'entraînement d'éléments comme l'azote ou encore le phosphore vers les eaux profondes ou les ravines, « réseaux d'alimentation » de nos captages en eau potable.

© G. Bourgault, CTCS



Par les auteurs : S. BUSSON (LEGTA St Joseph), P-F. CHABALIER (CIRAD-Réunion), J-S. COTTINEAU (ARMEFLHOR), B. DE LABURTHE (FRCA), P. FOURNIER (CIRAD-Réunion), K. LEROUX (FARRE), V. VAN DE KERCHOVE (CA), P. SALGADO (CIRAD-Réunion)



ANALYSE DES PRATIQUES ET DES CONNAISSANCES DE L'EXPLOITANT

Ces questions ont pour objectif d'appréhender, de manière générale, la fertilisation sur l'exploitation. Les conseils prodigués par le technicien seront ainsi mieux ciblés, et adaptés, au cas par cas, en fonction des réponses de l'exploitant.

Comment détermine-t-il l'apport d'amendements ou d'engrais ?

..... cf. 2.1.1 et 2.1.2

Connaître l'état initial du sol est la base d'une fertilisation efficace. Ne pas connaître les caractéristiques du sol peut entraîner un coût supplémentaire, une sur/sous-fertilisation ayant pour conséquence la mort ou l'affaiblissement de la culture, ou encore, une pollution des sols ou des eaux.

Connaît-il les besoins de ses cultures en engrais ?

..... cf. 2.1.2

Pour effectuer une fertilisation efficace et optimiser ses rendements et la qualité de sa production, l'exploitant doit connaître les besoins de ses cultures en fonction de leur stade de croissance.

Utilise-t-il des matières organiques ?

..... cf. 2.2.1

La fertilisation organique permet un recyclage et une valorisation des effluents d'élevage ainsi que des matières organiques urbaines, tout en augmentant la fertilité du sol. En utilisant une ressource locale et en limitant les volumes d'intrants minéraux, l'agriculteur participe au développement durable et réalise des économies à l'achat.

Utilise-t-il des matières minérales ?

..... cf. 2.2.2

La fertilisation minérale peut être couplée à une fertilisation organique : c'est la fertilisation mixte. Elle permet de réduire les doses d'engrais minéral à fournir à la culture et, avec certaines matières organiques, d'obtenir un effet amendant.

Comment détermine-t-il la dose/le volume d'engrais à apporter ?

..... cf. 2.3

Une fois les besoins connus, il est primordial d'apporter la dose optimale afin de ne pas risquer de trop fertiliser et engendrer des coûts supplémentaires ainsi que des pollutions du sol et des eaux.

Connaît-il les conditions météorologiques favorables ?

..... cf. 2.4

Épandre dans une fenêtre météorologique favorable permet de limiter les pollutions et d'assurer l'efficacité de la pratique.

Connaît-il les distances liées à l'épandage des produits qu'il utilise ?

..... cf. 2.4.1

Que cela soit au niveau des habitations ou des cours d'eau, une réglementation existe. Elle est mise en place pour limiter les nuisances vis-à-vis des tiers ou encore limiter les apports de fertilisant dans les sols et cours d'eau. Pour cela, elle varie d'un type de fertilisant à un autre.

Comment règle-t-il son équipement ? Le contrôle-t-il fréquemment ?

..... cf. 2.4

Un bon entretien et un bon réglage de son matériel permettent à l'agriculteur d'apporter de façon homogène son fertilisant. « Ni trop, ni trop peu ». La matière apportée est utilisée efficacement. On évite ainsi des pertes financières et des risques inutiles pour le milieu.

Utilise-t-il la fertigation ? Comment gère-t-il ses eaux de drainage ?

..... cf. 2.5.2

En culture hors sol, l'exploitant doit recycler ou traiter ses eaux de drainage. La loi l'y oblige, car libérés directement dans le milieu naturel, ces effluents sont extrêmement polluants.



© Cheik Saïdou / Mma.agr.fr

Station de traitement des effluents d'élevage SAS Camp Pierrot - Grand-Ilet Salazie

2.1 DIAGNOSTIC



L'ANALYSE DE SOL : BASE DU RAISONNE- MENT EN FERTILISATION

Les analyses agronomiques de sol renseignent sur les caractéristiques physiques, chimiques, et biologiques des sols. Elles permettent de connaître la disponibilité des éléments minéraux et de l'eau dans le sol. Les résultats de ces analyses permettent ainsi d'établir un plan de fertilisation optimal d'une culture en valorisant au mieux les réserves du sol et en tenant compte de ses besoins spécifiques.

La fertilisation raisonnée de cette façon est une composante essentielle de l'agriculture respectueuse de l'environnement. Elle optimise les apports en évitant des excédents et permet de rééquilibrer le sol pour une bonne nutrition de la plante. Le risque de lixiviation de matières fertilisantes est diminué.

2.1.1 EFFECTUER ET COMPRENDRE UNE ANALYSE DE SOL

2.1.1.1 Fréquence conseillée des analyses de sols

Pour la canne à sucre

Les analyses de sol sont effectuées tous les 4 à 7 ans, et au moins à chaque plantation, pour permettre de suivre l'évolution de la fertilité de la parcelle et réajuster les fertilisations minérales et organiques selon les besoins de la canne à sucre et du sol.

Pour les prairies

Des analyses de sol peuvent être effectuées avant une implantation et à chaque renouvellement de prairie. Par la suite, le conseil de fertilisation d'entretien de la prairie est couplé à l'analyse de l'herbe.

En arboriculture

Un prélèvement de sol doit être fait avant la plantation pour optimiser la fertilisation et les corrections lors de la plantation des jeunes arbres. L'horizon inférieur, de 30 à 100 cm de profondeur, peut être également prélevé pour vérifier la fertilité de cet horizon. Le suivi de la fertilité du sol d'une plantation pérenne peut se faire sur un rythme de 5 à 10 ans.

Pour le maraîchage intensif

Il est recommandé de suivre le sol sur des pas de temps courts de 2 à 5 ans, car les apports d'intrants étant importants, les évolutions du sol sont rapides. Notamment, les surfertilisations font apparaître des déséquilibres dans le sol pouvant créer des problèmes de croissance des cultures et éventuellement des pollutions du milieu.

2.1.1.2 Mode d'échantillonnage du sol d'une parcelle

Période favorable

Pour une parcelle de canne à sucre, la meilleure période se situe après la coupe : le sol est au repos pendant la saison sèche. Toutefois, toutes les périodes de l'année peuvent convenir, hormis après un épandage d'engrais, d'amendement ou autre produit organique et minéral qui fausserait l'analyse.

Pour les autres cultures, on conseille également de prélever le sol quand il est au repos, pendant la saison sèche et si possible avant l'implantation de la culture.

Localisation de la parcelle

La parcelle choisie doit être localisée précisément, afin de noter ce renseignement sur les fiches d'identification des échantillons qui sont remis au laboratoire : nom du lieu-dit, de la route avoisinante sur carte IGN, coordonnées GPS, ortho-photos... Au laboratoire du CIRAD, les cartes topographiques

IGN au 1/25 000^e sont consultables pour retrouver les coordonnées X-Y du point de prélèvement.

Prélèvements des échantillons de sol dans la parcelle

Dans la parcelle, il faut définir les zones où sont effectués les prélèvements qui constituent, après mélange, un ou plusieurs échantillons. Un seul échantillon est fabriqué pour chaque zone « homogène » de la parcelle (figure 1).

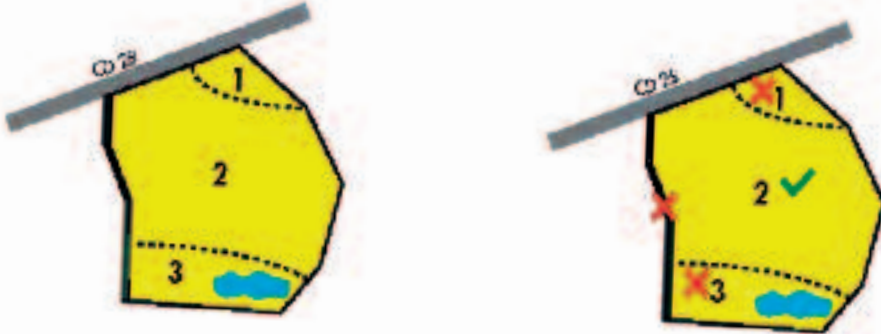
Une zone homogène : zone de même couleur de sol, même précédent cultural, même historique de fertilisation, même aspect végétatif

de la culture, et toutes autres caractéristiques similaires.

Selon sa surface et sa pente, une parcelle peut être composée d'une ou de plusieurs zones homogènes.

Chaque grande zone homogène est prélevée séparément. On exclura les zones trop petites. Dans chaque zone homogène, 15 prélèvements élémentaires de sol doivent être effectués. Plusieurs techniques existent : par exemple, celle de l'Association Française de NORMALISATION (AFNOR) et deux autres, plus simples, du Groupement d'Études Méthodologiques et d'Analyses des Sols (GEMAS).

Dans la parcelle où l'on souhaite effectuer une analyse de sol, on localise les zones homogènes (ici : 1, 2 et 3), puis on exclut les zones particulières (bordure de parcelle, zones trop petites, etc.). On choisit ici de prélever uniquement au centre de la zone 2, la plus importante en termes de surface et qu'on estime suffisamment représentative de la parcelle.

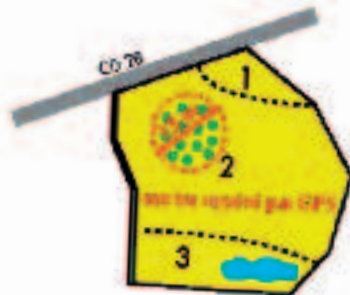


On applique alors une des deux méthodes du GEMAS :

- soit on prélève le long d'une diagonale traversant la zone désignée (zone 2 dans cet exemple)
- soit on détermine le centre de la zone désignée, et on prélève dans un cercle de diamètre de 15 m centré sur ce point.



Méthode d'échantillonnage en diagonale



Méthode d'échantillonnage à l'intérieur d'un cercle

Figure 1 : Identification de la zone homogène à échantillonner et exclusion des petites zones particulières (MVAD/CIRAD)

PROCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE

L'échantillon de sol est la base de la réflexion lorsque l'on veut mener à bien une fertilisation.

Sa qualité est donc primordiale.

- 1) Sur un carré de 40 cm de côté, enlever les herbes, les résidus organiques ou tout autre résidu pour obtenir une surface de sol propre ;
- 2) Les 25 cm de couche superficielle du sol sont prélevés : c'est la couche travaillée, où se développent les racines des plantes, qui assure la nutrition ;
 - **Utiliser de préférence une tarière** (en zone peu caillouteuse), qui sera enfoncée jusqu'à 25 cm de profondeur. Il faut 2 coups de tarière pour atteindre cette profondeur. Si la terre change de couleur en profondeur, en bout de tarière, éliminer la partie différente du prélèvement.
 - **Dans le cas de l'utilisation d'une bêche (ou d'une pelle)**, il faut creuser jusqu'à 25 cm de profondeur (sauf si la terre change de couleur avant). Les volumes de terre de chaque prélèvement étant plus importants qu'avec une tarière, on met dans un premier seau le sol prélevé à la bêche et on garde un sous échantillon dans un deuxième seau.
- 3) Les 15 prélèvements sont recueillis au fur et à mesure dans le seau de 12 litres. La terre finale remplit le seau à environ les 2/3. La terre est émiettée, les cailloux sont enlevés et la terre contenue dans le seau est soigneusement mélangée.
- 4) Dans le seau, prendre une dizaine de poignées de terre (soit l'équivalent d'un kilo) pour remplir un sac plastique destiné au laboratoire. Ce sac plastique doit être évidemment propre, neuf et assez résistant.

C'est l'échantillon moyen qui sera porté au laboratoire. Il y a un échantillon moyen par zone. BIEN IDENTIFIER L'ÉCHANTILLON SUR LE SAC AU MOYEN D'UN MARQUEUR INDÉLÉBILE.

- 5) Remplir la fiche d'identification qui accompagne le sac de l'échantillon.
 - a) coordonnées géographiques X-Y de la parcelle en précisant le référentiel utilisé : carte IGN ou GPS
 - b) situation de la zone échantillonnée, s'il y a plusieurs zones dans la parcelle
 - c) date du prélèvement
 - d) nom de l'exploitant et du responsable du prélèvement (dans le cas d'une structure professionnelle ou d'un institut)
 - e) type de sol (il est également déterminé automatiquement par le système expert du laboratoire du CIRAD en fonction de la localisation de la parcelle) ; précédent cultural, culture en place, culture qui suivra
 - f) tout autre renseignement permettant de ne pas confondre l'échantillon avec un autre prélevé dans des conditions similaires.

Votre échantillon est prêt à être déposé au laboratoire des sols du CIRAD. Pour obtenir leurs coordonnées, reportez-vous à Votre carnet d'adresses page 250.

2.1.1.3 Diagnostic agronomique du sol à partir de l'échantillon prélevé

Le diagnostic agronomique du sol prend :

- Certaines caractéristiques chimiques du sol. Les teneurs en carbone, azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium, sodium, la capacité d'échange cationique (CEC), le potentiel hydrogène (pH), la saturation en bases de la CEC. À partir de ces éléments, sont calculés la teneur en matière organique du sol, le rapport carbone/azote (C/N), la proportion de potassium en pourcentage (K %) dans la CEC, le rapport magnésium/calcium (Mg/Ca). La matière organique du sol est essentiellement décrite par ses teneurs en carbone et en azote, et par le rapport C/N.
- Certaines caractéristiques physiques du sol. La détermination de la réserve utile en eau (par exemple : mesure de pF au laboratoire), la densité apparente (sol en place), etc.
- Certaines caractéristiques biologiques du sol. L'activité biologique est évaluée à partir de la mesure de la biomasse microbienne vivante de celui-ci. C'est un test spécifique fait par respirométrie au laboratoire.

À la demande, vous pouvez obtenir les teneurs en oligo-éléments (fer, zinc, manganèse, cuivre, bore) ainsi que les éléments traces métalliques (ETM) du sol (ex. cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc...).

2.1.1.4 Interprétation des analyses de sol et conseil de fertilisation

En fonction du diagnostic agronomique de sol, le laboratoire d'analyse propose, selon les cultures, un conseil de fertilisation plus ou moins détaillé. Ce conseil quantifie les éléments nécessaires à la culture, définit les corrections du sol (acidité, apport de MO, phosphore, potassium) et propose des fertilisations d'entretien.

Pour la canne à sucre

Depuis 2010, le système d'interprétation automatique des analyses de sol « SERDAF » permet de réaliser des calculs de fertilisation et propose des formules d'engrais adaptées au rendement, aux pratiques culturales et au sol de la parcelle. Lors de l'établissement du bulletin de conseil, des renseignements précis portant sur l'exploitation sont demandés : rendement en canne espéré par l'agriculteur, système de coupe,

savoir s'il exporte ses pailles et si l'agriculteur a déjà planifié des apports de cendres, de matières organiques, ou d'autres produits.

Le système calcule alors la fertilisation raisonnée la plus adaptée au cas de figure : celle conseillée à la plantation et celle conseillée sur les repousses.

Il donne des conseils sur la matière organique, le chaulage, le niveau de phosphore du sol et les doses d'engrais NPK d'entretien. Il permet également de faire des simulations : changements de rendement, apports de matières organiques ou minérales, etc. Il recalcule automatiquement les fertilisations minérales complémentaires adaptées aux nouvelles données entrées. Le technicien peut alors rechercher avec l'agriculteur la fertilisation la plus économique et évaluer l'impact de ses choix techniques.

Dans plus de 40 % des cas, le système ne trouve pas de formules ternaires NPK du commerce correspondant à l'équilibre idéal des éléments NPK pour la parcelle (la recherche est faite à plus ou moins 20 % sur chaque élément). Il propose alors des mélanges d'engrais simples ou binaires.

La plupart des agriculteurs n'ont pas l'habitude et ne sont pas équipés pour faire eux-mêmes leur mélange d'engrais et cette technique est peu répandue. On emploie généralement des formules ternaires NPK « standard ». Le technicien doit voir alors quelle solution est possible pour l'agriculteur : faire des mélanges d'engrais simples (généralement : P-supertriple et Kcl après la coupe et urée décalée en couverture) ou appliquer des engrais binaires ou ternaires les plus proches des apports NPK recherchés.

Pour les autres cultures

À La Réunion, il n'y a pas de conseil de fertilisation automatisé en l'état du logiciel Serdaf V-2010. Seuls figurent sur le bulletin l'interprétation des résultats d'analyse de sol et les besoins de chaulage (Ca et Mg) et de redressement en phosphore (P) pour obtenir des niveaux souhaitables selon les sols. Ces bulletins sont édités par le laboratoire des sols du CIRAD.

En fonction des besoins nutritionnels de la culture, le technicien proposera des recommandations de fertilisation NPK, incluant ou non des chaulages et des renforcements de fumure P.

> Vous pouvez accéder au logiciel Serdaf sur internet, introduire vos codes d'accès remis lors du dépôt de l'échantillon de sol auprès du laboratoire des sols du CIRAD, et obtenir vos conseils de fertilisation.

2.1.2 BESOIN DES CULTURES

Les besoins nutritifs d'une série de cultures localisées à La Réunion sont repris en annexe du « manuel de l'utilisateur » du logiciel de fertilisation « Ferti-Run 2008 ». Ce logiciel, édité par le CIRAD et la MVAD, est accessible gratuitement sur internet à l'adresse suivante :

<http://www.mvad-reunion.org/-FERTI-RUN-2007->

Il couvre vingt variétés de légumes, six fruits et deux fourrages tempérés. Le mode de fertilisation varie selon les cultures.

2.1.2.1 Rappel général

Extrait du guide de la fertilisation organique à La Réunion (Chabalière et al., 2006)

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 ou avant ;

- 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.

2.1.2.2 Légumes en plein champ

L'apport de matière organique ne se fait qu'à la plantation, en une fois. Les besoins couverts à ce moment correspondent aux fumures de fond et d'entretien, par cycle cultural. L'apport de matière organique sur ces cultures maraîchères ne doit pas être systématique sur chaque cycle, étant donné le grand nombre de rotations possibles dans l'année, surtout dans le cas des cultures à cycle court (laitue, radis...).



Même si les quantités sont raisonnées, il est plus prudent de limiter les intrants organiques au maximum à quatre apports dans l'année. L'opportunité d'un apport est à analyser à chaque mise en place de culture.

2.1.2.3 Fruits

Plantes à cycle court

Sont concernées, les cultures d'ananas et de fraise, « à la plantation ». La matière organique est épandue sur la ligne de plantation et enfouie dans le billon. L'apport est calculé pour satisfaire les besoins de la culture en fumure de fond, les fumures d'entretien étant réalisées avec des engrais minéraux.

Plantes à cycle long, pluriannuelles

Sont concernés les agrumes, letchis, manguiers, bananiers, fruits de la passion et papayer. Pour chacune de ces cultures, les besoins en fertilisation sont :

- « **à la plantation** » : fumure de fond à épandre sur la ligne de plantation et à enfouir ou à apporter au fond du trou de plantation et à recouvrir de terre (pas de contact direct des racines de la plante avec la matière organique) ;
- « **en production** » : fumure d'entretien : matière organique à épandre entre les lignes de plantation et à enfouir légèrement, par exemple par des passages de disques légers.

2.1.2.4 Fourrages

Les espèces et variétés fourragères cultivées sont sélectionnées pour leur haut potentiel de production. Elles sont donc exigeantes et nécessitent une fertilisation pour leur implantation, leur production et leur entretien. Les niveaux de fertilisation dépendent du sol, du type de prairie (espèces

et variétés), de la saison, des exportations selon le mode d'exploitation et le niveau de production, des restitutions par les animaux (déjections), du lessivage par les pluies, etc. Les pratiques de fertilisation des prairies doivent s'adapter aux rythmes biologiques des plantes cultivées pour que le niveau de production fourragère varie le moins possible dans le temps. Adapter la fertilisation à la saison, c'est ajuster la production d'herbe à la consommation du troupeau.

Il n'y a pas de calendrier de fertilisation « type » car les situations géographiques et climatiques sont multiples. De plus, chaque exploitation a ses objectifs de production : c'est la demande du troupeau qui détermine la quantité de fourrage à produire. Les dates d'apports d'engrais sont donc choisies en fonction des fluctuations climatiques saisonnières et des besoins fourragers. Une seule constante : les repousses doivent être fertilisées après chaque exploitation de l'herbe. L'apport de fertilisant (organique ou minéral) doit se faire dans les jours qui suivent la coupe ou la sortie des animaux, pour favoriser la croissance de l'herbe.



Élevage bovin sur prairie

© Chak. Saïfeu/Mi'agri.fr

Le pic de production de saison des pluies, moins important, se décale vers la fin de saison grâce à une fertilisation moins riche en azote, à l'ensilage des excédents et des pluies tardives favorisant cette tendance. On observe que des apports fractionnés d'engrais assurent le maintien d'une production herbagère suffisante en saison fraîche habituellement déficitaire en fourrage.

En saison des pluies, des engrais faiblement dosés en azote, visant à limiter les excédents de fourrage tout en alimentant le sol en phosphore et en potassium selon les besoins exprimés par les diagnostics, conduisent à la diminution des écarts aux références souhaitables : moins d'excès et de carences, baisse des variabilités saisonnières et interexploitations. En saison fraîche, la stimulation de la pousse de l'herbe, ralentie par les conditions hivernales avec des engrais plus fortement dosés en azote est atteinte.

L'utilisation de formulations mieux adaptées à des doses plus raisonnées se retrouve dans l'évolution des indices de nutrition des prairies. Les niveaux azotés des parcelles sont toujours moins

élevés en saison des pluies, à l'inverse des rendements en herbe. En saison fraîche les indices de nutrition progressent et permettent la production fourragère nécessaire à l'alimentation du troupeau et au maintien de la qualité de l'herbe et de la composition floristique de la prairie. La forte variabilité des niveaux de nutrition en potassium tend à se réduire et la majorité des indices se situe désormais dans une gamme plus restreinte, excès et carences devenant moins prononcés. Bien que plus lente, la levée des phénomènes de blocage du phosphore dans les andosols devant être envisagée sur le long terme, une nette amélioration des indices de nutrition en phosphore se manifeste en saison fraîche, par la quasi-disparition des fortes carences observées les années précédentes. Compte tenu de l'insuffisance d'entretien calco-magnésien, on assiste à une acidification progressive, plus ou moins marquée, des sols. Ces résultats, qui s'opposent à l'optimisation des pratiques de fertilisation, montrent que l'acidité des sols demeure l'un des principaux facteurs limitant la culture fourragère dans « les Hauts » de La Réunion.



Prairie de fauche

Il faut prendre en compte la valorisation des effluents d'élevages pour intégrer les engrais de ferme au plan de fertilisation mis en place avec les éleveurs, le but étant de les valoriser au mieux en les substituant autant que possible, aux engrais minéraux. Le remplacement de la fertilisation minérale par un amendement organique (composté ou pas) dans une proportion de 50 % vise à préserver la qualité de l'eau sur certains territoires sensibles au lessivage de l'azote, notamment sur les zones d'alimentation de captage d'eau potable, en diminuant d'au moins de moitié la fertilisation minérale, facilement lessivable, et en ajustant les apports organiques, plus stables, en fonction de leur valeur fertilisante et des besoins de la culture. L'apport de compost ou de toute autre matière organique de « qualité » éligible sur la base des informations fournies par analyse du sol en remplacement de la fertilisation minérale

présente des avantages indéniables. La teneur en matière organique d'un sol conditionne la qualité du complexe argilo-humique. Son augmentation entraîne une amélioration de la stabilité structurale (enjeu érosion hydrique et éolienne) et une augmentation de la capacité d'échange cationique qui se traduit par un meilleur stockage des éléments minéraux nutritifs. Il doit ainsi être mobilisé sur les zones d'action prioritaire identifiées pour leur risque de pollution des eaux par l'azote ainsi que dans les zones érosives.

2.1.2.5 Cas de la canne à sucre

Parmi les principaux éléments qui servent à définir une fertilisation, citons les besoins de la culture, les exportations et surtout les essais de courbe de réponse aux éléments dans différentes conditions.



Tiges de canne à sucre

© D. Zibéfin, DAAF

Mobilisations totales en N P K par la canne à sucre

Mobilisations d'éléments minéraux selon les différentes compartimentations de la biomasse à la récolte pour 100 tonnes de canne propre livrées à l'usine (soit 118 tonnes de canne au champ en considérant 15 % de perte à la coupe)

	Teneur en % MS			Matière sèche (MS)	Quantités mobilisées (en Kg)		
	N	P2O5	K ₂ O	MS en t/ha	N	P2O5	K ₂ O
tige canne	0,25	0,18	0,75	32,6	81,5	58,68	244,5
feuilles vertes	1,20	0,34	1,20	6,6	79,2	22,44	79,2
feuilles mortes	0,22	0,22	0,50	10	22,0	22,00	50,0
choux	0,88	0,41	1,50	6	52,8	24,60	90,0
TOTAL	---	---	---	55,2	235,5	127,72	463,7

Figure 2: Données pour 118 tonnes de canne propre au champ, R570 (CIRAD)

De ce résultat, nous pouvons tirer les exportations moyennes pour une tonne de canne usinable propre (sans feuilles et sans choux).

Une tonne de tige de canne propre (R 570) mobilise et exporte les éléments suivants :

0,81 kg de N – 0,59 kg de P₂O₅ – 2,44 kg K₂O

Remarque : ceci est valable pour des rendements proches de 100 t/ha récoltées, car les répartitions de biomasse ne sont pas linéaires en fonction de la biomasse totale produite.

Les restitutions au champ pendant le cycle et après la coupe de « non-tiges » seraient de

154 N – 69 P₂O₅ – 219 K₂O

auxquels il faudrait rajouter 18 tonnes de morceaux de canne restant au sol soit un total de :

168 N – 78 P₂O₅ – 255 K₂O

**Remarque : les données de teneurs moyennes en éléments utilisées sont issues d'une base de données dans laquelle les variations analytiques sont très importantes selon les essais et leur localisation.*

Nous avons choisi les valeurs de teneurs en éléments qui semblaient correspondre à une nutrition correcte de la canne.

Besoins de la canne pendant la croissance

Les besoins de la canne varient en fonction du cycle. Les besoins azotés sont forts en début, les besoins potassiques se situent plutôt en milieu de cycle et les besoins en P sont assez continus.

Contrôle de la nutrition pendant la croissance

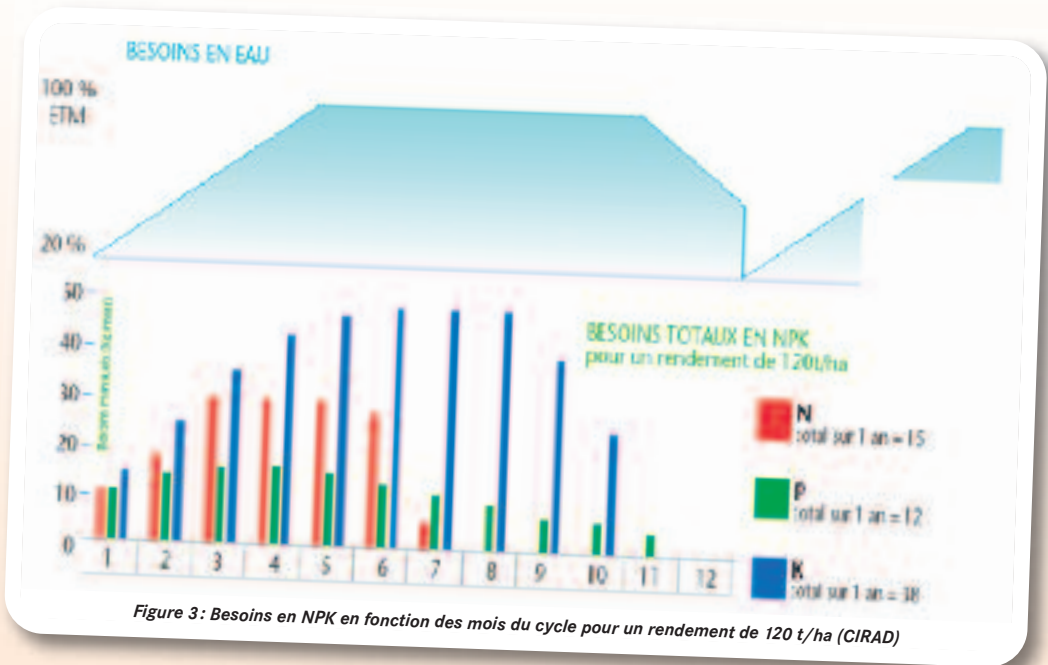


Figure 3 : Besoins en NPK en fonction des mois du cycle pour un rendement de 120 t/ha (CIRAD)

Le diagnostic foliaire (DF) sur canne à sucre est opérationnel depuis 50 ans. Il a été mis au point à Maurice par P Halais. C'est un outil de contrôle de la nutrition de la culture pendant la croissance, très utilisé dans les complexes sucriers. Il est complémentaire de l'analyse du sol. Il est très utile pour réagir rapidement puisqu'il informe de la nutrition en éléments nutritifs de la canne en cours de levée entre le 4e et le 7e mois, en pleine croissance. Il en existe quelques variantes dont une méthode de calcul d'indices, en prenant en compte d'autres données. À La Réunion, les feuilles n° 3-4-5 sont prélevées et leurs tiers médian sont analysés au laboratoire pour leurs teneurs en N, P, K, Ca et Mg. Les teneurs obtenues sont comparées à une grille d'interprétation. Des corrections de fertilisation sont alors possibles en cours de cycle si le prélèvement est fait tôt et si les délais d'analyse sont rapides. Le plus souvent, les résultats sont difficilement exploitables l'année même, compte tenu des délais d'analyse. Si des carences sont observées une année, il convient de confirmer précocement le diagnostic l'année suivante, avant d'intervenir sur une éventuelle modification de la fertilisation. Les grands complexes sucriers sont équipés d'avion permettant des épandages rapides sur la canne déjà développée. Ici, nous sommes obligés d'intervenir en cours de cycle, soit avec

des appareils de type enjambeurs, soit à la main. Les apports complémentaires de N ne doivent pas dépasser 6-7 mois selon les cycles et le potassium 8 mois. Dans le cas contraire, les changements de type de fertilisation sont à programmer sur la repousse suivante.

2.1.2.5 Cultures horticoles

Les cultures horticoles constituent un domaine très vaste :

- La floriculture, avec les fleurs coupées, les potées fleuries, les plantes à massif, les potées vertes ;
- La pépinière, pour la production d'espèces ligneuses, arbres et arbustes ;
- La serriculture, avec la production floricole et de pépinière sous serre ;
- Le paysagisme, pour la création de jardins et de grands espaces ;
- L'horticulture maraîchère, pour la production de fruits et légumes ;
- L'arboriculture fruitière.

La conduite technique, dans laquelle les pratiques de fertilisation rentrent en compte, dépend de la destination finale de la plante produite.



Culture de roses

© Chéri.Saidou/Min.agric.fr

Il convient par ailleurs de préciser qu'au-delà de ces différentes catégories d'activités comprises dans le terme d'horticulture, on peut aussi distinguer les cultures selon leur support, puisqu'on peut produire dans des serres hors sol, en pleine terre sous serre, en plein champ, et même sur bâche en extérieur.

Les facteurs influençant l'assimilation des éléments minéraux par les racines

Cette partie est présentée ici, car la culture en pot/sachet, fréquente en horticulture, rend les

plantes particulièrement sensibles aux variations de ces facteurs, de par le plus faible pouvoir tampon généré par le contenant, de faible volume et fermé.

On distingue ainsi :

- **Les facteurs agronomiques**

L'humidité suffisante et relativement constante permet la solubilisation des éléments minéraux, et donc leur absorption par la plante. En excès, elle provoque le lessivage et la perte d'éléments minéraux, et peut également asphyxier les racines.

L'oxygénation du substrat est également essentielle, pour permettre la respiration racinaire nécessaire au mécanisme d'absorption.

La salinité du substrat, favorisée par les sécheresses, doit être maintenue à un niveau acceptable. Trop importante, elle limite l'absorption de l'eau et des éléments minéraux; trop faible, elle génère des carences impactant les rendements et la qualité de la production.

Le pH doit être maintenu à une valeur proche de 5,8, propice à l'assimilabilité de la majorité des éléments minéraux. La culture en pot, où le pouvoir tampon du substrat est plus limité qu'en plein sol, est plus sujette aux variations de pH pouvant largement limiter l'absorption des minéraux.

Enfin, l'équilibre ionique entre certains ions doit être maintenu, afin de limiter les phénomènes d'antagonisme entre ions (ex. : Ca^{++} inhibe l'absorption de K^+ et Mg^{++}).

• Facteurs climatiques

On retiendra que des conditions de lumière, de température de l'air et d'hygrométrie (le tout constituant le climat ambiant) maintenues à leur niveau optimal favoriseront l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par les racines, notamment en favorisant l'évapotranspiration; elles sont également nécessaires à un bon métabolisme global de la plante.

Dans le cas des cultures hors sol, la bonne croissance de la plante est encore plus dépendante des conditions environnantes qu'en plein sol. On retiendra notamment que la température du substrat joue également un rôle non négligeable sur l'absorption des éléments minéraux, et donc sur l'efficacité de la fertilisation: une température excessive (supérieure à 25°C), même pour les plantes tropicales, inhibe le phénomène d'absorption racinaire.

L'application d'un paillis de surface pourra par exemple être utile pour limiter l'élévation de température du substrat d'un pot exposé en plein soleil.

Plus la température est élevée, moins l'oxygène est disponible, d'où une limitation de la respiration racinaire et donc de l'activité. Il est à noter qu'un renouvellement fréquent de la solution du sol permet d'apporter de l'eau et de rafraîchir le substrat. Cependant, on observera une perte en éléments minéraux (effet de « chasse »). Attention à ne pas utiliser l'eau directement sortie d'un réseau d'irrigation resté au soleil.

Méthodes d'évaluation des besoins des plants horticoles

• La théorie

Les besoins en éléments minéraux des plants varient en fonction du stade de croissance.

Il existe plusieurs méthodes calendaires de fertilisation, en fonction du type de production. Pour les potées fleuries, la fertilisation varie 2-3 fois en cours de culture, selon les objectifs du stade de culture: végétation, induction florale et floraison/vente. Dans le cas des plantes vertes, les apports sont plus réguliers, pour l'objectif uniquement végétatif. Enfin, pour les fleurs coupées produites hors sol, on a un équilibre pour la culture du début à la fin. L'utilisation de certains mélanges fertilisants (et de certains substrats complémentés) va favoriser l'enracinement, le développement du feuillage ou la floraison/fructification.

• La pratique

Méthodes d'observation

L'observation visuelle du développement de la plante donne de précieuses informations sur la conduite de la culture, et notamment, sur la qualité de la fertilisation: couleur des feuilles, des fleurs, solidité de la charpente, taille de l'entre-nœud, forme et taille des feuilles/fleurs. Vous pouvez obtenir des informations sur les effets de carence ou d'excès en éléments minéraux dans *Techniques horticoles* de P. Gautreau et A. Mâchefer (cf. *Bibliographie*).

Attention, d'autres facteurs entrent en compte dans le développement de la plante, et peuvent influencer sur ces observations. Ils doivent être considérés par ailleurs: l'alimentation en eau, la qualité et la quantité de lumière, l'utilisation d'hormones, la salinité du substrat, sa porosité, la pression parasitaire, l'antagonisme possible entre les éléments apportés, etc.

La culture en pot/sachet/support inerte (laine de verre, perlite) est particulière. En effet, on n'aura pas dans ces supports l'effet tampon d'un sol. Toute modification du substrat ou du milieu (changement dans les apports en eau, dans la fertilisation, de la température du sol, etc.) aura des conséquences plus marquées et plus rapides que dans une culture de plein sol. La conduite de la fertilisation hors sol demande donc encore plus de technicité et d'attention pour l'obtention de bons résultats de production. D'autres méthodes permettent également d'évaluer la présence et la disponibilité des éléments minéraux dans le substrat:



Orchidées en pots

L'étude de la conductivité du substrat

Sur des plantes en pots, fleurs coupées hors sol, plantes molles, plantes vertes, ou encore plantes lignifiées, on fait les mêmes contrôles qu'en productions maraîchères hors sol : suivi du contenu et de la conductivité des eaux de drainage, en s'appuyant sur des mesures régulières de conductivité et de salinité réalisées avec un appareillage adéquat (conductivimètre). On s'appuiera également sur la classification de Penningfeld, qui classe les plantes en fonction de leur résistance à la salinité et de leurs besoins en minéraux, et sur les connaissances théoriques concernant les besoins de la plante. Méthode d'étude la plus courante : on draine à l'excès avec une eau claire un échantillon de

pots ou autres contenants, et on étudie la conductivité des eaux excédentaires à la sortie du pot. L'étude de cette fraction donne une idée assez fiable de la teneur en sels et en minéraux de l'eau libre dans le sol qui constitue la fraction disponible pour l'absorption par les plantes.

Méthodes complémentaires :

Enfin, en pleine terre, on réalise si possible des analyses du sol fréquentes, afin d'évaluer la présence et la disponibilité des éléments minéraux. Pour les cultures hors sol, on est capable d'estimer les besoins théoriques de la plante grâce à la bibliographie existante. Le choix du substrat et des préparations fertilisantes interviendra à la suite de ces évaluations.

2.2 CHOIX DES AMENDEMENTS ET ENGRAIS

LE PLAN DE FERTILISATION

Un plan de fertilisation ou plan de fumure est un document technique prévisionnel des besoins quantitatifs et qualitatifs en fertilisants, en vue de réaliser l'objectif de production de l'agriculteur. Il doit être réalisé à partir de l'analyse de sol.

Le plan de fumure est établi annuellement, pour chaque parcelle ou îlot cultivé, et pour l'ensemble de celles-ci. Il est le résultat d'un compromis entre les contraintes techniques (manutention, stockage, matériel d'épandage...) et économiques (temps de travail, approvisionnement, coût...). La nature, les doses et les dates d'apport sont fixées pour chaque parcelle et les quantités de matière(s) organique(s) et d'engrais à apporter sont connues pour l'ensemble de l'exploitation.

À La Réunion, les données scientifiques sur la migration, le comportement général, des matières organiques sont mal connues. La prise en compte des arrières effets de la fertilisation est donc difficile.

En conclusion : *Le plan de fumure reste un outil d'optimisation de la production basé sur le recensement d'informations de l'exploitation et un questionnement sur la conduite générale de la fertilisation à venir. Malgré le manque de connaissance évoqué ci-dessus, il reste un outil de raisonnement de la fertilisation applicable à La Réunion.*

Choisir les matières fertilisantes et calculer le volume à apporter nécessite de la part de l'agriculteur une tenue stricte de l'historique de ses parcelles. L'instrument pour ce faire est le cahier d'enregistrement.

En cours d'année, le suivi de la fertilisation des cultures est réalisé à l'aide du cahier d'épandage (cf. 5.3.2) obligatoire pour une Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE), du registre des matières organiques, obligatoire dans le cadre des Bonnes Conditions Agro-Environnementales (BCAE), ou d'un autre mode d'enregistrement.

Le raisonnement général de la fertilisation d'une culture intègre :

Les corrections de fond : apport d'amendements minéraux (cendres, amendements calco-magné-

siens, engrais phosphatés), qui permettent de corriger, si nécessaire, le pH et la fertilité du sol.

La fertilisation d'entretien de la culture, avec :

- Les apports organiques, qui ont un effet amendement et/ou engrais ;
- Le complément minéral, qui permet de couvrir les besoins de la plante en éléments fertilisants selon le principe des avances sur cultures.

La quantité de matière fertilisante à apporter résulte d'un raisonnement agronomique de la fertilisation établie à partir des données suivantes :

- Un diagnostic ou bilan cultural ;
- Un objectif cultural ;
- Une bonne connaissance des produits utilisés (organiques et/ou minéraux) ;
- Une parfaite maîtrise de l'épandage.

2.2.1 MATIÈRES ORGANIQUES

2.2.1.1 Classification des différentes matières organiques

Selon son origine

- Agricole : fumiers, lisiers, fientes, composts, etc. ;
- Urbaine : boues d'épuration, composts de déchets verts, broyats de végétaux (BRF) ;
- Agroalimentaire : écume de sucrerie, cendres, vinasse de distillerie.

Selon certaines propriétés agronomiques

- Composition organique et minérale (teneurs en N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg...);
- Teneur en matière sèche, qui conditionne l'état liquide, pâteux ou solide. Ce critère influence fortement la richesse en éléments minéraux d'une matière organique (ex. : plus une matière organique donnée est sèche, plus elle sera concentrée en éléments minéraux).

Selon ses effets

• Effet « engrais » (ex. : lisiers, fientes, boues...)

Effets recherchés :

- Agit comme un engrais ;
- Éléments nutritifs rapidement disponibles pour les cultures ;
- Effet fertilisant calculé à partir du coefficient d'équivalence engrais (CE) correspondant à chaque élément fertilisant (N, P₂O₅, K₂O).

• Effet amendant [ex. : composts, fumiers (bovin, caprin...)]

Effets recherchés :

- Permet la formation d'humus stable ;
- Améliore l'état physique du sol (ex. : meilleure pénétration des racines dans le sol, meilleure circulation de l'air et de l'eau), formation et entretien du complexe argilo-humique ;
- Permet une plus grande activité biologique dans le sol (présence de vers de terre...);
- Peut atténuer l'effet négatif d'un travail intensif du sol (accélération de la minéralisation de la matière organique du sol et dégradation de sa structure), comme c'est parfois le cas en maraîchage.

Interprétation des effets										
catégorie	effet engrais	effet amendant	Effet fertilisant en kg pour 1 000 kg de produit brut			Teneur en MS	Effet amendant			
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O		C/N	MO	Σ 2 classes	conversion en 5 classes
1 étoile	faible, pauvre	très faible	< 1	< 2,5	< 3	0 - < 150	< 5	< 100	< 4	1
2 étoiles	moyen	faible	1 - < 3	2,5 - < 4	3 - < 7	150 - < 300	5 - < 10	100 - < 200	5	2
3 étoiles	riche, important	moyen	3 - < 6	4 - < 5,5	7 - < 10	300 - < 450	10 - < 15	200 - < 300	6	3
4 étoiles	très riche, très important	important	≥ 6	≥ 55	≥ 10	≥ 450	15 - < 20	300 - < 400	7	4
5 étoiles	très important	très important	—	—	—	—	≥ 20	≥ 400	8	5

Figure 4: Intérêt agronomique de 26 matières organiques produites à La Réunion (CIRAD/CA) (Ci-dessus et ci-contre)

Matière organique	Teneur en matières sèches	Estimation effet fertilisant			Estimation effet amendant organique	Intérêt agronomique principal	Décret épandage de boue, normes NFU 44-051, NFU 44-095 et NFU 42-001
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
Compost de fumier de bovin sur support cellulosique	••	•••	•••	••••	••••	Riche en K, moyen en N et P, effet amendant moyen	Amendement organique NF U 44-051
Compost de fumier de poule pondeuse	••••	••••	••••	••••	••••	Très riche en P et K, riche en N, effet amendant important	Amendement organique NF U 44-051
Compost de fumier de poulet de chair	••••	••••	••••	••••	••••	Très riche en N, P et K, effet amendant très important	Amendement organique NF U 44-051
Compost de fumier de poulet de chair et de lisier de porc	••	••	••••	••••	••••	Très riche en P, riche en K, moyen en N, effet amendant important	Amendement organique NF U 44-051
Compost de géranium	••	••	•	••••	••	Riche en K, moyen en N, effet amendant faible	Amendement organique NF U 44-051
Compost de lisier de porc et de bagasse	••	•	••••	•	••••	Riche en P, effet amendant moyen	
Fiente de poule pondeuse	••••	••••	••••	••••	•	Très riche en N, P et K, effet amendant très faible	Engrais organique NF U 42-001
Fumier de bovin	••	••	••	••••	••••	Riche en K, moyen en N et P, effet amendant moyen	Amendement organique NF U 44-051
Fumier de caprin	••	••	••	••••	••	Très riche en K, moyen en N et P, effet amendant faible	Amendement organique NF U 44-051
Fumier de cheval	••	••	••	•	••••	Moyen en N et P, effet amendant très important	Amendement organique NF U 44-051
Fumier de lapin	••	•	••	••	••••	Moyen en P et K, effet amendant moyen	
Fumier de mouton	••	••	••••	••••	••••	Très riche en K, riche en P, moyen en N, effet amendant moyen	Amendement organique NF U 44-051
Fumier de poule pondeuse	••••	••••	••••	••••	••••	Très riche en N, P et K, effet amendant très important	Amendement organique NF U 44-051
Fumier de poulet de chair	••••	••••	••••	••••	••••	Très riche en N, P et K, effet amendant très important	Amendement organique NF U 44-051
Lisier de bovin	•	••	•	••	•	Moyen en N et K, engrais organique dilué, effet amendant très faible	
Lisier de lapin	•	••••	••••	••	••	Riche en N et P, moyen en K, effet amendant faible	
Lisier de porc	•	••	•	••	•	Moyen en N et K, effet amendant très faible	
Lisier de poule pondeuse	•	••••	••	••	•	Très riche en N, moyen en P et K, effet amendant très faible	
Écume de sucrerie	••	•	••••	•	••••	Très riche en P, effet amendant très important	
Vinasse de distillerie	•	•	•	••••	•	Très riche en K, effet amendant très faible	
Boue d'épuration liquide	•	••••	•	•	•	Riche en N, effet amendant très faible	décret épandage boue épuration en agriculture
Boue d'épuration pâteuse	•	••••	••	•	•	Riche en N, moyen en P, effet amendant très faible	décret épandage boue épuration en agriculture
Boue d'épuration solide	••••	••••	••••	•	••••	Très riche en N et P, effet amendant moyen	décret épandage boue épuration en agriculture
Boue d'épuration solide-sèche	••••	••••	••••	•	••••	Très riche en N et P, effet amendant important	décret épandage boue épuration en agriculture
Compost de déchets verts	••••	•	•	••	••••	Moyen en K, effet amendant important	Amendement organique NF U 44-051
Compost de déchets verts et de boue d'épuration	••••	••	••••	••••	••••	Riche en P et K, moyen en N, effet amendant important	Compost contenant des MIATES NF U 44-095

Les classes ont été fixées afin d'assurer une bonne répartition des diverses matières organiques dans chacune d'elle, excepté pour le critère C/N. En effet, dans ce cas, les classes retenues correspondent à un effet agronomique. Par exemple :

- C/N < 5 effet essentiellement « engrais » ;
- C/N = 10 début d'immobilisation ;
- C/N ≥ 15 immobilisation confirmée.

L'effet amendant d'une matière organique a été déterminé à partir de deux critères : C/N estimé et teneur en matières organiques (MO). L'effet fertilisant en un élément (N, P₂O₅ ou K₂O) d'une matière organique correspond, dans ce tableau, à sa teneur totale en cet élément multipliée par son coefficient d'équivalent engrais. Le coefficient d'équivalence engrais d'une matière organique provient de sources bibliographiques, lorsqu'on ne dispose pas de données locales.

Cinq classes ont été créées pour le critère « effet amendant », alors que quatre ont suffi à une bonne répartition, dans le cas des autres critères :

teneur en matières sèches (MS), effet fertilisant en N, P₂O₅ et K₂O.

Les effets agronomiques des matières sont à relativiser en fonction de leur teneur en matière sèche. Par exemple, une matière organique à faible teneur en matière sèche, comme un lisier, aura un effet fertilisant faible puisque les éléments sont dilués dans une grande quantité d'eau. Il suffit alors, pour avoir un effet nutritif intéressant pour la culture, d'apporter des doses importantes de cette matière organique au champ (cf. 2.3).

Cet intérêt agronomique des matières organiques est donné à titre informatif et présente le mérite de « classer » les effets agronomiques de ces matières. Il est donné sans tenir compte d'arrière effets possibles des apports en question.

Toute autre information, telle qu'une analyse agronomique de la matière organique que l'on désire utiliser pour fertiliser une culture, doit évidemment être prise en compte dans le calcul de la fertilisation.



Mélange écume-cendre

2.2.1.2 Mise en place de la fertilisation mixte d'une culture

La fertilisation mixte est l'apport d'une fertilisation organique et d'un complément minéral, le tout satisfaisant l'ensemble des besoins nutritionnels de la culture.

Pour mettre une fertilisation mixte en place

- Réaliser régulièrement (par exemple à chaque plantation) une analyse de sol;
- Calculer les doses de matière organique et de complément minéral à apporter;
- Si possible, apporter des matières organiques exogènes régulièrement (apports fractionnés);
- Enfouir les amendements permet d'en retirer un maximum de bénéfices; si possible, préférer cette pratique à un épandage en surface;
- Si possible, mécanisation légère (éviter le sous-solage ou le labour trop profond).



Il est recommandé de fractionner des apports en matière organique, cela permet de limiter les phénomènes de lessivage [qui entraînent une perte économique (main-d'œuvre, gasoil et matière fertilisante) et des pollutions] et donc d'augmenter l'efficacité de l'apport de fertilisant.

2.2.1.3 Difficultés à surmonter

- Se familiariser avec le calcul de la fertilisation (calcul manuel, logiciel FERTI-RUN...);
- Trouver une matière organique, la transporter et l'épandre: moins facile qu'avec un engrais chimique (volume, texture...) et demande souvent un matériel spécifique;
- Consacrer plus de temps de travail à la fertilisation;
- Respecter une réglementation spécifique à l'épandage agricole;
- Maîtriser la variabilité de la qualité des produits (concentration en éléments minéraux).

2.2.1.4 Intérêts

- Faire des économies d'engrais: intéressant dans le contexte international où le prix des engrais a fortement augmenté ces dernières années et continuera sans doute à augmenter avec la disparition progressive des sources d'approvisionnement en P et K.
- Structurer le sol (effet amendant) et/ou le fertiliser (effet engrais)
- Favoriser son bon fonctionnement (biologique...)
- Pérenniser le potentiel cultural du sol
- Favoriser la filière locale, diminution du « coût carbone »



L'épandage des matières organiques est une solution efficace de recyclage et de valorisation des effluents d'élevages. Cette méthode limite également le recours aux engrais chimiques coûteux.

2.2.1.5 Risques liés aux matières organiques

Risques sanitaires

Les matières organiques brutes (non hygiénisées), d'origine animale ou humaine peuvent contenir des micro-organismes pathogènes. Les risques sanitaires sont les risques de contamination des populations humaines, des animaux, de l'eau et de l'environnement en général, par ces micro-organismes (s'ils sont présents). Un compostage correctement réalisé avec une montée en température à plus de 60 °C permet de limiter ce risque de contamination. De plus, le respect de la réglementation concernant les distances d'épandage vis-à-vis des points d'eau minimise les risques de pollution des milieux aquatiques.

Pollution de l'environnement


- Elle provient d'éléments qui peuvent être contenus dans les matières organiques: nitrates, phosphates, éléments traces métalliques (ETM), composés traces organiques (CTO), etc.;

- Les contaminations peuvent apparaître en cas de pratiques inadaptées de fertilisation organique : **surdosage, répartition irrégulière sur la parcelle**, teneur élevée en certains éléments des matières organiques épandues, non-enfouissement de matières à risque;
- Types de pollutions : ponctuelle (ex. : fuite d'effluent à partir d'un bâtiment d'élevage...), diffuse (ex. : provoquée par l'épandage, le ruissellement, le lessivage);
- Impact potentiel sur l'air, l'eau (captages, forages, lagon...) et le sol;
- Nuisances olfactives, odeurs souvent désagréables et tenaces portées loin par le vent.



Des apports trop souvent répétés d'un type de matière organique inapproprié, par rapport au type de matière organique du sol (par exemple : rapport C/N différent), peuvent avoir des conséquences négatives importantes, sur la fertilité des sols, à moyen terme.

Modes de réduction des risques

L'agriculteur qui produit et/ou utilise une matière organique doit prendre des précautions pour réduire au maximum les risques sanitaires et environnementaux. Il doit connaître la composition de cette matière organique pour garantir les meilleures conditions d'utilisation sur les plans réglementaires et agronomiques. (cf. : )

2.2.1.6 Critères de choix des matières organiques

Une matière organique sera retenue pour la fertilisation mixte d'une culture, en fonction de critères tels que :

- Caractéristiques agronomiques du sol sur lequel est implantée la culture, corrections à y apporter. Selon le type de matière organique du sol, choisir le type de matière organique exogène le plus approprié à apporter : à action rapide ou à action lente avec un fort effet amendement ;

- Type de culture et ses besoins en éléments nutritifs;
- Pour la matière organique :
 - Origine
 - Disponibilité
 - Homogénéité des produits à épandre
 - Consistance
 - Condition de stockage et stabilité
 - Mode et vitesse d'action
 - Types d'éléments fertilisants disponibles
 - Mode d'épandage
 - Coûts d'achat et de transport (épandre la matière organique le plus près possible du lieu de production, sauf cas exceptionnels)
- Disponibilité en matériel d'épandage adapté;
- Législation en vigueur;
- Impact sur l'environnement et risque sanitaire.

Classe de pente (p)	Matières organiques pouvant être épandues
p < 7 %	Tous types
7 < p < 20 %	Produits solides*
20 < p < 40 %	Produits normalisés homologués
p > 40 %	Aucun

* : Fumiers et composts

Figure 5 : Épandage des matières organiques en fonction des pentes (CIRAD/CA)



Le respect de la réglementation sur le stockage, l'épandage, la normalisation ou l'homologation des produits, permet de minimiser les risques de pollution et les risques sanitaires, qui deviennent alors négligeables (Pour les effluents d'élevage, cf. chapitre 5).

2.2.1.7 Gestion des matières organiques sur l'île de La Réunion

État des lieux et problématiques actuelles

Au fil des années, à La Réunion, on observe une augmentation des gisements de matières organiques, tant au niveau agricole (qui est largement majoritaire) qu'urbain (qui va fortement augmenter).

En observant les gisements de matières organiques et les lieux potentiels de valorisation agromonomique, on constate souvent une déconnexion entre les producteurs et les utilisateurs. Parfois, pour des matières organiques produites dans une même zone, il y a une forte concurrence pour trouver des surfaces d'épandage. Ainsi, il devient nécessaire de gérer les matières organiques à l'échelle du territoire à l'aide d'outils comme le plan d'épandage (cf. 5.3.2).

Ceci est une nécessité pour :

- La profession agricole (contrainte de production pour les éleveurs) ;
- Les autres producteurs de matières organiques (communes, communautés d'agglomération, industries agroalimentaires) ;
- Les utilisateurs (agriculteurs) ;
- L'environnement.

Pour toute information complémentaire sur la valorisation des matières organiques, pour des conseils techniques ou encore pour connaître toute l'actualité dans ce domaine, contactez la Mission de Valorisation Agricole des Déchets (MVAD) ou les coopératives agricoles (FRCA). Pour obtenir leurs coordonnées, reportez-vous à Votre carnet d'adresses [page 250](#).

2.2.2 MATIÈRES MINÉRALES

2.2.2.1 Présentation et choix des matières minérales

Les principaux éléments nutritifs dont les cultures ont besoin sont : N, P, K, Ca, Mg, S et Si. Les engrais minéraux commerciaux présentent des teneurs en N-P-K garanties par la réglementation. Cette teneur exprime, en kilogramme, la teneur en éléments N, P₂O₅, K₂O pour 100 kg de fertilisant. Un kilogramme d'élément fertilisant étant

considéré comme une unité fertilisante, le mode de calcul de la dose d'engrais à apporter à l'hectare est le suivant.

$$Q = (U/d) \times 100$$

Q = dose d'engrais à épandre par hectare

U = besoin de la culture en élément fertilisant par hectare

d = teneur en élément nutritif de l'engrais

Par exemple, pour U = 120 unités d'azote/ha ; d'un ammonitrate titrant à 33,5 % de N (33,5 kg d'azote pour 100 kg de produit), Q = (120/33,5) x 100 = 358 kg/ha d'ammonitrate N

2.2.2.2 Les principales formes d'engrais minéraux

Les formulations d'engrais minéraux disponibles pour les agriculteurs apportent l'azote (N), le phosphore (P₂O₅) et le potassium (K₂O), soit sous forme d'engrais :

- Simples qui ne contiennent qu'un élément N, P ou K ;
- Composés binaires (deux éléments) : NP, NK ou PK ;
- Ternaires (trois éléments NPK associés). Les ternaires NPK peuvent être du « bulk », mélanges d'engrais simples ou de binaires. Ils sont alors composés de différentes natures de granulés, ce qui implique des risques de mauvais mélanges (granulés de densités différentes) ou de non-compatibilité (P-supertriple et urée). Les ternaires peuvent aussi être formulés par de l'engrais complexe, et dans ce cas, tous les granulés sont identiques : chacun comporte la même quantité de NPK. Ils sont généralement plus chers, mais ne comportent pas de risques d'utilisation. (cf. [figure 6 page suivante](#))

Des engrais binaires et ternaires sont également disponibles. Le choix de la forme d'engrais azoté dépend du milieu, de la plante, etc.

Pour l'azote, les nitrates agissent vite, l'urée résiste mieux au lessivage et a un petit effet retard. Les ammoniaco-nitriques réalisent un compromis. En général, il y a peu de différences d'efficacité entre ces engrais. Le prix de l'unité fertilisante N est déterminant dans le choix.

Il existe aussi des urées retard enrobées, plus chères, qui libèrent l'azote entre 3 et 6 mois selon la qualité de l'enrobage et qui peuvent être utilisées sur des plantes à cycle long comme la canne.

Engrais simples	Appellation	Teneur (%)	Forme de l'élément principal	Teneur (%)	Forme d'un autre élément
azotés	Ammonitrates	26	NO_3^- et NH_4^+		
	urée	46	NH_4^+		
	Sulfate d'ammoniaque (SO_3)	21	NH_4^+		
phosphatés	Superphosphate triple (TSP)	46	Phosphore		
	Di-amonium phosphate (DAP)	18	NH_4^+	50	Phosphore
potassiques	Chlorure de potassium granulé	60	K^+		
	Sulfate de potassium simple SOP granulés	50	K^+	43	SO_3

Figure 6 : Principaux engrais disponibles à La Réunion (sous réserve de modifications des formulations disponibles) (CIRAD)

Pour les phosphates, on peut utiliser deux formes :

- Les P insolubles et hyposolubles (phosphates thermiques, P naturel) pour les fumures de sol acide, pour les fumures de fond, pour les plantes à cycle long ;
- Les P solubles (TSP, DAP) pour les plantes à cycle court.

L'alternance des formes d'engrais phosphatés est une chose très recommandable pour un sol.

Les engrais « canne à sucre »

- Pour la plantation et le redressement : 0-23-30
- Pour l'entretien : 13-8-24 NPK, 16-10-26 complexe TIMAC, 18-7-30 HDLG
- Pour la fertirrigation : 20-0-34

Les engrais « prairie » proposés pour l'entretien sont : 30-10-10 et 10-20-20.

Les engrais « maraîchage », à utiliser à la mise en place de la culture sont : 10-12-30 Sk Supermaraîchage et 15-5-30 Sk.

2.2.2.3 Accessibilité aux matières fertilisantes pour les plantes

Les engrais azotés

Les engrais azotés, qu'ils soient sous forme nitrrique ou ammoniacale, sont intégrés dans les cycles d'organisation/minéralisation de l'azote du sol sous forme organique. Seule, une petite partie de l'azote des engrais est directement absorbée par la plante (au mieux, de l'ordre de 35 %). Une autre partie est réorganisée au sein de la MO et une dernière petite partie est perdue. Même dans les cultures fortement fertilisées, une partie importante de l'azote absorbé par les plantes provient de la minéralisation de l'azote organique du sol. Dans les terres cultivées depuis longtemps et régulièrement fertilisées, c'est souvent l'azote qui est le principal facteur limitant de la croissance des cultures. La production dépend alors directement des apports d'azote sous forme d'engrais minéral ou organique.

Les apports de phosphate

Les apports d'engrais ont pour objectif de maintenir, dans le sol, un stock de phosphate sous une forme assimilable, suffisant pour les besoins de la culture. En effet, le phosphore prélevé par la plante provient essentiellement de complexes formés dans le sol. Dans les sols à fort pouvoir fixateur du phosphore, une partie importante du P apporté est inclus dans des complexes avec des métaux (Al, Fe) et devient alors, en partie, inutilisable pour la plante. À La Réunion, le CIRAD conseille donc de multiplier les besoins des cultures en phosphore par 1,2 dans les sols peu fixateurs des Bas, et par 2 dans les andosols des Hauts de l'île (*cf. paragraphe sur le calcul de la fertilisation*). Dans le détail, il existe de grosses différences de sensibilité au phosphore entre les plantes : les plantes maraîchères présentant de faibles systèmes racinaires sont les plus exigeantes. Les plantes pérennes sont plus rustiques. Cependant, la mycorrhization des racines de certaines plantes (ex. : les alliées) participe fortement à la nutrition en P de la plante par l'extraction de formes de phosphore fortement complexées du sol.

L'apport de potassium

Les sels de potassium sont très solubles. Les ions K^+ sont adsorbés sur le complexe d'échange du sol, d'où ils peuvent facilement s'échanger pour maintenir à peu près constante la concentration

de la solution du sol, à partir de laquelle les plantes se nourrissent. Mais, le potassium étant peu retenu dans les sols réunionnais, il est donc conseillé de n'apporter que le strict nécessaire.

Les autres éléments

Les plantes ont besoin de quinze autres éléments minéraux pour pouvoir se développer normalement. Ce sont les éléments secondaires et les oligo-éléments. Comme les quantités prélevées sont faibles voire très faibles, il n'y a souvent pas besoin d'apports extérieurs. Dans des cas de carences en certains éléments, on est obligé de les apporter sous forme de sels (carbonates, chlorures, sulfates) en faible quantité (souvent par pulvérisation foliaire d'éléments complexés avec l'EDTA). L'apport de cocktail d'oligo-éléments ne résout généralement pas le cas de carence mais permet une bonne nutrition de la plante.

2.3 CALCUL DE FERTILISATION

Afin d'optimiser les pratiques de fertilisation des parcelles et réduire au maximum les sources de contamination de l'environnement (sol et eau), l'agriculteur doit calculer la dose de matière organique et de complément minéral à apporter à sa culture, et ceci de manière précise.

L'analyse de sol est incontournable pour cet exercice de même que la bonne connaissance chimique de la matière organique à utiliser.

La dose à apporter dépend :

- Des caractéristiques et du rendement escompté de la culture ;
- Du type de sol sur lequel elle est implantée ;
- Des caractéristiques de la matière organique utilisée.

À La Réunion, les arrières effets des fertilisations organiques utilisées antérieurement ne sont pas comptabilisés dans les calculs, contrairement à ce qui se fait en métropole. Leur prise en compte demanderait de connaître les antécédents culturaux, les conditions de culture, ainsi que les caractéristiques sur le comportement des matières organiques dans les sols, données qui ne sont pas bien connues à ce jour.

2.3.1 ÉLÉMENTS À PRENDRE EN COMPTE

2.3.1.1 Besoins de la culture en éléments nutritifs

Les besoins en éléments nutritifs des fruits, légumes et des fourrages tempérés sont présentés en annexe du « manuel de l'utilisateur » de Ferti-Run 2008 (http://www.mvad-reunion.org/FCKeditorFiles/File/ferti-run/Manuel_FERTI-RUN_2008.pdf). Il s'agit d'une fertilisation moyenne d'entretien, basée sur le principe des avances et des restitutions. Ces préconisations de fertilisation sont issues des différents guides techniques disponibles à La Réunion (*Dossiers technico-économiques de la Chambre d'Agriculture, Guide de la fertilisation organique à La Réunion...*). Les besoins d'une culture sont ajustables en fonction des résultats de l'analyse de sol effectuée sur la parcelle à fertiliser ou de votre expertise.

Selon la culture, son niveau de rendement et le type de sol (fixateur ou non en phosphore), les besoins nutritifs en azote, phosphore et potassium (N, P₂O₅, K₂O) de la culture sont à calculer pour atteindre le rendement cultural espéré.

2.3.1.2 Caractéristiques de la matière organique

Teneur en éléments nutritifs de la matière organique

Elle est exprimée en N, P₂O₅ et K₂O, en % de la matière organique brute, prise à une humidité moyenne. Les teneurs moyennes en ces éléments, des principales matières organiques produites à La Réunion, sont reprises dans la figure. Si vous disposez d'une autre source de données, vous pouvez changer ces valeurs.

Coefficient d'équivalence engrais de la matière organique

C'est la fraction de l'élément N, P ou K de la matière organique qui réagit comme un engrais minéral, dans des conditions optimales de culture. Ce coefficient peut être extrêmement variable selon les cultures et les conditions d'application des matières organiques. Les valeurs reprises dans la figure 7 sont des coefficients moyens issus de la littérature. Si vous avez une autre source de données, vous pouvez changer ces valeurs. (cf. figure 7 ci-contre)

2.3.2 FERTILISATION MIXTE D'UNE CULTURE

2.3.2.1 Calcul de la fertilisation mixte d'une culture

Vous pouvez baser le calcul de fertilisation soit sur un des éléments N, P ou K, soit sur l'azote (N) uniquement, élément qui pose potentiellement le plus de problèmes de pollution. Dans le premier cas, prenez en compte la plus faible quantité de matière organique qui couvre les besoins de la culture en un de ces trois éléments. En d'autres termes, dès que le besoin de la culture est couvert en un élément, retenez la dose de matière organique qui permet de couvrir la fertilisation de la culture, afin de ne pas faire apparaître de surfertilisation dans l'un ou dans les deux éléments restants.

Le complément minéral à apporter à la culture correspond aux besoins de celle-ci moins les apports liés à la fertilisation organique.

L'apport de matière organique permet, dans tous les cas, de diminuer les doses d'engrais minéral à fournir à la culture. De plus, certaines d'entre elles (composts, fumiers...) ont un effet amendant important pour l'amélioration de la fertilité du sol.

2.3.2.2 Aide au calcul de la fertilisation mixte de cultures à La Réunion

Le logiciel FERTI – RUN – 2008

Afin de faciliter la pratique de la fertilisation organique des cultures, le CIRAD et la MVAD de la Chambre d'Agriculture proposent un logiciel de

Matières organiques	Teneur en azote total (kg N/t produit brut)	Moyenne CE-N	Teneur en phosphore total (kg P ₂ O ₅ /t produit brut)	Moyenne CE-P ₂ O ₅	Teneur en potassium total (kg K ₂ O/t produit brut)	Moyenne CE-K ₂ O
Boue d'épuration liquide	7,4	0,6	2,9	0,6	0,6	1
Boue d'épuration pâteuse	10,3	0,45	4,7	0,6	0,8	1
Boue d'épuration solide	24,8	0,45	18,8	0,6	2,1	1
Boue d'épuration solide-sèche	45,6	0,45	24,8	0,6	2,7	1
Compost de déchets verts	9,1	0,1	4,3	0,5	5,8	1
Compost de déchets verts et de boue d'épuration	14,4	0,15	9,5	0,5	7,9	1
Compost de fumier de bovin sur support cellulosique	7,6	0,15	3	1	7,3	1
Compost de fumier de poule pondeuse	13,2	0,4	25	0,65	14,7	1
Compost de fumier de poulet de chair	24,7	0,4	17,3	0,65	19	1
Compost de fumier de poulet de chair et de lisier de porc	7,7	0,15	13,2	0,65	7,9	1
Compost de géranium	9,2	0,15	1,8	0,5	8,6	1
Compost de lisier de porc et de bagasse	4,3	0,15	5	0,85	2,6	1
Écume de sucrerie	7,4	0,1	9,1	1	1,2	1
Fiente de poule pondeuse	30,6	0,6	24,5	0,65	21	1
Fumier de bovin	6,2	0,15	3,1	1	7,2	1
Fumier de caprin	9,1	0,20	3,1	1	13,9	1
Fumier de cheval	5,3	0,23	2,6	1	1,6	1
Fumier de lapin	4,8	0,2	2,7	1	3,2	1
Fumier de mouton	8,6	0,2	4	1	13,3	1
Fumier de poule pondeuse	12,4	0,6	20,4	0,65	10,8	1
Fumier de poulet de chair	22,5	0,5	20,1	0,65	18,8	1
Lisier de bovin	3,3	0,4	1,8	1	3,8	1
Lisier de lapin	6	0,55	4,4	1	4,9	1
Lisier de porc	3,5	0,4	2,3	0,85	3,4	1
Lisier de poule pondeuse	10,2	0,6	4,2	0,65	6,5	1
Vinasse de distillerie	2,6	0,2	0,7	1	16	1

Figure 7: teneurs totales et coefficients d'équivalence engrais en NPK de 26 matières organiques de La Réunion (CA-CIRAD-FRCA)

fertilisation mixte des cultures appelé FERTI-RUN 2008. Ce logiciel permet d'effectuer automatiquement des calculs de fertilisation organique et minérale pour un certain nombre de cultures. Les fertilisations d'entretien préconisées sont des apports en azote, phosphore et potassium, provenant d'une part, d'une matière organique et d'autre part des engrais minéraux, la totalité étant adaptée aux besoins de la culture. En revanche, Les fumures de correction ou de renfort, ainsi que le chaulage, ne sont pas pris en compte. Le type de sol a été pris en compte, de façon à majorer les apports en phosphore, pour tenir compte des fixations par le sol.

Logiciel disponible sur le site Internet : <http://www.mvad-reunion.org/-FERTI-RUN-2007->.

Fiches ARTAS

Il s'agit de fiches de calcul de la fertilisation mixte de la canne à sucre, en engrais de fond à la plantation et en entretien. Ces fiches permettent le calcul manuel de la fertilisation mixte de la canne à sucre, à la plantation et sur repousses.

Le nouveau logiciel du laboratoire du Cirad « SERDAF »

Ce logiciel est disponible en ligne sur le site Internet « <http://margouilla.net> » qui procure également un conseil de fertilisation mixte pour la canne à sucre.

Les besoins en fertilisation minérale pour la canne à sucre dépendent du rendement recherché de la culture et de la fertilité du sol.

Si le sol est bien équilibré, 800 kg/ha d'un engrais standard « canne à sucre » type 16-10-26 ou 16-7-28 permettent d'obtenir un rendement de 90 à 100 t/ha. La dose est proportionnelle au rendement recherché, qui sert de base de calcul.

Si le sol est déséquilibré en un ou plusieurs éléments, un rééquilibrage est possible par un choix d'engrais adaptés, qui rectifiera petit à petit les déséquilibres du sol.

Pour chaque zone climatique, on doit suivre une stratégie de fertilisation pour adapter les apports à la pluviométrie ou à la technique utilisée, afin d'optimiser l'efficacité des engrais épandus. Cela est d'autant plus nécessaire que l'on recherche des forts rendements avec des applications d'engrais importantes. Voici deux exemples d'adaptation de la fertilisation raisonnée pour de forts rendements, obtenus en culture irriguée et en culture ferti-irriguée en goutte à goutte. (cf. figure 8 ci-dessous)

• Exemple de la fumure d'entretien en goutte à goutte sur canne à sucre (repousse)

Sur un sol de bonne fertilité, sans redressement conseillé, on doit apporter en fertilisation d'entretien chaque année sur les repousses, au minimum l'équivalent de 130 à 140 u d'azote, 80 u de phosphore et 250 u de potasse, pour un rendement prévisionnel de 140 t/ha.

Pour les parcelles conduites en goutte à goutte, on peut proposer un plan de fumure à base de matières premières (urée, MAP, MOP) ou bien avec de l'engrais 20-0-34 (+ MAP et MOP).

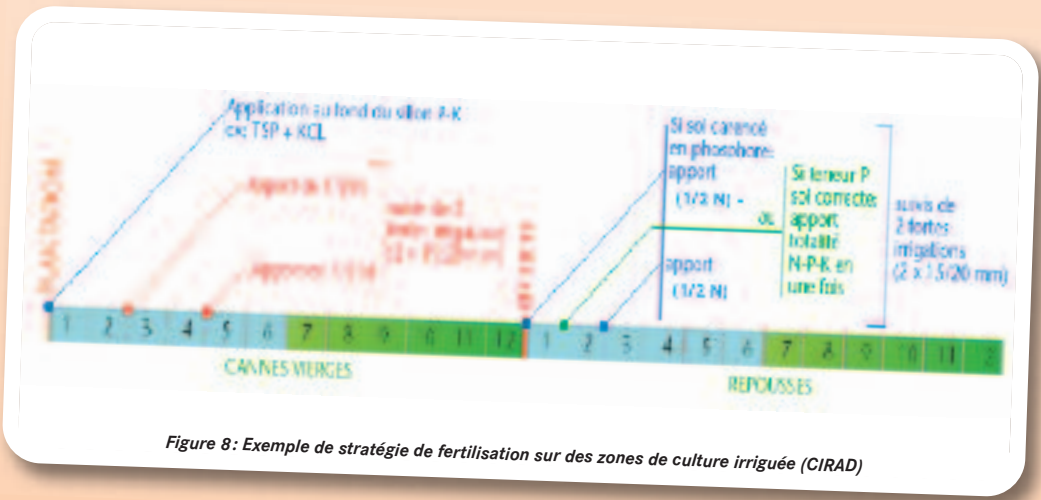


Figure 8 : Exemple de stratégie de fertilisation sur des zones de culture irriguée (CIRAD)

Exemple de plans de fertilisation en fonction du cycle de la canne :

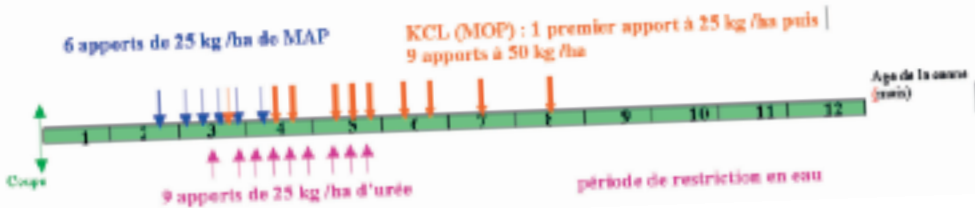


Figure 9: Plan de fertilisation n° 1 (CIRAD)

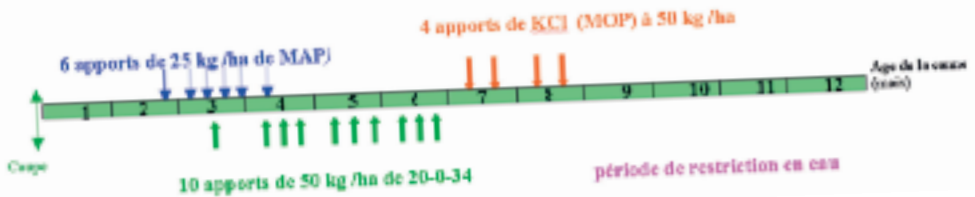


Figure 10: Plan de fertilisation n° 2 (CIRAD)

- Cas des arbres fruitiers: exemple du mangouier

Dans le cas des arbres fruitiers comme le mangouier (cf. *Guide de la production intégrée de la mangue à La Réunion*, Cirad – Chambre d'Agriculture, 2009), le niveau de fertilisation augmente régulièrement avec l'âge des arbres après la plantation jusqu'à 11 ans où elle se stabilise alors à

la dose d'entretien qui est fonction des exportations. Les doses sont données par arbre. Le principe est d'apporter l'azote en janvier après la récolte. De l'engrais NPK est apporté en juillet-août à la floraison. En octobre, à la nouaison, des apports de K complémentaires favorisent le taux de sucre dans les fruits.



Épandage de lisier sur pailles de cannes

© G. Bourgeois, CTCS

2.4 ÉPANDAGE

2.4.1 MATIÈRES ORGANIQUES

2.4.1.1 Réglementation sur l'identification des matières organiques

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

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 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.

On peut décliner en 3 catégories le type de matières organiques épandables :

- Les matières organiques liquides ;
- Les matières organiques pâteuses ;
- Les matières organiques solides.

La nature de ces matières organiques va induire de fait la technique d'épandage correspondante, ainsi que le matériel adéquat.

2.4.1.2 Distances réglementaires et préconisations techniques générales pour l'épandage

Préconisations techniques générales pour l'épandage

Pour réussir son épandage il est nécessaire de :

• Disposer d'un produit homogène

Les lisiers sédimentent lors du stockage en fosse. Il est donc nécessaire d'utiliser un brasseur mélangeur hacheur pendant une demi-heure avant le début du chantier d'épandage. A minima, il est important de faire refouler la cuve à lisier dans la fosse.

Les litières et fumiers d'élevage sont suffisamment homogènes par rapport aux contraintes agronomiques.

• Réaliser un épandage homogène

Rouler à vitesse constante, c'est :

- ne pas utiliser l'accélérateur à pied,
- régler son matériel par rapport aux passages difficiles pour obtenir la dose recherchée,
- utiliser un matériel adapté au produit à épandre et à la quantité à épandre.

• Éviter le ruissellement

Il est source de pollution des milieux aquatiques et n'est pas rentable car l'effluent mal réparti n'est pas valorisé par les cultures (aucune économie d'engrais) :

- Rester sur des parcelles mécanisables ;
- Ne pas se débarrasser des lisiers en épandant avec un coude depuis le bord du chemin ;
- Respecter les distances réglementaires d'épandage. Celles-ci s'avèrent suffisantes pour limiter les risques de pollution.

• Penser à vos voisins

Ils sont principalement sensibles aux odeurs. Pour limiter ces désagréments, conseillez un épandage adapté (jour et heure) en fonction de leurs activités et présence à proximité des parcelles concernées.

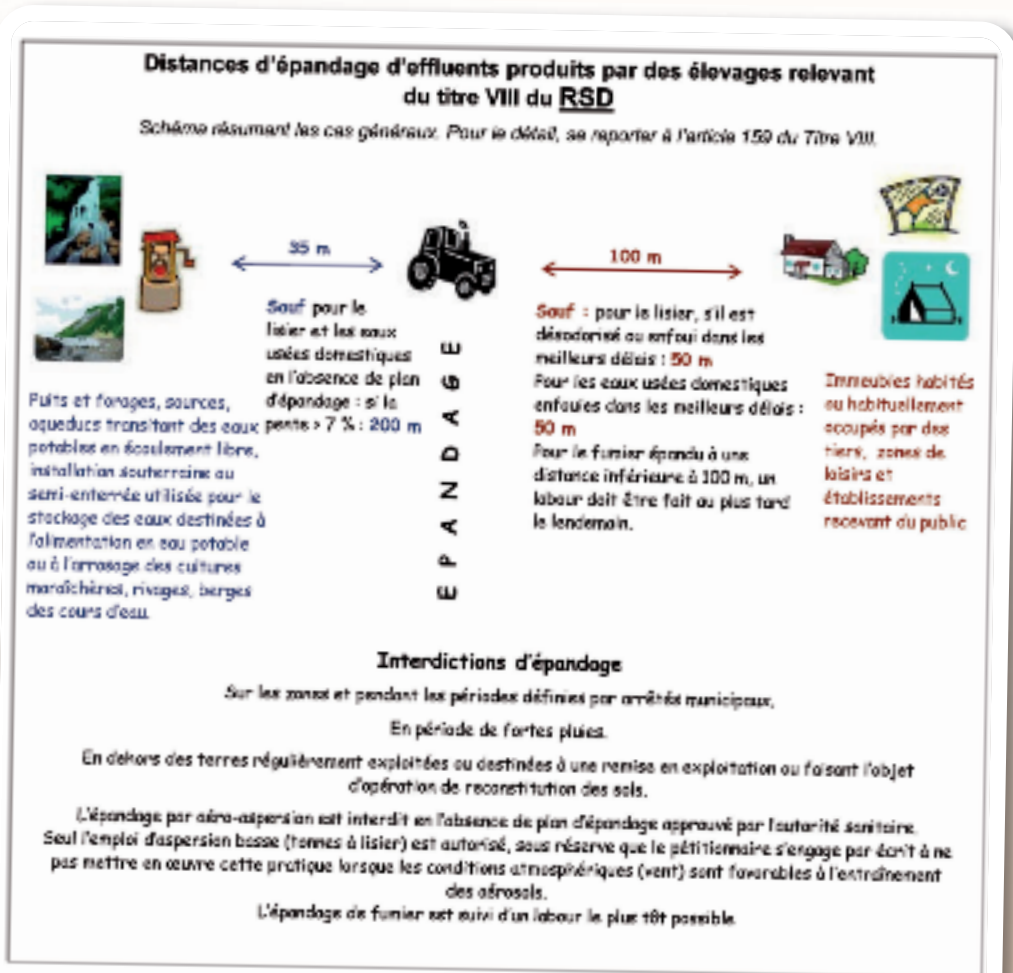
L'emplacement des stockages d'effluents et matières organiques doit aussi intégrer les nuisances olfactives.

Produits à épandre	Matériel d'épandage	Quantités maximales épandables par la machine (t/ha ou m ³ /ha)	Quantités minimales épandables par la machine (t/ha ou m ³ /ha)
Fumiers frais	Épandeurs à hérissons horizontaux	50	40
	Épandeurs à hérissons verticaux	50	30
Fumiers évolués	Épandeurs à hérissons horizontaux	50	30
	Épandeurs à hérissons verticaux	50	20
Fumiers compostés de volaille	Épandeurs à hérissons horizontaux + porte hydraulique + table d'épandage Épandeurs 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

Figure 11 : Quantité épandable en un passage en fonction du matériel utilisé et de la matière organique à épandre (CIRAD)

À La Réunion, les deux types d'outils 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.

Distances réglementaires d'épandage



En l'absence de plan d'épandage

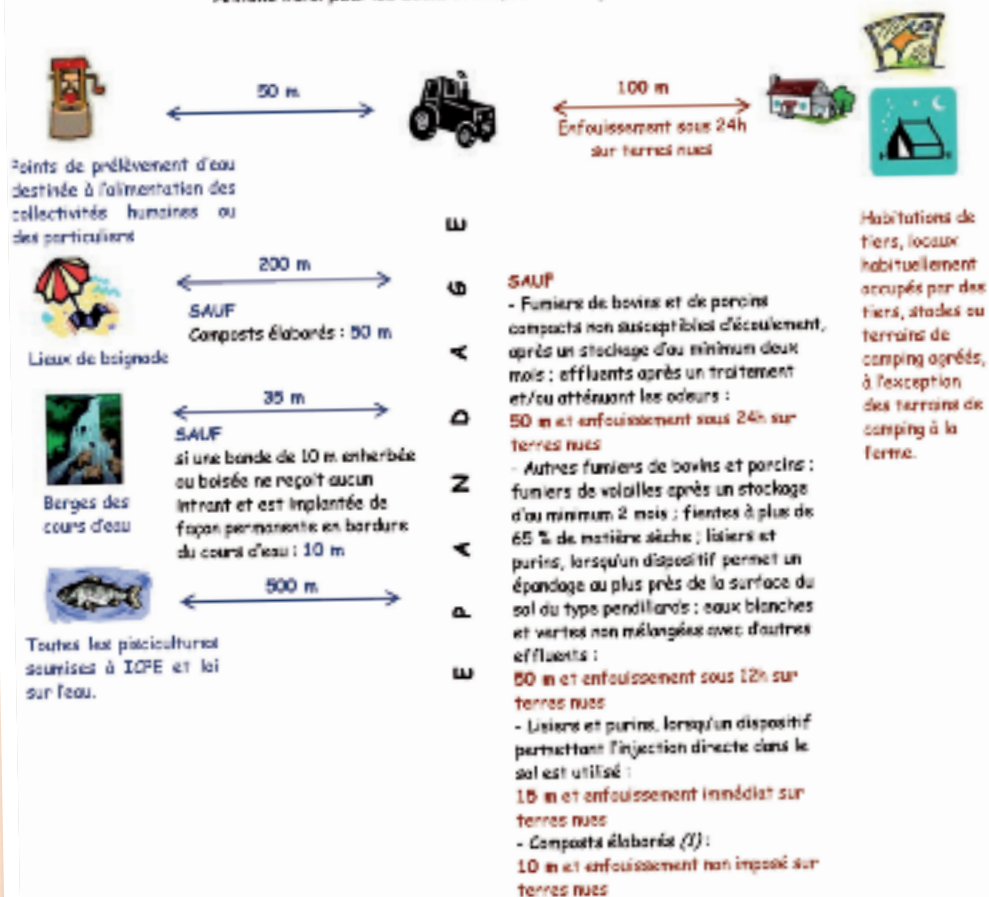
- L'épandage de lisiers, purins, eaux résiduaires de lavage des bâtiments d'élevage et d'eaux usées d'origine domestique est interdit sur cultures maraîchères ou sur les terrains qui seront affectés à cette culture dans un délai de un an ;
- L'épandage de lisier, purins, eaux résiduaires de lavage des bâtiments d'élevage et d'eaux usées d'origine domestique est interdit à moins de 200 m des cours d'eau si la pente du terrain est supérieure à 7 %.
- Les lisiers ne peuvent être épandus sur les pâturages, que s'ils ont subi soit un stockage répondant aux prescriptions de l'article 158 d'une durée minimale de 30 jours en saison chaude et de 60 jours en saison froide, soit un traitement approprié (digestion, 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.

En aucun cas la capacité d'absorption des sols ne devra être dépassée afin d'éviter que la stagnation prolongée sur le sol, le ruissellement en dehors du champ d'épandage ou une percolation rapide ne puisse se produire. Ainsi la nature, les caractéristiques et les quantités des produits épandus devront rester compatibles avec une protection sanitaire et agronomique du milieu.

Figure 12 : Distances d'épandage d'effluents produits par les élevages relevant du titre VIII du RSD (Mémento DAAF)

Distances d'épandage d'effluents produits par des élevages relevant de la réglementation ICPE et délais d'enfouissement sur terres nues

Schéma résumant les cas généraux. Pour le détail, se reporter aux arrêtés du 7 février 2005 Annexe I.5.8. pour les déclarations, Art. 14-17 pour les autorisations.



Autres règles d'épandage

Interdiction d'épandre :

- Sur des terrains en forte pente (sauf s'il est mis en place des dispositifs prévenant tout risque d'écoulement et de ruissellement vers les cours d'eau),
- Sur des sols inondés ou détrempés,
- Pendant les périodes de fortes pluviosités,
- Sur les sols non utilisés en vue d'une production agricole,
- Par aéro-asperion sauf pour les eaux issues du traitement des effluents.
- Sur les légumineuses (sauf la luzerne et les prairies d'association graminées-légumineuses)

Figure 13 : Distances d'épandage d'effluents produits par les élevages relevant de la réglementation ICPE et délais d'enfouissement sur terres nues (Mémento DAAF)

2.4.1.3 Épandage des matières organiques liquides

Extrait du Guide de la fertilisation organique à La Réunion (Chabalière et al., 2006)

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. La consistance et la fluidité des lisiers varient avec l'espèce animale, la conduite de l'élevage et la dilution.

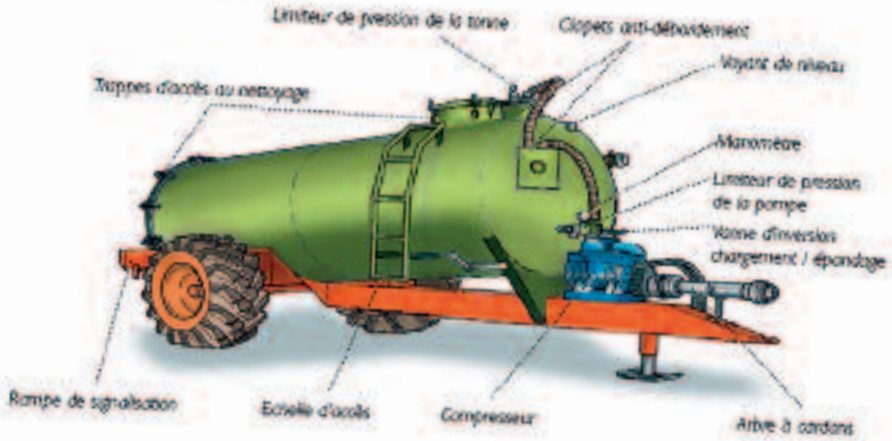
Origine de la matière liquide	Type de matière à épandre	Qualification de la matière à épandre le jour de l'épandage et après brassage dans la fosse (MS : Matière Sèche)	Choix du dispositif d'épandage, équipant une tonne à lisier avec compresseur		Précautions et recommandations techniques
			Conseillé	Possible mais difficile	
Bovin	Lisier	Dilué MS < 8 %	Buse palette		Ses fibres peuvent provoquer le bouchage des rampes ou des enfouisseurs et rendent le pompage difficile, il est conseillé de procéder un broyage-hachage pour limiter ces difficultés.
			Rampe buse palette		
			Rampe à pendillards		
			Si répartiteur hacheur : enfouisseurs à socs ou à disques		
			Si répartiteur hacheur : Buse palette		
			Si répartiteur hacheur : Rampe buse palette		
	Si répartiteur hacheur : Rampe à pendillards				
		Si répartiteur hacheur : enfouisseurs à socs ou à disques			
Porcin	Lisier	MS < 8 %	Buse palette		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.
			Rampe buse palette		
			Rampe à pendillards		
			Si répartiteur hacheur : enfouisseurs à socs ou à disques		
Volaille	Lisier	MS < 12 % Peut être assez épais (Canard)	Si répartiteur hacheur : Rampe buse palette	Buse palette	À 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.
			Si répartiteur hacheur : Rampe à pendillards		
			Si répartiteur hacheur : enfouisseurs à socs ou à disques		
Stations d'épuration	Boues d'épuration Urbaines	MS < 14 %	tonnes à lisier multibuses		Les boues non stabilisées épandues sur sols nus doivent être enfouies dans un délai de 48 heures après l'épandage.
			Buse palette		
			Rampe à pendillards		
			Rampe buse palette		
Sous-produit de distillerie	Vinasse	MS = 11 %	Tonne en acier inoxydable + rampe multibuses		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.

Figure 14: Comparaison de matériels d'épandage de matières liquides (Bassez et al., 1997)

L'épandeur de lisier

Il 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 15). 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.

Les épandeurs à lisier. © CEMAGREF



Le circuit complet (d'après Debroize et al., 2004)

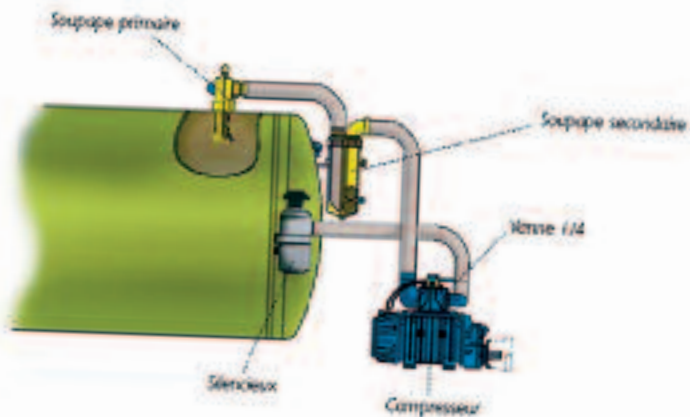


Figure 15: Les épandeurs à lisier et le circuit complet (d'après Debroize et al, 2004) (CEMAGREF)

L'équipement d'épandage assure l'apport de la dose de matière organique recommandée par le plan de fertilisation 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 olfactives.

On distingue :

- **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 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'apportent à la rampe. Celle-ci est plus souvent équipée d'une série de buses palettes (multibuses) 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. 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'œufs, 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. 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. 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.

2.4.1.4 Épandage des matières organiques pâteuses

Extrait du Guide de la fertilisation organique à La Réunion (Chabalière et al., 2006)

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.

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.

2.4.1.5 Épandage des matières organiques solides

Extrait du Guide de la fertilisation organique à La Réunion (Chabalier et al., 2006)



Épandage de matière organique solide

© V. Barbet-Massin, ARF

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 déchi-

queter. 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. Il est ensuite 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 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 hérissos 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.

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 déchetage et de projection), d'essieux et de pneumatiques (figure 16).

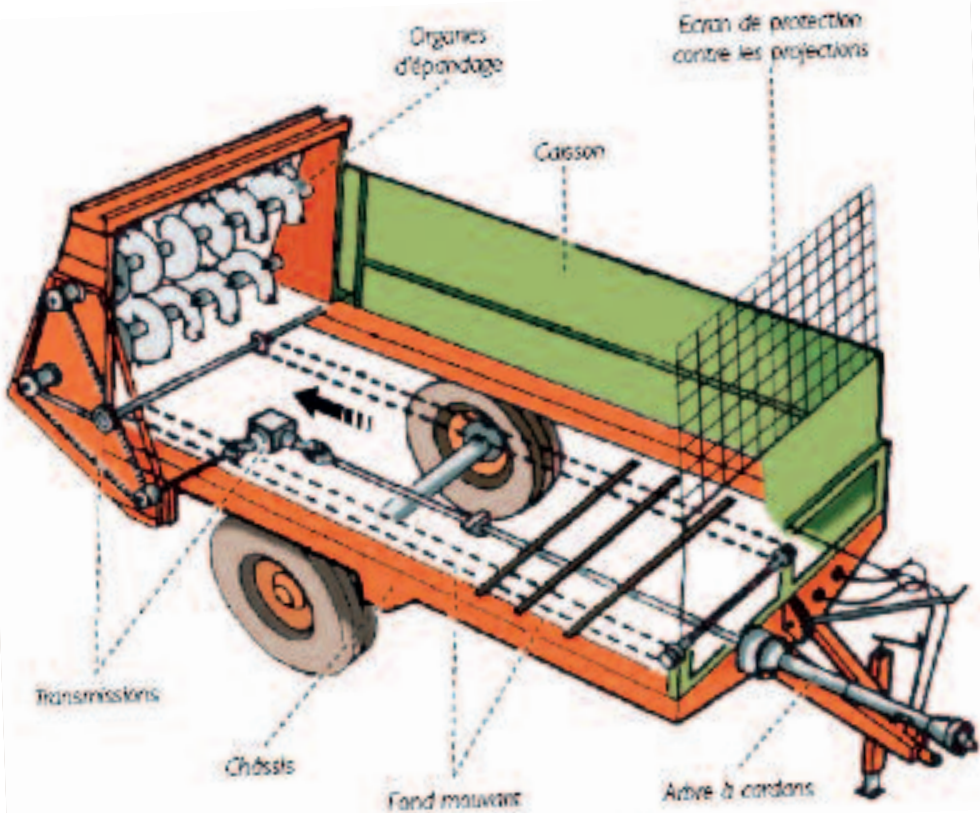


Figure 16 : Vue générale d'un épandeur de fumier à ridelles (CEMAGREF)

Le fond mouvant amène le fumier au contact du système de déchiquetage et de répartition (dispositif d'épandage) (figure 18). La vitesse d'avancement du fond mouvant conditionne le débit de vidange de l'épandeur (d). 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 :

$$d \text{ (t/minute)} = \text{poids/temps}$$

Les doses épandues à l'hectare peuvent être calculées selon la formule suivante :

$$D = (d \times 600) / (l \times v)$$

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) et 600 = facteur d'échelle permettant d'exprimer le débit en t/ha.

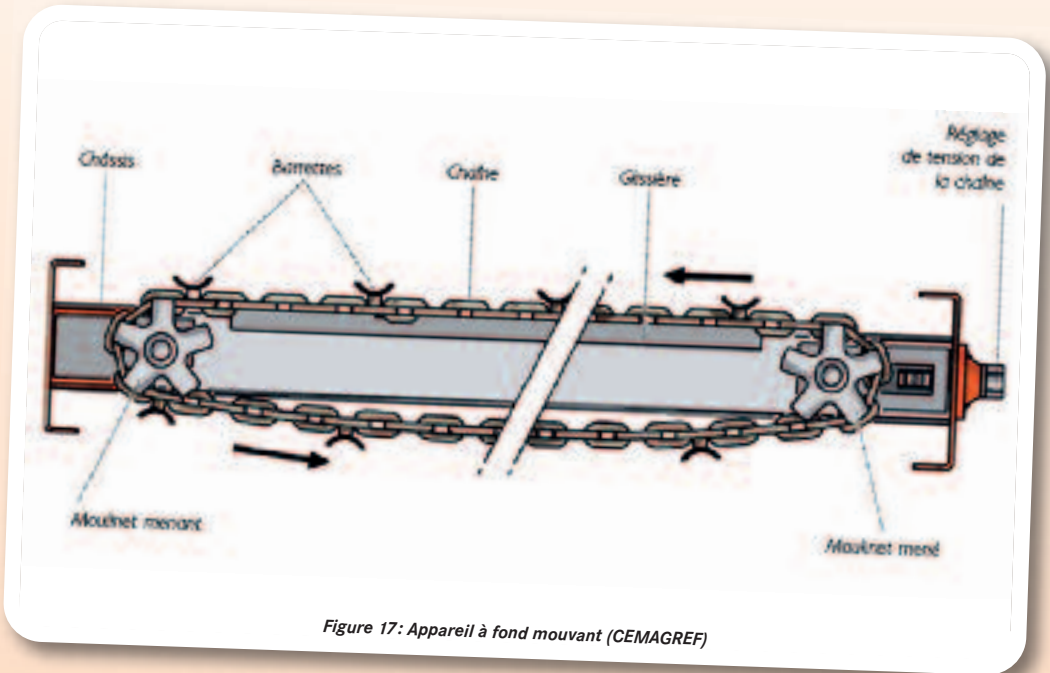


Figure 17: Appareil à fond mouvant (CEMAGREF)

Le choix du matériel est adapté est une étape importante. On distingue :

- **Le broyeur**, pouvant 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.

2.4.1.6 Autres types de matériel

Extrait du Guide de la fertilisation organique à La Réunion (Chabalière et al., 2006)

Matériel d'enfouissement des matières organiques

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 recherche une meilleure valorisation de l'azote.

À 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 bêches, accrochée au tracteur. L'écartement des bêches peut être adapté à l'écartement des rangs de canne à sucre ;
- **La déchauveuse 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.

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 mètres et hauteur de 1,8 mètre 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, grâce à son homogénéité et sa granulométrie plus fine, per-

met 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.

2.4.2 MATIÈRES MINÉRALES

L'efficacité de la fertilisation dépend du stade de la culture lors de l'intervention et de la qualité de l'épandage. Que l'épandage soit réalisé mécaniquement ou manuellement, le produit doit être distribué de façon homogène :

- En épandage mécanique, un étalonnage précis assure l'homogénéité et le respect de la dose à l'hectare ;
- En épandage manuel, des pesées régulières, des points de repère sur la parcelle aident, avec des calculs simples, à appliquer les produits de façon régulière et à la dose adéquate.

Les engrais peuvent être apportés sous 3 formes : solide, liquide ou par l'intermédiaire de l'irrigation (cf. 2.5). Les appareils utilisés pour l'épandage varient selon la forme de l'engrais, la quantité à épandre dans l'année, les contraintes économiques et enfin la topographie des terrains. À La Réunion, les épandeurs les plus répandus sont les appareils de type porté car ils sont bien adaptés à la petite taille des exploitations et à la quantité d'engrais manipulée dans l'année. On trouve aussi quelques appareils semi-portés, essentiellement parmi les distributeurs d'engrais solide.

Les conditions de terrains accidentés de La Réunion ne facilitent pas une bonne répartition de l'engrais dans les parcelles. C'est pourquoi les réglages doivent être précis et des contrôles d'homogénéité de répartition doivent être faits régulièrement. L'utilisation de localisateurs d'engrais et des épandeurs à débit proportionnel à l'avancement (DPA) reste marginale. Les matériels DPA sont bien adaptés au relief mais ils sont plus onéreux que les appareils habituellement utilisés à La Réunion.

2.4.2.1 Épandage solide

Les fertilisants minéraux solides se présentent sous forme de granulés (engrais NPK, chaux granulée, KCl...), de perles (urée), ou de poudre (sels, chaux pulvérulente).

Dans le cas d'une correction du pH par un apport de chaux

L'épandage est réalisé à la phase finale de la préparation du sol, manuellement ou mécaniquement. Après l'épandage, la chaux est enfouie et mélangée à la terre avec différents outils selon le type de sol. C'est également le cas pour la fumure de fond de l'ananas par exemple où l'engrais complet peut être épandu mécaniquement en plein avant le billonnage ou bien de manière localisée sur le billon après la confection de ce dernier.

Apport d'engrais à la plantation

Pour la culture de la canne à sucre, la technique d'épandage dépend du mode de plantation :

- **La plantation mécanique ou semi-mécanique.** La planteuse ou le sillonneur réalisent le sillon au fond duquel est localisé l'engrais avant le dépôt des boutures. La distribution de l'engrais se fait en général proportionnellement à la vitesse d'avancement de la machine (c'est le système DPA, Débit proportionnel à la vitesse d'avancement) ;
- **La plantation manuelle.**
 - Le sillonnage est réalisé manuellement ainsi que l'apport d'engrais au fond du sillon. Cette technique est très peu utilisée, sauf dans les zones très accidentées et à forte pente.
 - Le sillonnage est réalisé mécaniquement. L'apport d'engrais et le dépôt des boutures sont effectués manuellement.

Fumure d'entretien

Dans le cas de la canne à sucre, l'apport d'engrais est à faire dans les trois mois après la coupe. Au-delà de cette période, l'importante masse végétative de la canne ne permet plus l'entrée d'engrais classiques dans la parcelle.

Dans le cas de l'arboriculture fruitière, la fertilisation est généralement apportée sous forme solide et de manière fractionnée (selon les espèces). En fonction de la taille du verger et/ou de la topographie, l'apport peut se faire manuellement à l'aplomb de la frondaison ou mécaniquement sur la totalité du verger.

Méthode de calcul

- **Dans le cas d'une application manuelle d'engrais solide**

On vérifiera tout d'abord que l'on distribue correctement la bonne dose.

On désire épandre :

- une dose d'engrais solide **Q** (kg/ha),
- sur une largeur **E** (m) qui peut représenter la largeur d'une planche ou l'intervalle entre billons,
- sur une longueur **L** (m) sur laquelle il faudra répartir 1 kg d'engrais

La formule est donc : $L = 10\,000 / (E \times Q)$

- **Dans le cas d'une application d'engrais à l'aide d'un tracteur**

Avant d'épandre mécaniquement au champ, un ensemble de réglages doit être effectué pour apporter de façon homogène la quantité exacte de produit à l'hectare : les réglages de la liaison tracteur-outil et les réglages de l'épandeur.

On règle la liaison tracteur-outil sur plusieurs points :

- 1) Relevage hydraulique en contrôle de position pour régler la hauteur de l'outil ;
- 2) Prise de force de longueur adaptée ;
- 3) Réglage de l'aplomb latéral en agissant sur les chandelles ;
- 4) Réglage de l'aplomb longitudinal par le 3^e point ;
- 5) Adaptation de la bonne vitesse de la prise de force (540 tr/min en général).

Sur l'épandeur, on règle la largeur d'épandage, le débit du produit par minute et la vitesse d'avancement pour obtenir au final la quantité voulue.

La largeur d'épandage peut être réglée par l'angle d'oscillation du tube, par le changement du tube oscillant ou par le changement de l'étrier. À noter que la densité du produit peut faire varier la largeur d'épandage.

Le débit de l'épandeur varie en fonction du type de produit et agit directement sur la quantité épandue par hectare puisque la vitesse d'avancement doit rester constante. Le réglage est réalisé uniquement par le degré d'ouverture du disque de dosage situé au fond de la trémie, par l'intermédiaire d'une vis graduée située sur le côté de l'appareil.

En général, les débits sont étalonnés par le constructeur et les informations fournies dans la notice technique. Mais compte tenu de la diversité des produits (densité, aptitude à l'écoulement), il vaut mieux effectuer un étalonnage à poste fixe pour adapter les données constructeur si nécessaire.

• Étalonnage de la vitesse du tracteur

La détermination de la vitesse réelle de déplacement du tracteur permet de faire le bon réglage de la vis d'ouverture des disques pour obtenir le bon dosage à l'hectare.

- 1) Prendre une distance D de 100 m par exemple entre 2 jalons en laissant un espace suffisant pour élaner et arrêter le tracteur.
- 2) Mesurer le temps T en secondes pour parcourir cette distance.
- 3) La vitesse réelle se détermine par :

$$V \text{ (km/h)} = 3.6 \times D / T$$

• Réglage de l'épandeur pour la quantité voulue à l'hectare

Pour régler l'appareil, on doit disposer de certaines données :

- 1) Q (kg/ha) : dose d'engrais à apporter à l'hectare
- 2) L (m) : la largeur d'épandage
- 3) V (km/h) : la vitesse d'avancement
- 4) De (kg/min) : le débit nécessaire

$$De = Q \times L \times V / 600.$$

À partir de ce débit nécessaire, on cherche la correspondance avec le tableau constructeur ou avec ses propres étalonnages. On obtient l'indice de la vis de réglage de l'ouverture du disque de dosage le plus adapté au débit nécessaire.

Technique d'épandage

Avant d'épandre sur la parcelle, il faut poser des jalons ou des repères en fonction de la largeur d'épandage. En culture fruitière, ce sont les rangs qui servent évidemment de repères, de même qu'en culture de canne à sucre, le rang à interligne fixe sert. En fonction de la largeur d'épandage de l'appareil, on calcule le nombre de rangs entre deux passages.

Une bonne solution pour contrôler tous ses réglages est d'effectuer un test au champ : on dispose de bacs d'égale surface sur la largeur d'épandage (interlignes et rangs) correspondant à un aller-retour. Ensuite, on pèse l'engrais récupéré

dans les bacs et on établit la courbe de répartition. Elle traduit l'irrégularité possible ainsi que les points de chevauchement.

Le fonctionnement et les réglages de chaque type d'appareil sont développés en détail dans le « Guide de la fertilisation de la canne à sucre à La Réunion » (Émilie Fillols & Pierre-François Chaballier, 2007).

2.4.2.2 Épandage liquide

Dans le cas de la culture de l'ananas, les pulvérisations foliaires sont particulièrement bien adaptées à la morphologie des feuilles qui ont la particularité de pouvoir absorber les engrais. Compte tenu des très fortes densités de plantation généralement sur paillage plastique, c'est aussi la seule solution économique pour apporter les fertilisants en fréquence et quantité.

Les applications doivent s'échelonner tout au long de la phase végétative de la plante et s'organiser de façon à ce que les apports augmentent de la plantation au traitement d'induction florale (TIF) pour les faire correspondre aux besoins de la plante.

Pour mettre à la disposition de la plante les doses croissantes, deux techniques sont possibles :

- Soit on intervient à intervalles réguliers et on applique les doses croissantes ;
- Soit on applique des doses identiques mais on réduit l'intervalle entre les applications au fur et à mesure que l'on s'approche du TIF.

C'est souvent cette dernière technique qui est préconisée car elle limite les risques d'erreurs entre les parcelles.

Le plus souvent, les pulvérisations foliaires comportent deux engrais en mélange pour apporter en même temps azote et potasse. Afin d'éviter des brûlures sur le feuillage, la concentration en engrais azoté ne doit pas dépasser 5 % et la concentration totale en sels (azote + potasse) doit être inférieure à 8 %. Pour des apports standards (75 kg d'urée + 125 kg de sulfate de potasse), il est donc nécessaire d'épandre (75 + 125)/8% = 2 500 litres de solution.

Compte tenu de l'importance du volume à épandre, ce système est à réserver aux plantations mécanisables et l'utilisation de pulvérisateurs à dos sur des plantations intensives se trouve de facto quasi impossible : 2 500/20 = 125 appareils par hectare !

Selon le type d'engrais potassique utilisé, il n'est pas toujours aisé d'assurer une dissolution correcte. La plupart du temps, ce mélange s'effectue directement dans la cuve de traitement en utilisant uniquement le retour cuve pour assurer le brassage. Des systèmes de préparation des solutions sont parfois utilisés, mettant en œuvre des cuves mélangeuses avec une agitation qui peut être soit mécanique (pales) soit hydraulique (pompe). Ces systèmes assurent généralement une meilleure mise en solution des engrais et donc une meilleure homogénéité de l'application.

Plusieurs matériels sont utilisables :

- Pompe à dos;
- Pulvérisateur porté pouvant être équipé :
 - d'une lance (dans ce cas, le tracteur et la cuve restent en extrémité de parcelle)
 - d'une mini-rampe portée à la main (2 billons)
 - d'une rampe de largeur variable de 12 à 18 m.

Réglage du matériel

C'est en **pulvérisation manuelle** (pompe à dos, lance, mini-rampe) que l'on rencontre le plus de difficultés à effectuer un réglage correct :

Avec une pompe à dos de 20 L de capacité, on peut traiter (avec notre exemple de mélange précédent) $10\,000 / 2\,500 * 20 = 80\text{ m}^2$.

Soit E l'entre-axe des billons (en m), la longueur sur laquelle il faudra épandre les 20 L sera $80/E$, soit 44 mètres de billon à l'écartement habituel (1,8 m).

La difficulté consiste à conserver la vitesse d'avancement une fois qu'on l'a bien estimée. Malheureusement, le cheminement entre les billons est fréquemment gêné par la pente, ou les roches, et a tendance à modifier la vitesse de progression et donc la régularité de l'épandage. La même difficulté se rencontre avec l'utilisation de pulvérisateurs portés (cuves de 400 à 800 L) munis d'une lance ou d'une mini-rampe. Or, c'est le système le plus utilisé à La Réunion. De nouveau, la vitesse d'avancement est réglée par le pas de l'homme et donc soumise à variations selon la topographie du terrain. Cela n'empêche pas d'effectuer un « calibrage » du pas afin d'obtenir le maximum de régularité. Dans ce cas, on remplira la cuve avec 100 L de mélange d'engrais et on ajustera sa vitesse pour traiter $10\,000 / 2\,500 * 100$

$= 400\text{ m}^2$, soit encore $400/E = 222\text{ m}$ si les billons sont espacés de 1,8 m.

Une fois la cadence déterminée, on essaiera de s'y tenir et surtout, on notera scrupuleusement les surfaces traitées avec chaque cuve afin de contrôler systématiquement la qualité de l'épandage.

Lorsque l'on utilise un pulvérisateur (le plus souvent porté) muni d'une rampe, il faut commencer par calculer les différents éléments :

- Q (L/ha), quantité de solution d'engrais à apporter à l'hectare
- V (km/h) la vitesse d'avancement
- Db (L/min) le débit de chaque buse
- W (cm) l'écartement entre les buses
- Dp (L/Min) le débit nécessaire de la pompe
- L (cm) la largeur de la rampe

Ces différents éléments sont liés par les formules :

$$Q = (60\,000 \times Db) / (V \times W) \text{ et } Dp = (L \times Db) / W$$

Exemple :

Pour

- $Q = 2500\text{ L/ha}$
- $Db = 2,5\text{ L/min}$ (on peut ajuster le débit en fonction de la pression d'utilisation, selon les abaques fournies par le constructeur pour le type de buse utilisé)
- $W = 40\text{ cm}$
- $L = 1\,200\text{ cm}$

Il faudra régler la vitesse du tracteur à 1,5 km/h (cf. plus haut) et la pompe devra avoir un débit au moins égal à 75 L/min. En réalité, si on veut assurer un retour cuve suffisant pour assurer l'agitation, la pompe devra débiter au moins $75 + 20\% = 90\text{ L/mn}$.

Selon les caractéristiques de son matériel (par exemple pompe à débit plus élevé), il sera possible d'augmenter le débit des buses, ou bien les rapprocher pour permettre une vitesse d'avancement supérieure et donc un épandage plus rapide.

2.5 FERTIGATION : CAS DE LA CULTURE HORS SOL

2.5.1 GÉNÉRALITÉS

2.5.1.1 Principe de la culture hors sol

La surface occupée par des productions légumières en culture hors sol sous serre est d'environ 40 ha. La tomate, est sans conteste le légume le plus cultivé sous serre avec une production d'environ 5 000 à 6 000 tonnes pour 75 % des surfaces de serres maraîchères. Le principe de production hors sol consiste à apporter au niveau de chaque plante par un système de goutte à goutte les éléments minéraux et les oligo-éléments dont la plante a besoin. Les racines colonisent un substrat inerte servant de support à la plante et disposant de propriétés physiques particulières (rétention en eau et en air importante).

Le maintien de l'eau et des éléments minéraux à des niveaux optima dans la rhizosphère des plantes est le principal facteur favorisant leurs hautes efficacités d'utilisation, se traduisant par des rendements élevés des cultures et une meilleure qualité. L'apport des engrais dans l'eau d'irrigation, appelé « fertigation » ou « ferti-irrigation » ou « irrigation fertilisante » est devenu, depuis longtemps, une pratique commune en maraîchage, permettant d'atteindre un équilibre ionique optimal au niveau de la rhizosphère.

Les systèmes de culture les plus employés sont des systèmes dits « ouverts » ou « en solution perdue » dans lesquels la solution nutritive est apportée en excès par rapport aux besoins. Le drainage qui en découle est collecté pour être évacué à l'extérieur.

Ce drainage est nécessaire d'une part pour éviter les risques d'accumulation d'éléments minéraux que la plante n'aurait pas assimilés et d'autre part pour homogénéiser la solution au sein du substrat, c'est-à-dire pour maintenir le système racinaire dans un milieu stable proche de la concentration de la solution nutritive d'apport.



Substrat en fibre
de coco

Système d'irrigation
en goutte à goutte
(capillaires)

Fente de drainage
au niveau bas
du substrat

Canal de collecte
du drainage

Figure 18 : Équipement nécessaire à l'irrigation fertilisante sous serre
(Guide la tomate hors sol à La Réunion, FDGDON, CIRAD, 2009)

Le système de fertilisation (station de tête) comporte au minimum :

- Deux bacs de 100 Litres pour fabriquer la solution mère ;
- Deux pompes doseuses volumétriques destinées à diluer les solutions mères dans l'eau d'irrigation ;
- Deux filtres : un filtre en amont et un autre à la sortie de la station ;
- Une vanne reliée à un petit programmeur intégrant la fenêtre d'irrigation (exemple : de 7 à 17 heures), la durée d'une irrigation et l'intervalle entre deux irrigations.

Cette station de fertilisation est destinée à distribuer une solution unique évoluant en fonction du stade de la culture. Grâce au débit et à la pression du réseau d'eau, la solution nutritive est distribuée à chaque plant grâce à un système de « goutte à goutte ». D'autres équipements peuvent devenir rapidement indispensables comme une réserve en eau et un surpresseur (pompe) pour reprendre l'eau de la réserve et la mettre sous pression. Pour les exploitations de taille importante l'irrigation fertilisante est gérée par une station de ferti-irrigation (ordinateur et matériel spécifique pour la gestion de l'irrigation fertilisante). Cette station permettra de gérer différentes serres avec des variétés et/ou des espèces différentes ou à des stades physiologiques différents nécessitant des solutions nutritives adaptées.

2.5.1.2 Contrôle de la solution nutritive
Extrait du guide de la tomate hors sol à La Réunion (S. Simon, J. Minatchy, 2009)

Trois paramètres de la solution nutritive doivent être régulièrement contrôlés :

- Le volume quotidien d'apport de solution nutritive. Un ou deux capillaires supplémentaires sont branchés sur le réseau de fertigation et plongés dans un seau posé à proximité de ce point de prélèvement ;
- Le volume quotidien des eaux de drainage. Ce contrôle est effectué sur 12 à 18 plantes. On collecte grâce à un système indépendant le drainage de ces plants. C'est faisable dans le cas d'un substrat organique conditionné en sacs ou dans le cas de scories placées dans des pots ou dans de petites gouttières : elles doivent être situées au centre de la serre et être représentatives de la moyenne des individus de la serre. De plus, il faut être très soigneux lors des pratiques culturales sur ces plantes : par exemple, la cassure de l'extrémité de la tige ou la chute d'un fruit entraîne une diminution de l'absorption d'éléments minéraux et d'eau, qui se traduit par une augmentation artificielle du drainage ;
- Le pH et l'électroconductivité de la solution nutritive et des eaux de drainage. Le pH et l'électroconductivité sont mesurés sur ces échantillons à l'aide d'un pH-mètre et d'un conductivimètre.

Volumes d'apport et de drainage

Le rapport entre les mesures du volume d'apport et du volume de drainage permet de déduire le taux de drainage, exprimé en pour cent. Le taux de drainage mesure la proportion de la solution du substrat qui a été renouvelée (cf. Figure 21) :

- 1) Va, volume d'apport collecté avec x goutteurs,
- 2) Vd, volume de drainage issu de y plantes.

$$\text{Taux de drainage (\%)} = \frac{Vd / y}{Va / x} \times 100$$

Valeur du taux de drainage calculé	Conséquences pour la gestion de l'irrigation
Proche de la consigne fixée (30 % en moyenne) Note : il peut être réduit à 10 % si le système de fertigation est performant dans sa régularité	La fréquence des fertigations répond aux besoins des plantes
Inférieur à la consigne	Augmenter la fréquence des irrigations pour éviter une concentration de l'engrais dans le substrat
Supérieur à la consigne	Réduire la fréquence des irrigations pour éviter le lessivage des substrats (gaspillage d'eau et d'engrais)

Figure 19: Taux de drainage et conséquences pour l'irrigation (CIRAD, FDGDON)

Acidité: $5,5 \leq \text{pH} \leq 6,2$

Le paramètre d'acidité, mesuré par le pH, désigne le caractère acide, neutre ou basique d'une solution. Les solutions nutritives utilisées sont toujours légèrement acides, $5,5 \leq \text{pH} \leq 6,2$, car cela réduit les risques de précipitation des matières fertilisantes dissoutes et permet une absorption optimale des éléments minéraux. La solution nutritive est en réalité élaborée sur la base des besoins « théoriques » des plantes. Selon leur état physiologique et les conditions environnantes (ensoleillement, température...), ces besoins changent. Les plantes prélèvent seulement ce dont elles ont besoin (eau et ions) et laissent le reste.

Cette absorption partielle entraîne alors les modifications du pH suivantes :

- L'absorption préférentielle des anions (SO_4^{2-} , NO_3^- , H_2PO_4^- , Cl^-) provoque l'alcalinisation (c'est-à-dire une augmentation du pH) de la fraction liquide au sein du substrat et, par conséquent, de l'eau de drainage ;
- L'absorption préférentielle des cations (NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) provoque une acidification de la fraction liquide au sein du substrat, c'est-à-dire une baisse du pH.

C'est pourquoi il faut vérifier chaque jour le pH de la solution nutritive apportée et le pH du drainage : ce sont les variations entre les valeurs de ces deux pH qui sont intéressantes à interpréter. Elles renseignent sur les besoins réels et conduisent à modifier régulièrement la solution nutritive en fonction des valeurs mesurées.

Électroconductivité (EC)

L'électroconductivité (appelée aussi conductivité) d'une solution (EC) représente la concentration globale en éléments minéraux de la solution. Elle se mesure à l'aide d'un conductivimètre électrique. Plus la solution est riche en engrais, plus elle conduit l'électricité et plus la conductivité est forte. L'unité de mesure est le Siemens par mètre carré. Pour les solutions nutritives, les valeurs sont faibles et s'expriment plus généralement en milliSiemens/cm².

La relation entre électroconductivité de la solution nutritive (EC) et la concentration totale en engrais est la suivante :

$$\begin{aligned} & \text{Concentration en engrais} \\ & \text{de la solution nutritive (g/l)} \\ & = \text{EC de la solution (mS/cm)} \times 0,85 \end{aligned}$$

La valeur 0,85 est une valeur calculée et fixe : elle représente le facteur de corrélation entre la concentration en engrais et l'électroconductivité.

La conductivité optimale de la solution nutritive se situe aux environs de 2 mS/cm². Elle dépend du climat, du stade végétatif et de la variété cultivée. La conductivité optimale de la solution de drainage est alors identique à celle de la solution d'apport : les ions et l'eau sont absorbés dans les mêmes proportions pour que la plante ne manque de rien.

Pour le substrat, on tolère une conductivité d'environ 3 mS/cm². Il faut éviter les variations brusques de conductivité dans le substrat car les racines ne s'adaptent que progressivement à leur environnement. Quand une correction est nécessaire, il vaut mieux modifier la conductivité de la solution nutritive par paliers de 0,2 à 0,3 mS/cm et observer les valeurs obtenues dans le substrat.

La concentration en engrais conditionne fortement le prélèvement de l'eau par la plante. L'absorption de l'eau par les racines est régulée par un équilibre entre la concentration minérale à l'intérieur des cellules des racines et celle à l'extérieur des racines : l'eau migre du milieu le moins concentré vers le milieu le plus concentré.

Selon la qualité du substrat, trois cas peuvent se présenter :

- L'eau et les solutés sont absorbés en quantité suffisante ;
- L'électroconductivité (EC) du substrat est faible. L'eau n'est pas très liée aux engrais et se déplace spontanément du milieu le moins concentré vers le milieu le plus concentré, c'est-à-dire du substrat vers la plante. L'eau traverse facilement la membrane des cellules radiculaires ;
- L'électroconductivité du substrat est forte. L'eau est trop liée aux engrais et il n'y a pas assez de différence de concentration entre le substrat et l'intérieur de la racine. L'eau n'est alors pas absorbée en quantité suffisante.

En cours de culture, la mesure de la conductivité de l'eau de drainage permet de résoudre deux problèmes (cf. figure 22) :

- La solution de drainage est plus concentrée que la solution d'apport. L'eau est préférentiellement absorbée par la plante. Le risque de phytotoxicité est lié à un excès de salinité dans le substrat. Si la conductivité est trop élevée dans la solution de drainage, il est déconseillé

de la diminuer en arrosant à l'eau claire. Il est préférable de surirriguer 1 ou 2 jours avec une solution d'apport d'une conductivité légèrement inférieure à la normale (0,2 mS/cm en dessous de l'EC normale) tout en respectant un drainage de 30 % ;

- La solution de drainage est moins concentrée que la solution d'apport. Les ions sont préférentiellement absorbés par la plante. Les plantes risquent d'exprimer des déséquilibres. Il suffit alors d'augmenter progressivement l'électroconductivité de la solution d'apport.

Électroconductivité solution nutritive	Électroconductivité eau de drainage	
	trop faible (< EC solution nutritive)	trop forte (> EC solution nutritive)
Déjà faible	Il faut augmenter l'EC de la solution nutritive.	Problèmes culturaux En début de culture, il peut s'agir d'une libération d'éléments par le substrat. Il faut alors augmenter le drainage. En cours de culture, cela peut s'expliquer par une diminution des prélèvements d'éléments minéraux par la plante. Il faut alors vérifier l'état des racines et la conduite climatique, puisque le climat de la serre intervient sur la transpiration des plantes.
Normale	Il faut augmenter l'EC de la solution nutritive.	Il faut diminuer l'EC de la solution nutritive.
Déjà forte	Problèmes culturaux En début de culture, il peut y avoir un stockage d'éléments dans le substrat – exemple : absorption d'azote et développement d'une microflore. En cours de culture, il peut y avoir un prélèvement élevé d'éléments minéraux qui induit le développement de plantes vigoureuses. La conduite de la culture et celle du climat doivent être ajustées pour obtenir un meilleur équilibre. Il faut faire une analyse de la solution nutritive et du substrat.	Il faut diminuer l'EC de la solution nutritive.

Figure 20: Modification de l'électroconductivité de la solution nutritive en fonction de l'électroconductivité de la solution de drainage, pour un drainage égal à 30 % (CTIFL, 1995)


2.5.2 LES EFFLUENTS DES SERRES : LE DRAINAGE

2.5.2.1 Présentation et contexte

Une part importante de la production de légumes sous serres est obtenue actuellement à partir des cultures hors sol « en solution perdue ». Ces méthodes de culture engendrent actuellement des eaux de drainage contenant encore des élé-

ments nutritifs qui vont, soit s'infiltrer dans le sol, soit s'écouler dans le milieu environnant.

La quantité de solution drainée et rejetée peut atteindre 20 à 30 % des apports, soit l'équivalent de 2 000 à 3 000 m³ par hectare et par an.

Au total, sur une année, le rejet à une concentration d'environ 1,5 à 2 g/l représente de 3 à 6 tonnes d'éléments minéraux sous forme ionique par ha dont 1 tonne à 1,5 tonne d'azote sous forme NO₃. (cf. : )

Surface de serres maraîchères	Volumes d'effluents par ha	Concentration de la solution de drainage	Quantité d'éléments minéraux sous formes ioniques	Quantité d'engrais (éléments fertilisant uniquement)	Quantité d'azote N-NO ₃
40 ha	2 000 à 3 000 m ³	1,5 à 2 g/l	3 à 6 tonnes/ha	3 000 à 4 000 U/ha	300 à 400 U/ha

Tableau 21 : Récapitulatif sur les quantités d'effluents de serre à La Réunion (ARMEFLHOR)

2.5.2.2 Quatre méthodes pour gérer les eaux de drainage

Optimisation des apports en solution fertilisante

- **Réduire quantitativement les drainages en s'approchant des besoins des plantes**

Dans la pratique, un drainage est nécessaire pour éviter le risque d'accumulation de certains éléments dans le substrat et limiter les effets d'une irrigation hétérogène provoquant des manques d'eau avec accumulation de sels sur certaines zones.

Il est possible de diminuer de façon conséquente le drainage en utilisant des outils permettant de mieux appréhender la consommation de la plante. Différents systèmes de pilotage de l'irrigation existent en culture hors sol. Le plus communément utilisé est le pilotage par solarimètre. Il existe en effet une bonne corrélation entre le rayonnement solaire (ensoleillement) et la transpiration de la plante. L'utilisation du solarimètre permet donc de régler au mieux l'apport de solution avec la consommation de la plante et donc de limiter les rejets dans l'environnement.

- **Mieux adapter la composition en éléments nutritifs de la solution aux besoins des plantes**

Il est possible de remplacer en partie les nitrates par d'autres ions (sulfate, chlorure...). C'est ce qui est pratiqué en privilégiant les apports de calcium ou de potassium non plus sous forme de nitrate (nitrate de calcium ou nitrate de potassium) mais en partie sous forme de chlorure (de calcium ou de potassium) ou sulfate de potassium. Ces substitutions sont cependant limitées.

Épandage des eaux de drainage sur culture

- **Collecter les drainages pour les utiliser sur d'autres cultures (en sol sous abris ou en plein champ)**

La maîtrise des effluents liquides hors sol passe en premier lieu par une récupération performante des eaux de drainage. Le système de récupération doit être à l'abri de sources de contamination et éviter les fuites. Les eaux de drainage ainsi récupérées doivent être stockées temporairement. Le dimensionnement du stockage doit être pensé en fonction de la réutilisation prévue.

Un système de pompage puis d'épandage (aspersion, goutte à goutte...) doit équiper la parcelle sur laquelle le drainage doit être épandu.

Il convient également de penser à la filtration afin d'éviter les bouchages du système d'irrigation.

Suivant la culture, sur laquelle l'utilisation des eaux de drainage est prévue, un système de désinfection est requis.

- **Collecter les drainages et les réutiliser sur la même culture dans un système dit « fermé » ou en « solution recyclée »**

Cette méthode consiste à récupérer le drainage, le traiter et le réinjecter dans la culture en place en mélange avec la solution nutritive « neuve ». Le traitement est nécessaire pour éviter les risques de contamination essentiellement de champignon ou de bactérie sur l'ensemble de l'exploitation.

Différentes méthodes de désinfection existent :

- Chlore gazeux
- Ultra-Violet
- Ozone
- Traitement thermique...
- Ionisation



Le contexte législatif (loi sur l'eau du 3 janvier 1992, décret du 12 juin 96) impose de gérer l'eau de façon équilibrée et durable. Il interdit le déversement direct des effluents d'exploitations agricoles dans les eaux superficielles et souterraines.

L'ARMEFLHOR étudie en ce moment l'impact sur le rendement du recyclage en circuit fermé avec deux types de matériel de désinfection de la solution de drainage :

- Désinfection par ultra-violets
- Désinfection par ionisation

**Rejet aux normes :
envoyer le drainage
dans un bassin filtrant
à macrophytes**

Le producteur choisit avec cette méthode de rejeter des effluents aux normes. La teneur limite tolérée dans une eau de consommation est de 50 mg de NO_3^-/l . Même si le rejet d'eau potable n'est pas l'objectif, cette valeur est habituellement prise comme référence lorsqu'on parle de pollution azotée.

Le principe de la dénitrification de ces bassins est basé sur l'activité de bactéries anaérobies qui

utilisent l'oxygène des nitrates pour respirer et dégagent de l'azote gazeux (N_2). Cette réaction nécessite de la matière organique.

D'après les données bibliographiques, le passage dans le bassin filtrant abaisse fortement la concentration en nitrate dès 7 jours. Au bout de 10 à 14 jours, la concentration en azote passe en dessous du seuil de 50 mg/l.

Des essais sont actuellement en cours à l'ARMEFLHOR pour :

- Évaluer la quantité de matière organique suffisante pour dénitrifier le milieu ;
- Évaluer la capacité d'épuration pour les autres éléments minéraux ;
- Évaluer l'impact sur la flore bactérienne ;
- Évaluer la pertinence du matériel végétal.

Pour toute information complémentaire, contactez l'ARMEFLHOR. Pour obtenir ses coordonnées, reportez-vous à Votre carnet d'adresses [page 250](#).

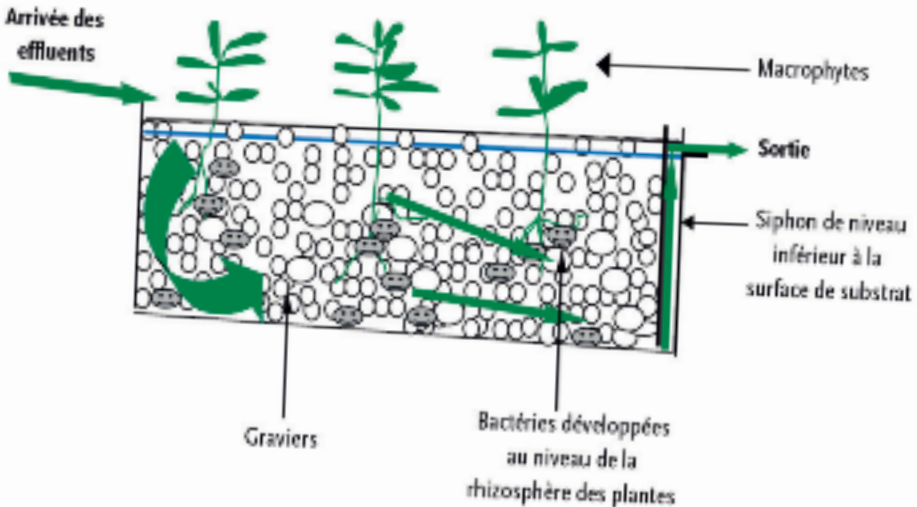


Schéma 22: Coupe transversale d'un bassin filtrant à macrophytes à flux horizontal (ARMEFLHOR)

CHAPITRE 2

AMENDEMENTS ET ENGRAIS



CE QU'IL FAUT RETENIR DES BONNES PRATIQUES AGRICOLES POUR CE CHAPITRE

- La base du raisonnement en fertilisation est l'analyse de sol. Elle permet de suivre la qualité des sols et d'apporter les bonnes corrections, les bons amendements, et d'assurer à la plante un support fertile. L'échantillonnage est à la portée de tous et l'analyse par le laboratoire du CIRAD est peu coûteuse au regard du raisonnement de fertilisation et donc de la baisse des coûts qu'elle induit.
- Pour assurer l'efficacité de l'engrais épandu sur une parcelle, il faut connaître les besoins de la culture, de la plantation à la récolte. Cette connaissance permet au cultivateur d'apporter la bonne dose au bon moment en favorisant l'assimilation par les plantes tout en limitant les risques de pollution par transfert dans les cours d'eau.
- Établir un plan de fertilisation à partir de l'analyse de sol permet à l'exploitant d'élaborer un document technique prévisionnel des besoins quantitatifs et qualitatifs en fertilisant, en vue de réaliser son objectif de production. Malgré le manque de connaissances sur les arrières effets de la fertilisation à La Réunion, il reste un outil central de réflexion sur la fertilisation à mettre en place.
- L'agriculteur a le choix entre matières minérales et matières organiques. Leurs utilisations répondent à une réglementation et à une technicité qu'il est nécessaire de connaître pour assurer un bon rendement et éviter toute pollution des masses d'eau : calcul de la dose à apporter, réglage de l'épandeur, distances réglementaires d'épandage à respecter, prise en compte de la pente et des conditions météorologiques, etc. Toute fertilisation doit être réfléchie pour être efficace.
- En culture hors sol, les eaux de drainages ne doivent en aucun cas être évacuées directement dans le milieu naturel. Des moyens de traitement existent pour ces effluents.
- **En ce qui concerne la gestion des déchets, il est recommandé de se rapprocher de la Chambre d'Agriculture pour toute information concernant les lieux de collecte et les conditions d'acceptation des déchets. Vous pouvez également vous reporter à l'annexe III de ce guide.**

CHAPITRE 2

AMENDEMENTS ET ENGRAIS



POUR ALLER PLUS LOIN

VOS OUVRAGES :

- ARTAS, 2007. **Gagnez plus, c'est possible en mettant l'engrais ou l'herbicide au bon moment. Cahier technique – La canne**, n° 12, Aout 2007, 8 p. *Disponible gratuitement à l'adresse : http://www.canne-progres.com/cahiers_techniques/intro.php*
- ARTAS, 2006. **Les analyses de sol. Cahier technique - La canne**, n° 7, Aout 2006, 8 p. *Disponible gratuitement à l'adresse : http://www.canne-progres.com/cahiers_techniques/intro.php*
- Bourgaut G., ARTAS, 2006. **Bonnes pratiques agricoles en production de canne à sucre**. Version 4, février 2006, 23 p. *Disponible au CTICS*
- Chabalière P-F., Fillols E., 2007. **Guide la fertilisation de la canne à sucre à La Réunion**. Avril 2007, 166 p. *Disponible à la Chambre d'Agriculture de La Réunion*
- Chabalière P-F., Van De Kerchove V., Saint Macary H., 2006. **Guide de la fertilisation organique à La Réunion**. Avril 2007, 302 p. *Disponible à la Chambre d'Agriculture de La Réunion ou gratuitement sur le site : <http://www.mvad-reunion.org/-Guide-de-la-Fertilisation->*
- Chambre d'Agriculture de La Réunion, MVAD, 2008. **Ferti-run 2008 : Manuel de l'utilisateur**. 2008, 28 p. *Disponible gratuitement sur le site : <http://www.mvad-reunion.org/-FERTI-RUN-2007->*
- Chambre d'Agriculture de La Réunion, 1995. **Dossier(s) technico-économique(s)**. Plusieurs cultures sont concernées : carottes, pommes de terre, ail, melons, agrumes, anones, cucurbitacées, tomates, mangues, laitues. *Disponible à la Chambre d'Agriculture de La Réunion*
- Comité de Bassin Réunion, 2009. **Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux de La Réunion 2010-2015**. Décembre 2009, 113 p. *Disponible à l'adresse suivante http://www.comitedebassin-reunion.org/rubrique.php3?id_rubrique=26*
- DAAF et CIRAD, 2007. **Atlas des matières organiques**. Décembre 2007, support numérique. *Disponible gratuitement à l'adresse suivante : http://www.cirad.fr/reunion/produits/produits/atlas_matiere_organique*
- Minatchy J., Simon S., 2009. **Guide de la tomate hors sol à La Réunion**. Février 2009, 186 p. *Disponible à la FDGDON*
- Vincenot D., Normand F., Amouroux P., Hoarau I., Joas J., Léchaudel M., 2009. **Guide de production intégrée de mangues à La Réunion**. Novembre 2009, 121 p. *Disponible à la Chambre d'Agriculture de La Réunion*

VOS SITES INTERNET :

- <http://www.mvad-reunion.org> : Site de la Mission de Valorisation Agricole des Déchets, de nombreuses publications sur la valorisation des matières organiques (fumiers, lisiers, composts, boues de STEP, etc.)
- http://www.cirad.fr/reunion/produits/prestations/analyses_agronomiques : Adresse du laboratoire des sols du CIRAD, formulaire de demande d'analyses, tarifs de l'année en cours, etc.
- <http://www.reunion.eaufrance.fr> : Système d'information sur l'eau du bassin Réunion

Vous pouvez consulter et emprunter gratuitement l'ensemble des ouvrages de ce guide, et bien d'autres publications, à la bibliothèque du CIRAD au pôle « 3P » à St-Pierre (cf. Votre carnet d'adresses page 250)